



تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک



شاپا چاپی: X ۶۱۱-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۴۶۰۳-۲۵۸۸

جلد ششم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

- ۲۴۵ شناسایی نشانگرهای REMAP مرتبط با صفات مورفو-فیزیولوژیکی و زراعی در آفتابگردان دانه روغنی (*Helianthus annuus L.*) تحت شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری
نسرین اکبری؛ رضا درویش زاده
- ۲۶۱ تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium*) و قارچ میکوریزا آرباسکولار (*Glomus claroideum*) بر ویژگی‌های زراعی ذرت (*Zea mays*) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط کشت مخلوط
زهرا مرزبان؛ الهام قاریابی؛ حدیث زارعمش؛ پریا اصغرزاده
- ۲۸۱ استفاده از مدل رگرسیون گام به گام جهت شناسایی صفات گیاهی مرتبط با عملکرد در برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش خشکی
حدیثه فرامرزی کوهسار؛ علی راحمی کاریزکی؛ حسین صبوری؛ عباس بیابانی؛ معصومه نعیمی
- ۲۹۵ ارزیابی ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت با روش تحلیل مقایسه کارکرد در اجزای عملکرد و مراحل فنولوژیکی نمو
سیدعلی طباطبایی؛ امین آناقلی؛ حمید جباری
- ۳۱۳ بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژرم پلاسماهای داخلی و خارجی کنگد
مروارید رضائی نیا؛ نفیسه مهدی نژاد؛ فاطمه ابراهیمی؛ احمد آئین؛ براتعلی فاخری؛ عباسعلی امام جمعه
- ۳۲۹ ارزیابی پاسخ‌های فیزیوشیمیایی و انبارمانی خربزه دیررس (*Cucumis melon L.*) تحت آبیاری با آب شور
سودابه عین افشار؛ سید فاضل فاضلی کاخکی؛ جواد باغانی؛ شهرام ریاحی نیا
- ۳۴۵ ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی خربزه تحت شرایط کاربرد کود دامی و بنتونیت
حبیب رستمی؛ مهدی دهمرده؛ محمد گلوی؛ محمود رمرودی؛ محمدرضا ناروئی راد
- ۳۶۵ ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum L.*) به کمبود روی با استفاده از برخی پارامترهای فیزیولوژیک در خاک آهکی تحت شرایط کنترل شده در مرحله پنجه‌زنی
زهرا بهره ور؛ عزت اله اسفندیاری؛ صدیقه حاجی حسینلو؛ اسماعیل کریمی؛ شهریار دشتی
- ۳۸۱ بررسی اثر فاصله کاشت بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*)
محمود اسلامی؛ هادی سالک معراجی؛ داود جمشیدی؛ آرام تقوی؛ ایران آدینه وند
- ۳۹۵ تحلیل خلاء عملکرد برای نظام تولید گندم (*Triticum aestivum L.*) آبی در برخی از مناطق استان کرمانشاه با استفاده از مدل CERES-Wheat
فرزاد مندنی؛ بابک غلامی؛ علیرضا باقری؛ غلامرضا محمدی

ادامه فهرست در پشت جلد



- ۴۱۳ ارزیابی عملکرد ژنوتیپ متحمل به ریزش کنگد در آرایش کاشت و تراکم‌های مختلف در اقلیم گرم و خشک جنوب شرق
مجید غلامحسینی؛ احمد آیین؛ بهنام بخشی؛ سعدالله منصوری؛ فرناز شریعتی
- ۴۳۱ ارزیابی کارایی شاخص‌های WAASBY، WAASB و مدل اثرهای مختلط خطی (LMM) برای شناسایی ژنوتیپ‌های عدس پر
محصول سازگار با مناطق دیم
- ۴۵۳ پیام پزشکیپور؛ محمد آرمیون؛ برزو رستمی
تأثیر بستر کشت و پیش تیمار بدر بر تولید دانه‌ال پایا رقم بنگلادشی
- ۴۶۷ مطالعه تأثیر استفاده از مایکوریزا و سطوح مختلف کودهای شیمیایی و دامی بر برخی صفات کاکتوس علوفه‌ای (*Opuntia ficus-indica* L.)
علی نجم؛ مهدی آران؛ عبدالرحمن رحیمیان بوگر
- ۴۸۷ تأثیر یکپارچه‌سازی اراضی بر میزان عملکرد مزارع گندم در کرمان با رهیافت تابع ترانسلوگ
فاطمه فاطمی نیک؛ خسرو عزیزی؛ ثریا قاسمی؛ امیدعلی اکبرپور
- ۵۰۱ اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد و ش؛ ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ارقام پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)
حمیدرضا صفاری؛ مهدی صفدری؛ امیر دادرس مقدم
- ۵۲۱ ارزیابی میزان رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های امید بخش گلرنگ پاییزه (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش
کمبود آب طی دوره زایشی
حمید کوهکن؛ علی نخزری مقدم؛ علی راحمی کاریزکی؛ عمران عالیشاه
- ۵۴۱ بررسی خصوصیات بیوشیمیایی لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) و پروتئین دانه تحت سطوح مختلف آبیاری و ترکیبات
محرك رشد
سمانه ساجدی چلیک؛ سعید حضرتی؛ بهمن پاسبان اسلام؛ امیر رضا صادقی
- محمد کاظم علیلو؛ محسن رشدی؛ ساسان رضادوست؛ جواد خلیلی محله

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد ششم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳

این نشریه که با همکاری انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و انجمن علمی دانش کشاورزی گرمسیری ایران منتشر می گردد بر اساس آیین نامه نشریات علمی مصوب ۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۲ موفق به کسب رتبه ب شده است و در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) نیز نمایه می شود.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه زابل

سر دبیر: دکتر محمد رضا اصغری پور، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

مدیر مسئول: دکتر اسماعیل سیدآبادی، دانشیار گروه زراعت، دانشگاه زابل

هیأت تحریریه:

دکتر سیدجلال طباطبائی، استاد گروه باغبانی، دانشگاه شاهد

دکتر ناصر مجنون حسینی، استاد گروه زراعت، دانشگاه تهران

دکتر محمدرضا شکیبا، استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز

دکتر سیدمحسن موسوی نیک، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

دکتر محمد صدقی، استاد گروه زراعت، دانشگاه اردبیل

دکتر خسرو عزیزی، استاد گروه زراعت، دانشگاه لرستان

دکتر عبدالعلی غفاری، دانشیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

دکتر محمد رضا اصغری پور، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

دکتر بهنام کامکار، استاد گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر رضا صدرآبادی حقیقی، استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

دکتر محمود مرودی، استاد گروه زراعت دانشگاه زابل

دکتر مهدی دهمرده، دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل

هیأت مشاوران بین المللی:

دکتر آریا دولت آبادیان، دانشگاه وسترن استرالیا، استرالیا

دکتر هاوارد چارلزلی، دانشگاه کالج هادلو، انگلستان

دکتر آمیت کساروانی، دانشگاه پانتناگار، هندوستان

دکتر شهزاد مقصود احمد بصرا، دانشگاه کشاورزی فیصل آباد، پاکستان

دکتر مراد تورج تورک، دانشگاه وان یوزونجی ییل، ترکیه

ویراستاران: دکتر اسماعیل سیدآبادی، دکتر عباس نصیری ده سرخی

صفحه آرا: فاطمه فتحی

نشانی: سیستان و بلوچستان، زابل، جاده بنجار، دانشگاه زابل، دانشکده کشاورزی، دفتر نشریات، کد پستی ۹۸۶۱۳۳۵۸۵۶

تلفن: ۳۱۲۳۲۱۰۲ (۰۵۴)، فاکس: ۳۱۲۳۲۱۰۰ (۰۵۴)

راهنمای تهیه مقاله برای نشریه "تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک"

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک از کلیه نویسندگان گرامی درخواست می‌نماید تا هنگام نگارش مقاله خود، کلیه موارد و نکات ذیل را مد نظر قرار دهند و رعایت نمایند. با توجه به اینکه نشریه در فرآیند نمایه‌سازی در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی قرار دارد، در صورت عدم نکات و شرایط مندرج در زیر، مقاله شما پیش از ارسال به داوری رد خواهد شد و تا زمانی که همه موارد زیر رعایت نشده باشند به درخواست شما ترتیب اثر داده نخواهد شد.

چه مقالاتی را می‌توان ارسال نمود؟

مقالات پژوهشی: آن دسته از مقالاتی که شامل نتایج نوین از یک کار پژوهشی باشد را مقالات پژوهشی می‌خوانند. در این گونه از مقالات، نویسندگان باید پس از گردآوری داده‌های اصیل با روش‌های دقیق و معتبر پژوهشی و علمی به تحلیل یافته‌های خود بپردازند و نتایج یافته‌ها و مشاهدات علمی خود را ارائه نمایند.

مقالات مروری: آن دسته از مقالاتی که با دیدگاه مرور تخصصی ادبیات انتشار یافته علمی و پژوهشی روز دنیا در زمینه‌های مرتبط با موضوع نشریه باشند و توسط افراد متخصص و صاحب‌نظر در آن زمینه نگارش یافته باشند جزو مقالات مروری طبقه‌بندی می‌شوند و قابل ارسال برای داوری هستند.

دستورالعمل و راهنمای تهیه مقاله

نگارش مقاله باید با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Word 2003 یا نسخه‌های بالاتر صورت بگیرد. تنظیمات صفحات مقاله باید در حالت صفحه A4 با ۲/۵ سانتی‌متر (یک اینچ) حاشیه به صورت تک‌ستونه باشد و متن مقاله با فاصله ۱/۱۵ بین خطوط نگارش شود.

کلیه متون مقاله باید با استفاده از فونت (B Nazanin) درج شوند. عنوان مقاله باید با سایز ۱۴ ضخیم و متن مقاله با سایز ۱۳ و ضخامت عادی درج شوند. عناوین اصلی مقاله مانند چکیده، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث و غیره با قلم ضخیم سایز ۱۳ درج شوند. عناوین جداول و اشکال با سایز ۹ پررنگ به صورت وسط چین و اطلاعات جداول با سایز ۹ ضخامت نرمال درج می‌گردند (در خصوص عنوان جداول و شکل‌ها، همچنین اطلاعات داخل آنها، سایز ۸ برای کلمات انگلیسی استفاده شود). نام‌های غیرفارسی در متن با فونت Times New Roman سایز ۱۱ درج می‌شوند.

مشخصات مقاله و نویسندگان

عنوان مقاله، نام و نام‌خانوادگی نویسندگان، سمت نگارندگان مقاله به همراه مرتبه علمی آنان، نام دانشگاه یا مؤسسه پژوهشی که نویسنده در آن اشتغال دارد به همراه آدرس ایمیل، نشانی پستی و تلفن نویسنده مسئول باید به دقت بر روی صفحه‌ای جداگانه به فارسی و انگلیسی درج گردند و به همراه برگه تعهدنامه امضاء شده اسکن و ارسال شود.

مقاله به طور کلی باید شامل بخش‌های زیر باشد:

عنوان: باید کوتاه و شفاف باشد و موضوع مقاله را به خوبی مشخص سازد. حداکثر طول عنوان ۲۰ واژه است.

چکیده: باید به‌طور گویا و شفاف خلاصه‌ای از مقاله را به خواننده ارائه نماید و طول آن از ۲۵۰ واژه بیشتر نشود. بهتر است در جمله اول چکیده، ضرورت و اهداف انجام پژوهش درج گردد. در جمله دوم، مکان و زمان انجام پژوهش نوشته شود.

واژه های کلیدی: باید بین ۴ تا ۶ واژه که در دسته‌بندی موضوع مقاله کمک می‌نماید باشد. واژگان گزیده شده نباید در عنوان مقاله وجود داشته باشند و باید بر اساس حروف الفبا مرتب گردند.

مقدمه: بایستی علاوه بر تعریف موضوع مقاله و بیان کلیات پژوهش حاوی اطلاعات مربوط به اهمیت موضوع، پیشینه پژوهشی، فرضیه‌ها و هدف از اجرای تحقیق باشد. نام‌های علمی در متن مقاله و همچنین در بخش فهرست منابع، به صورت ایتالیک نوشته شوند. اصول سجاوندی یا نقطه‌گذاری و همچنین صفحه‌آرایی رعایت شود. قسمت‌های مختلف مقاله، پاراگراف-بندی شوند، به‌طور مثال در قسمت مقدمه به جای اینکه مطالب در یک پاراگراف طولانی آورده شوند بهتر است پاراگراف‌بندی موضوعی صورت گیرد.

در پاراگراف آخر بخش مقدمه، می‌بایست جنبه‌های نوآوری، ضرورت و اهداف انجام پژوهش به‌طور کامل شرح داده شود.

مواد و روش‌ها: بایستی به مشخصات منطقه آزمایش و کلیه مواد، روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در آزمایش به‌طور شفاف اشاره شود. در صورتی که یک روش از منبعی گرفته شده باشد، فقط به ذکر منبع اکتفا شود. نام دستگاه‌های مورد استفاده کاملاً ذکر شود. همچنین محل تهیه بذر، تاریخ کاشت و برداشت نیز نوشته شوند.

فرمول‌ها و روابط می‌بایست شماره‌گذاری شوند و شماره آنها در متن ذکر گردد. از به کار بردن اصطلاح‌هایی مانند "فرمول زیر" یا "رابطه زیر" خودداری شود.

نتایج و بحث: نتایج و بحث به صورت توأم نوشته شود. نتایج آزمایش می‌تواند بصورت جدول، شکل، عکس و غیره نشان داده شود ولی در هر حال بایستی از ارائه نتایج به‌صورت تکراری در دو شکل مجزا (برای مثال هم به‌صورت شکل و هم جدول) خودداری گردد. هر جدول از شماره، عنوان، سرستون و متن تشکیل می‌شود. عنوان جداول باید مختصر و گویا بوده، به‌نحوی-که نیازی به مراجعه به متن مقاله نباشد. عنوان جداول و اشکال به فارسی و انگلیسی تایپ شود. عنوان شکل در زیر آن درج گردد و عنوان جدول در بالای آن نوشته شود. هر جدول با یک خط افقی از شماره و عنوان متمایز می‌شود. همچنین سرستون با یک خط افقی از متن جدول جدا شده و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی ترسیم می‌شود. جداول و اشکال مقاله باید به صورت دو زبانه تهیه شوند. یعنی باید عنوان جدول‌ها، عناوین ستون‌ها و ردیف‌ها در جداول، توضیح عکس‌ها، تصاویر و نمودارها به‌صورت فارسی و انگلیسی و اعداد جداول و اشکال به زبان انگلیسی آورده شوند. برای نوشتن معادل انگلیسی کلمات داخل جدول، نیازی به ایجاد ردیف جداگانه در جدول نمی‌باشد بلکه معادل انگلیسی باید زیر فارسی نوشته شود. سطر اول جدول که عناوین ستون‌ها را شامل می‌شود به‌صورت پررنگ (Bold) باشد.

واحدهای داخل جداول و شکل‌ها فقط باید به انگلیسی نوشته شوند و نیازی به نوشتن واحدها به فارسی نمی‌باشد. همچنین زیرنویس جداول و شکل‌ها نیز باید به صورت دوزبانه (فارسی و انگلیسی) تهیه شود. جداول باید از چپ به راست، تنظیم شوند. کادر اطراف شکل‌ها، حذف شوند.

جداول و اشکال می‌بایست در جای مناسب در داخل متن اصلی مقاله قرار داده شوند و به طور مناسب و هماهنگ شماره‌گذاری گردند. لازم است نویسندگان گرامی از ارسال جداول و نمودارها به صورت عکس خودداری نمایند. همچنین، کلیه تصاویر و مدارک آزمایشگاهی باید از کیفیت و وضوح قابل قبول برخوردار بوده و با رزولوشن ۳۰۰ پیکسل ذخیره شده و ارسال گردند.

نتیجه گیری کلی: این بخش به صورت مستقل از نتایج و بحث، در پاراگرافی جداگانه ذکر شود.

سپاس‌گزاری: در این بخش باید از همکاری‌های علمی، پژوهشی، مالی اشخاص حقیقی و حقوقی که در به انجام رسیدن پژوهش به شما کمک نموده‌اند سپاس‌گزاری نمایید.

تعارض منافع: در صورتی که بخشی از پژوهش شما به دیگر فعالیت‌های حرفه‌ای و اقتصادی یا مسئولیت‌های شما مرتبط می‌باشد باید این موارد را در این بخش اظهار نمایید. برای مثال چنانچه شما در شرکتی فعال هستید که محصولی را در زمینه زراعت یا کشاورزی تولید می‌نماید یا اگر اختراعی دارد که مرتبط با موضوع پژوهش شما می‌باشد باید در این بخش مسائل از این دست را اظهار نمایید. در غیر این صورت، می‌توانید از عبارت "نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد." استفاده کنید.

منابع: ارجاع به منبع در متن مقاله پس از ذکر یک مطلب غیر بدیهی که نیازمند استناد برای ارزیابی درستی آن است صورت می‌گیرد. منبع مورد نظر که برای بررسی درستی آن مطلب به آن ارجاع داده می‌شود، در پایان جمله و در داخل پرانتز با ذکر اسم نویسنده و سال آورده می‌شود (در صورتی که منبع فارسی است باید معادل انگلیسی نام نویسنده و سال میلادی ذکر گردد). از آوردن اسم نویسنده منبع در اول جمله خودداری نمایید.

نویسندگان محترم توجه داشته باشند در متن، "پرانتزهایی" که برای منابع به کار برده می‌شوند به "فارسی" باشند.

در خصوص منابع فارسی، توجه داشته باشید اسامی نویسندگان، عنوان مقاله و نام مجله به درستی به انگلیسی برگردانده شود. برای این منظور می‌توانید به سایت مجله مورد نظر رفته و در بخش انگلیسی سایت مجله، مشخصات مقاله مورد نظر خود را پیدا کنید. فهرست منابع به صورت انگلیسی و بر اساس حروف الفبا به شرح نمونه‌های زیر تنظیم شود. (لازم است تمام منابع فارسی مورد استفاده نیز به زبان انگلیسی نوشته شده و در پایان به شکل استاندارد (یعنی کامل، یکدست و در گروه) از عبارت [In Persian] استفاده شود. در ضمن در انتهای هر منبع آدرس doi و یا dor نیز ارائه گردد.

Arshadi, M., Parsa, M., Lakzian, A. and Kafi, M., 2021. Evaluation of root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under treatments of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza on conditions of sterilized and non-sterile soil. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2), pp.241-254. [In Persian]. doi: 10.22034/csrar.2021.268645.1080

Mahlooji, M. and Nasiri Dehsorkhi, A., 2021. Agrophysiological of barley genotypes responses to zinc fertilization and water saline irrigation. *Agriculture, Environment & Society*, 1(1), pp.19-25. doi: 10.22034/aes.2021.144192

Safaripour, M., 2022. Environmental impact assessment of corn, wheat and sunflower production using life cycle assessment methodology in Kermanshah province. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol [In Persian].

چکیده انگلیسی: در پایان مقاله و پس از اتمام بخش منابع در صفحه‌ای جداگانه عنوان و چکیده انگلیسی آورده شود. چکیده انگلیسی مقاله باید به صورت مبسوط (حداقل ۶۰۰ کلمه) و دارای تمام بخش‌های زیر به شکل تفکیک شده باشد.

1. Introduction
2. Materials and Methods
3. Results and Discussion
4. Conclusion
5. Keywords

واژه های کلیدی بر اساس حروف الفبا مرتب شوند و حرف اول کلمات به صورت حرف بزرگ باشد. تاریخ های به کار برده شده در چکیده انگلیسی، باید به میلادی درج گردند.

تعهدنامه

نویسندگان گرامی جهت چاپ مقالات خود در نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک بایست فرم تعهدنامه را تکمیل و پس از اخذ رضایت و امضای نویسندگان مقاله فایل اسکن شده آن را به دفتر نشریه ارسال نمایند. در صورتی که تعداد نویسندگان مقاله بیش از تعداد جداول در نظر گرفته بود، نویسندگان می‌توانند از صفحات مورد نیاز بیش از یک کپی تهیه نمایند و اطلاعات خود را به طور کامل و با دقت پر نمایند.

نکات مهم دیگر

- ✓ مسئولیت محتوای منتشر شده در یک مقاله تنها با نویسندگان آن مقاله می‌باشد.
- ✓ تمامی نگارندگان باید به منظور تایید اصالت محتوای مقاله و همچنین تعیین نویسنده مسئول برگ مشخصات مقاله را امضا نمایند.
- ✓ دانشجویان بایستی تایید استاد یا استادان راهنمای خود را ارسال نمایند. (در صورت عدم ارسال تعهدنامه، مقاله مورد بررسی قرار نمی‌گیرد).
- ✓ نویسنده مسئول باید حتماً ایمیل آکادمیک خود را درج نماید.
- ✓ هیات تحریریه از پذیرش مقالاتی که قبلاً در سایر نشریات چاپ شده و یا برای بررسی ارسال گردیده، معذور است.
- ✓ مقالاتی که بخشی از آن در کنگره‌ها، سمینارهای داخلی یا خارجی و سمپوزیوم‌ها ارایه و چاپ شده‌اند با ذکر این مطلب و در صورت عدم وجود موانع حقوق مؤلف (کپی رایت) از این قاعده مستثنی هستند.
- ✓ هیات تحریریه در رد، پذیرش یا ویرایش مقالات و همچنین تصمیم نهایی برای چاپ مقاله اختیار تام دارد.
- ✓ تمام مقالات باید با رعایت اخلاق در تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی و با توجه به بیانیه‌های مشخص در اخلاق پژوهش انجام شده باشد.
- ✓ به نویسندگان توصیه می‌شود تا پس از دریافت نظرات داوران، تغییرات و اصلاحات انجام شده را در نسخه اصلاحی با هایلایت کردن مطالب ویرایش شده مشخص نمایند. همچنین در برگه‌ای جداگانه ابهامات طرح شده توسط داوران را پاسخ دهند.
- ✓ حداقل نیمی از منابع ارجاع داده شده در مقاله مربوط به پژوهش‌های منتشر شده در ۱۰ سال اخیر باشند.
- ✓ تعداد مراجع ذکر شده در مقاله باید متناسب با نوع مقاله باشد. به طور متعارف مقالات پژوهشی بین ۱۰ تا ۳۰ ارجاع و مقالات مروری حداقل ۵۰ ارجاع دارند.

شناسایی نشانگرهای REMAP مرتبط با صفات مورفو-فیزیولوژیکی و زراعی در آفتابگردان دانه روغنی (*Helianthus annuus* L.) تحت شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری

نسرین اکبری^۱، رضا درویش زاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات-ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

* مسئول مکاتبه: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.382749.1316

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲

چکیده

تغییرات اقلیمی، کاهش سطح آب دریافتی از بارندگی‌ها و مدیریت‌های نادرست مصرف آب، تولید محصولات زراعی را با تنش خشکی طی دوره رشد مواجه می‌کند که سبب نوسان و کاهش محصول می‌گردد. در این بین آفتابگردان دانه روغنی، با تحمل نسبی به تنش خشکی و همچنین کیفیت بالای روغن تولیدی بیشتر مورد توجه است. در این بررسی، ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ با دو تکرار تحت دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری طی دو سال متوالی (سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) در مزرعه‌ای در روستای قزلجه از توابع شهرستان سلماس مورد ارزیابی قرار گرفتند. از نشانگرهای REMAP جهت شناسایی نشانگرهای مرتبط با صفات مورفو-فیزیولوژیکی و زراعی در آفتابگردان دانه روغنی استفاده شد. براساس مدل خطی مخلوط در مجموع تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری ۲۰ نشانگر مولکولی با صفات مورد بررسی ارتباط معنی‌دار نشان دادند. نشانگر "6181810" با صفت روغن و نشانگر "cf8267" با دو صفت طول و عرض برگ تحت شرایط تنش محدودیت آبیاری و نشانگر "658268" با صفات عملکرد دانه و عرض برگ تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. مشاهده ارتباط بین یک نشانگر با چند صفت می‌تواند نشأت گرفته از اثرات پلیوتروپی و یا پیوستگی نواحی ژنومی دخیل در کنترل این صفات باشد. در این بین شناسایی نشانگرهایی مانند نشانگرهای "658268" و "cf8267" که با چند صفت و در هر دو شرایط (آبیاری معمول و کم آبیاری) ارتباط معنی‌دار نشان دادند، به دلیل امکان‌پذیر نمودن بهبود همزمان چند صفت از اهمیت بیشتری در برنامه‌های به‌نژادی برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی، تنش خشکی، تجزیه ارتباط، نشانگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون

مقدمه

آبیاری تکمیلی کشت می‌شود. بنابراین، کیفیت محصول آن تحت تأثیر شرایط محیطی از قبیل گرما و خشکسالی قرار می‌گیرد (Robert *et al.*, 2015).

تنش خشکی، یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده در حفظ تورژسانس طبیعی می‌باشد، که متعاقب آن، روزه‌ها بسته شده و در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند فتوسنتز، تنفس، انتقال و جذب یون، متابولیسم مواد مغذی و هورمون‌ها وقفه ایجاد می‌شود. این نارسایی‌ها، در واقع با مهار تقسیم سلولی، رشد و توسعه و عملکرد گیاه را متأثر می‌سازند (Skirycz *et al.*, 2011; Bhatt and Rao, 2005). در طی چند دهه اخیر به واسطه گرمایش زمین شاهد تغییر در محدوده‌های دمایی در کشاورزی و بروز تنش‌های خشکی و دمایی هستیم، بدین‌سان عملکرد محصولات زراعی از جمله آفتابگردان به طور مکرر هر سال دست خوش تغییر می‌گردد. به

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی است که حاوی ۴۰-۵۰ درصد روغن و ۱۷-۲۰ درصد پروتئین می‌باشد (Bhutta, 1998; Sharfun-Nahar and Hashmi, 2005; Fernandez *et al.*, 2019). گیاه آفتابگردان به عنوان یک گیاه دانه روغنی، جایگاه پنجم جهان را بعد از سویا، کلزا، پنبه و بادام زمینی به خود اختصاص داده است (Seiler and Guly, 2016). روغن آفتابگردان علاوه بر مصارف تغذیه‌ای و پزشکی (Radanović *et al.*, 2018)، دارای مطلوبیت کافی جهت مصارف در بخش صنعتی نیز می‌باشد (Fernandez *et al.*, 2012; Thirumarimurugan *et al.*, 2019). آفتابگردان به عنوان یک محصول زراعی گرمسیری و نیمه حساس به خشکی شناخته شده است، که در مناطق نیمه گرمسیری با آب و هوای نیمه خشک تا خشک و اغلب در اراضی مستعد خشکی، با

نسبت به بسیاری دیگر از نشانگرهای مولکولی دارند و همچون نشانگرهای RAPD مقرون به صرفه هستند. در واقع REMAP با شناخت محاسن و معایب دو سیستم نشانگر ریزماهواره و RAPD توسعه یافته است که تا حد زیادی چالش‌های اصلی ناشی از دو نشانگر را برطرف می‌کند (Liu *et al.*, 2020). نشانگرهای REMAP که به طور گسترده در ژنوم بسیاری از گونه‌های گیاهی پراکنده شده‌اند، در تعیین خصوصیات و مطالعات روابط ژنتیکی در گونه‌های مختلف گیاهی کارآمد هستند (Salazar *et al.*, 2014).

رویکردهای به‌نژادی کلاسیک برای بهبود عملکرد و صفات زراعی مرتبط، به دلیل وراثت‌پذیری پایین و بی‌ثباتی این صفات چندان سودمند نیستند، بنابراین رویکردهای به‌نژادی مولکولی مانند نقشه‌برداری QTL و انتخاب به کمک نشانگر برای اصلاح تحمل تنش خشکی در گیاهان استفاده می‌شود (Bankole *et al.*, 2017). QTLها اساساً به موقعیت (محل) ژن‌های کنترل‌کننده صفات کمی اطلاق می‌شوند، که شامل یک منطقه ژنومی، متشکل از یک ژن واحد یا خوشه‌ای از ژن‌ها می‌باشد، که بر ویژگی‌های صفات تأثیر می‌گذارند.

در گیاهان روغنی از جمله آفتابگردان جهت ارزیابی و شناسایی نشانگرهای مرتبط با درصد روغن (Dehmer and Friedt, 1998) و نشانگرهای مرتبط با تحمل تنش خشکی (Nezhadahmadi *et al.*, 2013) مطالعاتی انجام گرفته است. در آفتابگردان با استفاده از نشانگرهای ISSR¹⁰ در مجموع ۷۶ نشانگر مرتبط با صفات قطر ساقه، تعداد برگ، قطر طبق، تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی معرفی شدند (Darbani *et al.*, 2020). در سویا ۶۵ QTL مرتبط با تحمل تنش خشکی معرفی شده است (Ren *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای دیگر در سویا تحت تنش خشکی تعداد ۵۵ QTL مرتبط با صفات محتوای روغن دلنه، پروتئین دلنه، عملکرد دلنه، وزن هزار دلنه و ارتفاع بوته شناسایی شده است (Du *et al.*, 2009). در مطالعات دیگر کارایی فتوسنتز تحت شرایط تنش خشکی ارزیابی و QTLهای مرتبط با پارامترهای فلورسانس کلروفیل،

این جهت لازم است، با استفاده از روش‌های جدید به‌نژادی، بر تولید هیبریدهای متحمل به خشکی متمرکز شد (Pekcan *et al.*, 2016). با توجه به اهمیت مطالعه و گزینش ارقام روغنی متحمل به تنش‌ها به ویژه تنش شایع و مهم خشکی، بررسی تنوع ژنتیکی در پاسخ‌های سازگاری تکامل یافته در توده‌ها، ژنوتیپ‌ها و ارقام زراعی آفتابگردان و نیز شناسایی QTLهای مرتبط با آنها جهت به کارگیری علمی در برنامه‌های به‌نژادی ضروری به نظر می‌رسد.

ارزیابی تنوع ژنتیکی و شناسایی ارقام گیاهی جدید در جهت تولید هیبریدهای با عملکرد بالاتر، کیفیت بهتر، سازگار و کارآمد در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده، عمدتاً به دو روش متداول و مرسوم «کلاسیک» و «مولکولی» انجام می‌شود. روش‌های کلاسیک، مبتنی بر ارزیابی اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و یا فیزیولوژیک، مانند ارزیابی ارتفاع بوته، قطر طبق، روز تا گل‌دهی و دوره بلوغ فیزیولوژیک (Pekcan *et al.*, 2016)، یا ارزیابی تعداد برگ، قطر طبق، سطح برگ، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و محتوای نسبی آب برگ (RWC¹) می‌باشد (Hossain *et al.*, 2010). در حالیکه روش‌های مولکولی مبتنی بر بررسی‌های آیزوایمی، سیتولوژیکی و استفاده از نشانگرهای DNA می‌باشد. نشانگرهای DNA از مهم‌ترین عوامل پیشرفت در مطالعات ژنتیک گیاهی بشمار می‌روند (Kebriyae *et al.*, 2012). نشانگرهای رتروترانسپوزونی که بخش وسیعی از ژنوم را پوشش و عملکرد ژن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Gbadegesin and Beeching, 2010)، بر اساس وجود عناصر ژنتیکی متحرک در ژنوم یوکاریوت‌ها توسعه یافته‌اند و گاه نسخه زیادی از بعضی خانواده‌های آنها مشاهده می‌شود (Kalendar *et al.*, 2011). از نشانگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون‌ها می‌توان به نشانگرهای REMAP²، RBIP^۳، IPBS^۴ و IRAP^۵ (Amiteye, 2021) اشاره کرد. REMAP تکنیک مبتنی بر PCR^۶ است، که از ترکیب مزایای دو نشانگر SSR^۷ (ریزماهواره^۸) و RAPD^۹ برخوردار می‌باشد. نشانگرهای REMAP همانند نشانگرهای SSR سطح پلی‌مورفیسم بالاتر

⁶Polymerase chain reaction

⁷Simple sequence repeats

⁸Microsatellite

⁹Random amplified polymorphic DNA

¹⁰Inter simple sequence repeats

¹Relative water content

²Retrotransposon microsatellite amplification polymorphisms

³Retrotransposon-based insertion polymorphism

⁴Inter-primer binding site

⁵Inter-retrotransposon amplified polymorphism

دو سال (سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) در روستای قزلجه (۳۸ درجه ۱۱ دقیقه ۵۰ ثانیه شمالی، ۴۴ درجه ۴۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی) از توابع شهر سلماس (استان آذربایجان غربی) برای صفات مختلف مورفو-فیزیولوژیک و زراعی ارزیابی شدند. کشت در روی خطوط ۵ متری و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت و ۵۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها انجام گرفت. آبیاری تا ۸ برگگی پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. بعد از ۸ برگگی در آزمایش آبیاری معمول آبیاری تا انتهای فصل رشد به روال قبلی ادامه یافت، اما در آزمایش کم آبیاری، آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام گرفت. در هر دو آزمایش بعد از گل‌دهی و پس از برداشت دانه صفات مختلف مورفو-فیزیولوژیک و زراعی شامل ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، قطر ساقه (سانتی‌متر)، تعداد برگ، طول برگ (سانتی‌متر)، عرض برگ (سانتی‌متر)، طول دم‌برگ (سانتی‌متر)، قطر طبق (میلی‌متر)، تعداد روز تا گل‌دهی (روز) و تعداد روز تا رسیدگی (روز)، محتوای روغن دانه (گرم)، محتوای کلروفیل (SPAD)، محتوای نسبی آب برگ (درصد) و عملکرد دانه (گرم) اندازه‌گیری شدند. صفات محتوای نسبی آب برگ (درصد) و محتوای کلروفیل در مرحله پُر شدن دانه، دو صفت محتوای روغن دانه و عملکرد دانه بعد از رسیدگی و بقیه صفات در مرحله بعد از گل‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات ارتفاع بوته با متر، طول و عرض برگ، طول دم‌برگ و قطر طبق با خط‌کش، قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شدند. سنجش محتوای کلروفیل در برگ‌ها با استفاده از SPAD-502 Plus، ساخت شرکت Konica Minolta ژاپن، انجام گرفت. برای سنجش محتوای نسبی آب برگ ابتدا دیسک‌هایی هم‌اندازه از برگ‌های جوان با توسعه کامل از وسط بوته تهیه و توزین و به عنوان وزن تر (FW) ثبت شد. سپس دیسک‌ها به مدت ۴ ساعت به حالت غوطه‌ور در آب دوبار تقطیر شده در محوطه تاریک با دمای ۲۵ درجه نگهداری و بعد خشک کردن با کاغذ صافی وزن اشباع آنها سنجیده و ثبت گردید (TW). در نهایت نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت داخل آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. بعد اطمینان از خشک شدن نمونه‌ها وزن خشک آنها تعیین (DW) و از فرمول زیر برای محاسبه محتوای نسبی آب برگ استفاده شد (Abdi et al., 2018).

محتوی کلروفیل و فعالیت فیتوشیمیایی PSII شناسایی و معرفی شده‌اند (Abdi et al., 2012; Mora et al., 2016). محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیک در ارزیابی تحمل به تنش خشکی می‌باشند (Sinclair and Ludlow, 1986; Rauf and Sadaqat, 2008). در ذرت ۴ QTL که ۵۰ درصد تغییرات کلروفیل تحت تنش خشکی را توجیه می‌کنند، شناسایی شده است (Andleeb et al., 2020). در آفتابگردان ۱۷ نشانگر ISSR مرتبط با محتوای نسبی آب برگ (Darbani et al., 2020) همچنین ۳ QTL مرتبط با تغییرات کلروفیل و ۴ QTL مرتبط با محتوای آب در شرایط آبیاری نرمال و ۷ QTL مرتبط با تغییرات کلروفیل و ۲ QTL مرتبط با محتوای آب تحت شرایط تنش کم آبی با استفاده از نشانگرهای SNP شناسایی شده‌اند (Abdi et al., 2012). در برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از ۹۰ نشانگر SSR، ۲۸ نشانگر ISSR، ۶ نشانگر iPBS¹ و ۹ نشانگر IRAP، دو نشانگر RM1-RM490 و RM133-3-2-3-1 که بر روی کروموزوم‌های ۱ و ۶ قرار دارند به عنوان تنظیم‌کننده اصلی صفات مرتبط با خشکسالی معرفی شدند (Noryan et al., 2021). از آنجا که عمده نیاز روغن خوراکی مورد مصرف در کشور از طریق واردات تأمین می‌شود؛ لزوم اولویت‌دهی به برنامه‌های به‌نژادی تولید و توسعه ارقام متحمل به خشکی در آفتابگردان روغنی از اهمیت اساسی برخوردار است. این پژوهش در راستای شناسایی نشانگرهای پیوسته با برخی صفات مورفو-فیزیولوژیک و زراعی در آفتابگردان دانه روغنی در شرایط آبیاری محدود اجرا گردیده است. شناسایی نشانگرهای مولکولی مرتبط با صفات کمک شایانی به گزینش و معرفی ژنوتیپ‌های مطلوب و متحمل به تنش خشکی با پتانسیل عملکرد بالا در آفتابگردان دانه روغنی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و ارزیابی فنوتیپی

در این مطالعه ۱۰۰ ژنوتیپ تهیه شده از مراکز مختلف تحقیقاتی آفتابگردان در جهان (جدول ۱) در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ با دو تکرار در ۱۰ بلوک ناقص و هر بلوک شامل ۱۰ کرت زراعی تحت دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری در

¹Inter-primer binding site

تجزیه‌های آماری

ضریب تنوع ژنتیکی نی^۳ (Ne)، شاخص شانون^۴ (I) و درصد چندشکلی (P) برای نشانگرهای مورد مطالعه با استفاده از روابط زیر در نرم‌افزار GenAIEx 6.5 (Peakall and Smouse, 2012) محاسبه شد.

$$\text{Nei's genetic diversity [D]} = \sum_{j=1}^L \frac{h_j}{L}$$

$$h_j = 1 - p^2 - q^2$$

$$I = \text{Shannon's information index} = -1 \times (p \times \ln(p) + q \times \ln(q))$$

$$P = n_{pj} / n_{\text{total}}$$

در این روابط، p و q فراوانی‌های آلی، L یا n_{total} تعداد کل مکان‌ها و n_{pj} تعداد مکان‌های پلی مورف می‌باشد.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس داده‌های مولکولی با الگوریتم Neighbor Joining در نرم‌افزار DARWin 6.0.21 (Perrier and Jacquemoud, 2006) انجام شد. تجزیه به بردارهای اصلی^۵ (PCoA) نیز به عنوان روش مکمل تجزیه خوشه‌ای با استفاده از افزار GenAIEx 6.5 انجام شد. تجزیه واریانس مولکولی جهت برآورد تنوع بین و درون گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای و تجزیه ساختار جمعیت به روش بی‌زین به ترتیب با نرم‌افزار GenAIEx 6.5 و نرم‌افزار Structure 2.3.3 (Pritchard *et al.*, 2000) انجام شد. در تجزیه ساختار از مدل Admixture با ۱۰۰۰۰ بار Burn-in (دوره گرم کردن) و ۱۰۰۰۰ بار تکرار MCMC^۶ جهت حصول منحنی حداکثر درست‌نمایی استفاده شد. مقادیر زیرجمعیت فرضی اولیه (K) بین ۱ تا ۱۰ و جهت افزایش دقت، ۵ تکرار برای هر K در نظر گرفته شد و در نهایت تعداد زیرجمعیت‌های احتمالی (K بهینه) بر اساس روش delta K (ΔK) تعیین شد (Evanno *et al.*, 2005). برای K بهینه، ماتریس Qst محاسبه گردید. از نرم‌افزار TASSEL 3 (Bradbury *et al.*, 2007) جهت شناسایی نشانگرهای دارای ارتباط معنی‌دار با صفات مورد ارزیابی با استفاده از مدل خطی مخلوط (MLM) وابسته به ماتریس‌های K + Q (ماتریس ضرایب ساختار جمعیت + ماتریس روابط خویشاوندی) و محاسبه میزان عدم تعادل پیوستگی (LD) استفاده شد.

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

به منظور ارزیابی مولکولی، استخراج DNA از ۷۸ ژنوتیپ از ۱۰۰ ژنوتیپ مورد بررسی (جدول ۱) به روش CTAB^۱ (Doyle and Doyle, 1990) انجام گرفت. در این راستا در مرحله بلوغ گیاه، نمونه برگ از ۵ بوته و جوان‌ترین برگ توسعه یافته آنها تهیه شد. سپس به منظور ارزیابی کیفی و کمی DNA استخراج شده، از الکتروفورز ژل آگارز ۱ درصد و اسپکتروفتومتری استفاده شد. در اسپکتروفتومتری، در رابطه با هر کدام از نمونه‌ها میزان جذب نور با طول موج ۲۶۰، ۲۸۰ و ۲۳۰ نانومتر توسط DNA اندازه‌گیری شد و DNA نمونه‌هایی که نسبت میزان جذب در A260 به A280 در آنها در محدوده ۲-۷/۱ و نسبت میزان جذب در A260 به A230 در محدوده ۲ بود انتخاب شدند. پروفیل مولکولی ژنوتیپ‌ها با استفاده از آغازگر مبتنی بر رتروترانسپوزون REMAP (جدول ۲) تهیه گردید. واکنش‌های PCR^۲ در حجم نهایی ۲۰ میکرولیتر، حاوی ۲۰ نانوگرم DNA ژنومی، ۲ میکرولیتر بافر PCR ۱۰ برابر (۰/۷، (KCl = 500 mM, Tris-HCl = 500 mM, pH = 8.4)، میکرولیتر کلرید منیزیم ۵۰ میلی‌مولار (MgCl₂ 50 mM) (شرکت سیناژن، ایران)، ۰/۲۵ میلی‌مول از هر dNTP، ۱/۱ واحد آنزیم Taq DNA polymerase (شرکت سیناژن) و ۱۰ میکرولیتر از هر آغازگر به همراه آب دیونیزه در دستگاه ترموسایکلر (Mastercycler Gradient: Type 5331, Eppendorf AG, Hamburg, Germany) انجام گرفت. برنامه دمایی واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز بصورت: ۴ دقیقه جهت واسرشت‌سازی اولیه در ۹۴ درجه سانتی‌گراد + ۳۶ چرخه، هر چرخه شامل ۴۰ ثانیه جهت واسرشت‌سازی، ۴۰ ثانیه در دمای اتصال اختصاصی مربوط به هر آغازگر و ۲ دقیقه در ۷۲ درجه سانتی‌گراد جهت بسط + ۱۰ دقیقه در ۷۲ درجه سانتی‌گراد جهت بسط نهایی بود. از الکتروفورز با ژل آگارز ۱/۸ درصد و بافر 0.5XTBE با ولتاژ ۷۵ ولت به مدت ۳ ساعت و رنگ‌آمیزی با اتیدیوم بروماید (1.0 mg ml⁻¹) به منظور آشکارسازی باندهای تکثیر شده استفاده شد. برای تعیین اندازه‌ی باندها از نشانگر اندازه‌ی O'GeneRuler™ (شرکت فرمنتاز، لیتوانی) استفاده گردید.

^۴I = Shannon's Information Index

^۵Principal coordinate analysis

^۶Markov Chain Monte Carlo

^۱Cetyl trimethylammonium bromide

^۲Polymerase chain reaction

^۳Ne = Nei's genetic diversity

جدول ۱- کد شناسه و منشأ ۱۰۰ ژنوتیپ آفتابگردان دانه روغنی مورد بررسی در آزمایش کم آبیاری

Code number and origin of 100 oilseed sunflower genotypes evaluated in limited irrigation experiment. Table 1

کد Code	نام لاین Line name	نام کشور Country	نام مرکز تحقیقاتی Resarch Centre	کد Code	نام لاین Line name	نام کشور Country	نام مرکز تحقیقاتی Resarch Centre
1	H100A/83HR4	فرانسه	ASGROW	51	H250A/83HR4	فرانسه	ASGROW
2	H209A/LC1064	فرانسه	ASGROW	52	RHA265	امریکا	USDA
3	H205A/H543R	فرانسه	ASGROW	53	PM1-3	امریکا	USDA
4	AS5306	فرانسه	ENSAT	54	RT948	فرانسه	RUSTICA
5	RHA858	امریکا	USDA	55	283-ENSAT	-	-
6	H209A/83HR4	فرانسه	ASGROW	56	QHP-1	فرانسه	INRAMONT
7	AS3211	فرانسه	ENSAT	57	SDR19	امریکا	USDA
8	254-ENSAT	فرانسه	ENSAT	58	HA337B	امریکا	USDA
9	AS5304	فرانسه	ASGROW	59	H100B	فرانسه	ASGROW
10	1009329.2(100K)	فرانسه	ENSAT	60	B454/03	مجارستان	-
11	270-ENSAT	فرانسه	ENSAT	61	HA304	امریکا	USDA
12	AS613	فرانسه	ASGROW	62	RT931	فرانسه	RUSTICA
13	A-FLPOPA	فرانسه	NOVARTIS	63	HA335B	امریکا	USDA
14	OES	فرانسه	INRAMONT	64	NS_B5	فرانسه	NOVARTIS
15	H100A/LC1064	فرانسه	ASGROW	65	SDB3	امریکا	USDA
16	RHA266	امریکا	USDA	66	LC1064C	فرانسه	ASGROW
17	PAC2	فرانسه	ENSAT	67	NS-R5	فرانسه	NOVARTIS
18	H157/LC1064	فرانسه	ASGROW	68	DM-2	امریکا	USDA
19	5DES20QR	فرانسه	BRN	69	H156A/RHA274	فرانسه	ASGROW
20	15038	فرانسه	ENSAT	70	SDB1	امریکا	USDA
21	1009337(100K)	فرانسه	ENSAT	71	HAR-4	امریکا	USDA
22	AS3232	فرانسه	ASGROW	72	AS5305	فرانسه	ASGROW
23	12AASB3	فرانسه	ASGROW	73	RHA274	امریکا	ASGROW
24	8ASB2	فرانسه	ASGROW	74	H158A/H543R	فرانسه	ASGROW
25	9CSA3	فرانسه	Caussade semences	75	H100A/RHA274	فرانسه	ASGROW
26	H049+FSB	فرانسه		76	H209A/H566R	فرانسه	ASGROW
27	SSD-580	فرانسه	ASGROW	77	ASO-1-POP-A	فرانسه	ENSAT
28	5AS-F1/A2*R5AS-29-F1/A2*R2	فرانسه	ASGROW	78	AS6305	فرانسه	ENSAT
29	7CR1=PRH6	فرانسه	C.F	79	B-FIPOPB	فرانسه	NOVARTIS
30	ENSAT699	فرانسه	ENSAT	80	D34	امریکا	USDA
31	SSD-581	فرانسه	ASGROW	81	CAY	فرانسه	ENSAT
32	TMB-51	فرانسه	INRAMONT	82	346	ایران	SPII
33	11*12	ایران	SPII	83	NS-F ₁ -A ₅ *R ₅	فرانسه	NOVARTIS
34	110	ایران	SPII	84	36	ایران	SPII
35	H603R	فرانسه	INRAMONT	85	38	ایران	SPII
36	4	ایران	SPII	86	SDB2	فرانسه	INRAMONT
37	703-CHLORINA	فرانسه	ENSAT	87	H158A/LC1064		
38	NSF ₁ -A ₄ *R ₅	فرانسه	NOVARTIS	88	H156A/H543R	فرانسه	ASGROW
39	28	ایران	SPII	89	H543R/H543R	فرانسه	ASGROW
40	30	ایران	SPII	90	H543R	فرانسه	-
41	F1250/03	مجارستان		91	SF076	فرانسه	ENSAT
42	SDR18	امریکا	USDA	92	B-FIPOPB		
43	LP-SCYB	فرانسه	ENSAT	93	SF085	فرانسه	ENSAT
44	803-1	صربستان	IFVC	94	SF092	-	-
45	1009370-1(100K)	فرانسه	ENSAT	95	A-CONTROLPLASTIPIC		
46	CSWW2S	فرانسه	Caussade semences	96	59-1	ایران	SPII
47	1009370-3(100K)	فرانسه	ENSAT	97	H-100A-90RL8		
48	H158A/H543R	فرانسه	ASGROW	98	SF109	فرانسه	ENSAT
49	H100A	فرانسه	ASGROW	99	SF105	فرانسه	ENSAT
50	15031	فرانسه	ASGROW	100	SF-023	-	-

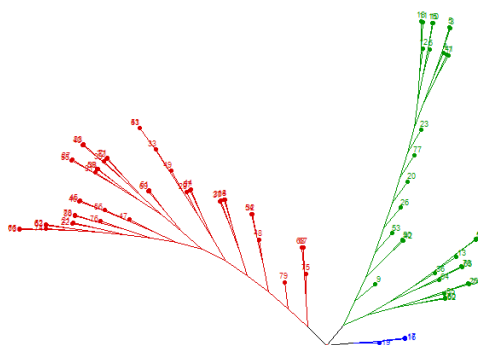
جدول ۲- توالی آغازگرهای REMAP مورد استفاده در تهیه پروفیل مولکولی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی

توالی	آغازگرهای آ‌ی اس اس آر	توالی	آغازگرهای رتروترانسپوزون
Sequence (5'→3')	ISSR primers	Sequence (5'→3')	Retrotransposon primers
CACACACACACACACAG	UBC-818	AGAGGGGAATGTGGGGGTTTCC	1061 LTR
ACACACACACACACACAC	UBC-826	TCTCTATTATAGCCGGAGAGGTG	1062 LTR
GAGAGAGAGAGAGAGAYT	UBC-840	GATCCGGTTTCACGGGACTTAC	1063 LTR
ACACACACACACACACYG	UBC-857	CGAAGAACAAACCGAATCACC	1064 LTR
GTGTGTGTGTGTCC	A13	AGCCTCTGAAAGACTCGTTCG	1065 LTR
GAGAGAGAGAGAGAGAA	UBC-812	GGTTTAGGTTTCGTAATCCTCCGCG	CF
ATGATGATGATGATGATG	UBC-864	ACAGACACCAGTGGCACCAAC	CR
GGAGAGGAGAGGAGA	UBC-880	TAACGGTGTCTGTTTTGCAGG	UF(U81)
		AGAGGGGAATGTGGGGGTTTCC	UR1(U82)

نتایج و بحث

با هفت ترکیب آغازگری استفاده شده ۱۲۰ نشانگر تکثیر شدند، که بر این اساس میانگین اندازه سه آماری ضریب تنوع ژنتیکی نی، شاخص شانون و درصد چندشکلی برای نشانگرهای مورد مطالعه به ترتیب ۰/۳۳۵، ۰/۴۹۶ و ۹۱/۹۴٪ برآورد گردید. بر پایه نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه گروه‌بندی شدند (شکل ۱). گروه اول، دوم و سوم به ترتیب شامل ۳۵، ۲۳ و ۲۰ ژنوتیپ بودند. ژنوتیپ‌های هر گروه شامل ژنوتیپ‌هایی از مناطق جغرافیایی متفاوت بود. نتایج تجزیه به بردارهای اصلی نشان داد سه مؤلفه اول، دوم و سوم به ترتیب ۴۳/۰۶، ۱۶/۰۸ و ۱۲/۱۹ درصد و در مجموع ۷۱/۳۲ درصد از کل تغییرات را تبیین می‌کنند (شکل ۲). تجزیه به بردارهای اصلی قادر به تفکیک کامل ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مجزا نگردید که این امر احتمالاً نشان از وجود روابط خویشاوندی بالا بین ژنوتیپ‌ها و حضور اجداد مشترک در مسیر تکامل ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی است. تجزیه واریانس مولکولی نشان داد ۹۱ درصد از تغییرات

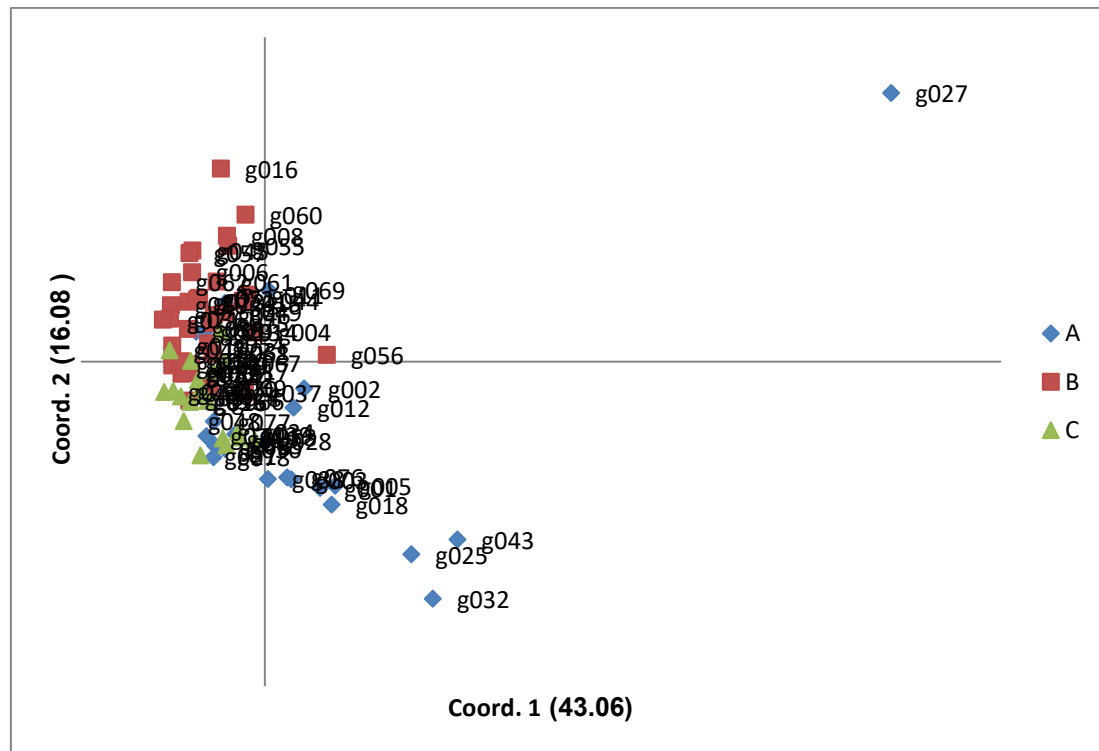
به درون گروه و ۹ درصد به بین گروه‌ها مربوط است. نتایج تجزیه واریانس حاکی از تنوع ژنتیکی بالا در درون گروه‌ها می‌باشد. مشاهده واریانس درون گروهی بالا با استفاده از نشانگر^۱ RFLP (Hongtrakul *et al.*, 1997) هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر است. مقدار PhiPT برابر ۰/۰۹۰۳ برآورد شد، که بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها است و تاییدی بر عدم تفکیک ژنوتیپ‌ها در تجزیه بردار اصلی است. همچنین مقادیر میانگین مربعات درون هر گروه، درصد چندشکلی، شاخص شانون و ضریب تنوع هر یک از گروه‌ها به ترتیب (۰/۵۳۷، ۰/۴۶۵، ۰/۳۱۲) برای گروه اول، (۰/۳۹۲، ۰/۲۱۶، ۰/۱۹۰) برای گروه دوم و (۰/۳۲۹، ۰/۴۸۵، ۰/۰۹۰) برای گروه سوم برآورد شد. مقدار PhiPT محاسبه شده دو به دو بین گروه‌بندی‌های انجام شده به ترتیب برای گروه اول و دوم (۰/۱۰۵) گروه اول با سوم (۰/۰۹۳) گروه دوم با سوم (۰/۰۶۹) برآورد شد، که مؤید عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها بود.



شکل ۱- دندروگرام ژنوتیپ‌های مختلف آفتابگردان دانه روغنی مورد مطالعه به روش Neighbor Joining براساس ۷ ترکیب آغازگری REMAP

Figure 1- Neighbor Joining dendrogram of different oilseed sunflower genotypes based on 7 REMAP primer combinations

^۱Restriction fragment length polymorphism



شکل ۲- نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی بر اساس دو بردار حاصل از تجزیه بردار اصلی روی داده‌های نشانگر REMAP (A) گروه اول، B گروه دوم و C گروه سوم را نشان می‌دهد).

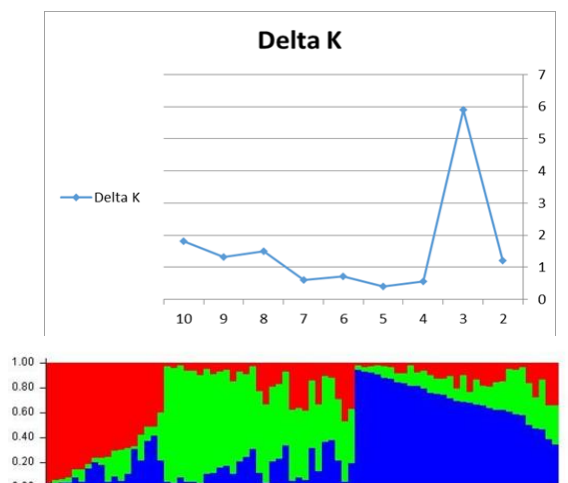
Figure 2- The results of the grouping of oilseed sunflower genotypes based on two vectors obtained from the analysis of the main vector on REMAP marker data. A show the first group, B show the second group, and C show the third group.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مولکولی برای ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی بر اساس نشانگرهای REMAP

منبع تغییرات	میانگین مربعات	برآورد واریانس	درصد واریانس
Source of variation	Mean squares	Variance estimation	Percentage of variance
بین گروه	77.323	2.193	9%
Among group			
درون گروه	22.076	22.076	91%
Within group			

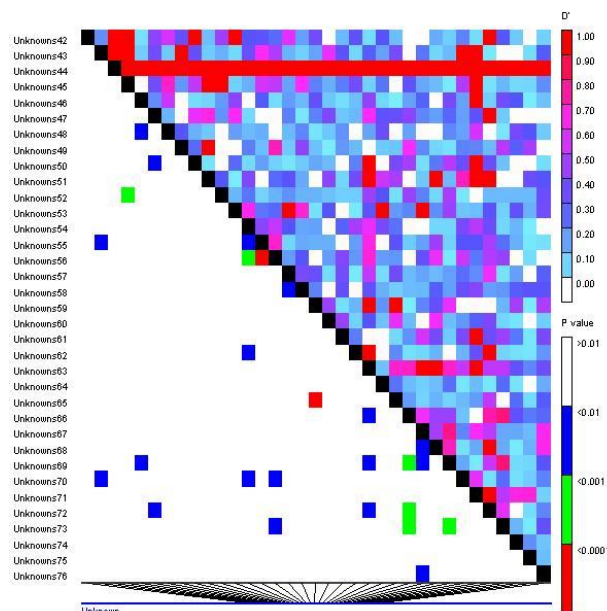
نتایج تجزیه ساختار جمعیت در تطابق با نتایج تجزیه خوشه‌ای بود. علاوه بر ترکیب ساختار جمعیت، بررسی گستره عدم تعادل پیوستگی در ژنوم نیز حائز اهمیت می‌باشد (Al-Maskri *et al.*, 2012). عدم تعادل پیوستگی متأثر از عوامل متعددی از جمله سیستم گرده‌افشانی (اتوگامی و آلوگامی)، اپیستازی، ایزولاسیون ژنتیکی، درجه خویشاوندی، اندازه جمعیت، ساختار جمعیت، رانده‌شدن ژنتیکی، میزان نوترکیبی، جهش (Gupta *et al.*, 2005; Oraguzie *et al.*, 2007) و نیز نوع نشانگر مورد استفاده شده می‌باشد (Ching *et al.*, 2002). میانگین عدم تعادل پیوستگی برای نشانگرهای REMAP ۱/۸۰ درصد برآورد شد. بار پلات عدم تعادل در شکل ۴ ارائه شده است.

در تجزیه ساختار جمعیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در ۳ زیرجمعیت احتمالی ($K=3$) قرار گرفتند و $K=3$ به عنوان K بهینه در تخمین ساختار جمعیت و محاسبه ماتریس سهم عضویت افراد در هر خوشه (ماتریس Q) در نظر گرفته شد. بر پایه نتایج بارپلات حاصل (شکل ۳)، با احتمال بیشتر از ۷۰ درصد (حد آستانه ۰/۷ ماتریس Q)، ۱۱ فرد به زیر ساختار اول (سبز)، ۱۲ فرد به زیر ساختار دوم (قرمز) و ۱۵ فرد به زیر ساختار سوم (آبی) تعلق داشت. بنابراین در مجموع ۴۸/۷۱ درصد افراد مورد مطالعه دارای درصد عضویت بیشتر و مساوی ۰/۷ و ۵۱/۲۸ درصد افراد دارای سهم عضویت کمتر از ۰/۷ بودند که به عنوان ژنوتیپ‌های مخلوط در نظر گرفته شدند.



شکل ۳- الف- بررسی تغییرات Delta K. ب- تجزیه خوشه‌های مبتنی بر مدل Bayesian برای ۷۸ ژنوتیپ آفتابگردان مورد مطالعه براساس ۱۲۰ نشانگر REMAP (K=۳).

Figure 3- (A) Survey of Delta K changes. (B) Cluster analysis using Bayesian model for 78 studied oilseed sunflower genotypes based on 120 REMAP markers (K=3).



شکل ۴- بار پلات عدم تعادل پیوستگی ایجاد شده با نرم‌افزار TASSEL؛ قسمت بالای قطر نشان دهنده میزان عدم تعادل پیوستگی بر اساس آماره D' و پایین قطر نشان دهنده P-value می‌باشد.

Figure 4- The bar plot of the linkage disequilibrium created by TASSEL software; The upper part of the diameter shows the level of linkage disequilibrium based on the D' statistic and the lower part of the diameter shows the P-value.

تجزیه پیوستگی و تجزیه ارتباطی جهت شناسایی و معرفی نشانگرهای مرتبط با صفات مهم اقتصادی چون عملکرد و روغن به کار گرفته می‌شوند؛ در این بین، تجزیه ارتباطی که عموماً در قالب دو مدل خطی عمومی (GLM^1) و مدل خطی مخلوط (MLM^2) انجام می‌شود؛ به دلیل افزایش وضوح تجزیه QTL و افزایش پوشش آلی از ارجحیت برخوردار می‌باشد (Jannink and Walsh, 2002; Yu *et al.*, 2006b). از دو مدل مورد استفاده در تجزیه ارتباطی در صورت وجود رابطه خویشاوندی بالا بین ژنوتیپ‌ها، مدل MLM به دلیل مد نظر قرار دادن ماتریس K (روابط خویشاوندی بین افراد) در حین انجام تجزیه، موجبات کاهش ارتباط دروغین بین نشانگر و صفت شده و کاهش احتمال ارتکاب اشتباه نوع اول را فراهم می‌نماید؛ در

تجزیه پیوستگی و تجزیه ارتباطی جهت شناسایی و معرفی نشانگرهای مرتبط با صفات مهم اقتصادی چون عملکرد و روغن به کار گرفته می‌شوند؛ در این بین، تجزیه ارتباطی که عموماً در قالب دو مدل خطی عمومی (GLM^1) و مدل خطی مخلوط (MLM^2) انجام می‌شود؛ به دلیل افزایش وضوح تجزیه QTL و افزایش پوشش آلی از ارجحیت برخوردار می‌باشد (Jannink

²Mixed linear model

¹General linear model

دو صفت عرض برگ و عملکرد ارتباط معنی‌دار در سطح یک درصد نشان دادند. نشانگر 658268 تحت هر دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری ارتباط معنی‌دار در سطح یک درصد با دو صفت عملکرد و عرض برگ نشان داد. به طور کلی شناسایی نشانگرهای مرتبط با چند صفت به دلیل فراهم کردن امکان گزینش چندین صفت توسط یک نشانگر و ایجاد زمینه لازم برای درک درست از روابط صفات و ارتباطات بین مکان‌های ژنی حائز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (Ahmadpour *et al.*, 2018) و باعث افزایش کارایی انتخاب به کمک نشانگر (MAS^1) و پیشرفت ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی می‌شود (Shirmohammadli *et al.*, 2018). البته شناسایی نشانگر خوب که مرتبط با تحمل به خشکی و پایداری عملکرد بوده و در حد امکان دقیق و مقرون به صرفه و به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد، حائز اهمیت است (Toum *et al.*, 2020). وجود نشانگرهای مشترک می‌تواند ناشی از اثرات پلیوتروپی و یا پیوستگی نواحی ژنومی کنترل کننده این صفات باشد. نشانگرهای 658268، 638263، 618181 و 658268 ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد به ترتیب با صفات تعداد برگ، عرض برگ، روغن و عملکرد تحت هر دو شرایط (آبیاری معمول و کم آبیاری) نشان دادند. بنابراین گزینش بر اساس این نشانگرها که به عنوان نشانگرهای پایدار تحت شرایط محیطی متفاوت در نظر گرفته می‌شوند، می‌تواند مطلوب‌تر باشد (Rasoulzadeh Aghdam *et al.*, 2021).

حقیقت این امر سبب افزایش قابلیت اطمینان و اعتبار نشانگرهای شناسایی شده می‌گردد (Yu *et al.*, 2006a). در مطالعه حاضر مجموعاً ۲۰ مکان؛ ۱۰ مکان تحت شرایط آبیاری معمول و ۱۰ مکان تحت شرایط کم آبیاری با صفات مورد مطالعه ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. در تجزیه ارتباطی با استفاده مدل MLM تحت شرایط آبیاری معمول نشانگر (648264) برای ارتفاع بوته، نشانگر (658263) برای قطر ساقه، ۲ نشانگر (638263 و cf8268) برای تعداد برگ، نشانگر (658268) برای عرض برگ، نشانگر (648183) برای تعداد روز تا گل‌دهی، نشانگر (cf8185) برای RWC، نشانگر (cf8263) برای طول دم‌برگ، نشانگر (658268) برای عملکرد و نشانگر (6181810) برای محتوای روغن دانه شناسایی شد (جدول ۵). تحت شرایط کم آبیاری برای صفت طول برگ ۱ نشانگر (Cf8267)، محتوای کلروفیل ۲ نشانگر (648408 و 638267)، عرض برگ ۳ نشانگر (638263، 658268 و Cf8267)، عملکرد ۱ نشانگر (658268)، تعداد برگ ۱ نشانگر (638263) و در نهایت درصد روغن ۲ نشانگر (Cf8181 و 6181810) شناسایی شد (جدول ۶). در این مطالعه تعدادی نشانگر مشترک برای صفات مورد مطالعه شناسایی شدند. نشانگر 658268 با صفات عرض برگ و عملکرد تحت شرایط آبیاری معمول و در شرایط کم آبیاری نشانگر Cf8267 با دو صفت عرض و طول برگ، نشانگر 638263 با صفات عرض برگ و تعداد برگ، نشانگر 658268 با

جدول ۵- نشانگرهای REMAP پیوسته با صفات ارزیابی شده در ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری معمولی براساس

مدل MLM

Table 5- REMAP markers related with traits evaluated in studied oilseed sunflower genotypes under normal irrigation conditions based on MLM model

صفت	نشانگر	P-value	صفت	نشانگر	P-value
Character	Marker		Character	Marker	
روز تا گلدهی	648183	0.0040	محتوای روغن دانه	6181810	0.0079
Day to flowering			Seed oil content		
طول دم‌برگ	Cf8263	0.0087	ارتفاع گیاه	648264	0.0049
Petiole length			Plant height		
تعداد برگ	Cf8268	0.0053	محتوای نسبی آب برگ	Cf8185	0.0067
Number of leaves			Leaf relative water content		
عرض برگ	658268	0.0055	قطر ساقه	658263	0.0040
Leaf width			Stem diameter		
			عملکرد دانه	658268	0.0084
			Seed yield		

¹Marker assisted selection

جدول ۶- نشانگرهای REMAP پیوسته با صفات ارزیابی شده در ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی مورد مطالعه تحت شرایط تنش کم آبی براساس مدل MLM

Table 6- REMAP markers related with evaluated traits in studied oilseed sunflower genotypes under limited irrigation conditions based on MLM model

صفت	نشانگر	P-value	صفت	نشانگر	P-value
Character	Mrker		Character	Maeker	
محتوای کلروفیل	648408	0.0048	تعداد برگ	638263	0.0038
Chlorophyll content	638267	0.0048	Number of leaves		
طول برگ	Cf8267	0.0074	محتوای روغن دانه	Cf8181	0.0044
Leaf length			Seed oil content	6181810	0.0058
عرض برگ	638263	0.0067	عملکرد دانه	658268	0.0091
Leaf width	658268	0.0077	Seed yield		
	Cf8267	0.0096			

نتیجه‌گیری کلی

داد. شناسایی نشانگرهای مستقل از محیط در برنامه‌های به‌نژادی ارزشمند است. گزینش با آن‌ها برای صفتی در یکی از شرایط (مثلاً شرایط نرمال)، باعث بهبود صفت در شرایط دیگر (تنش) نیز خواهد شد. همچنین برخی از نشانگرها با چندین صفت ارتباط داشتند. وجود چنین حالتی، به‌طور بالقوه کارایی گزینش بر اساس نشانگر را بالا می‌برد و موجب می‌شود که به دنبال اصلاح یک صفت در یک گیاه، تغییراتی در ارزش صفات همبسته دیگر ایجاد شود. در حقیقت وجود چنین حالتی در به‌نژادی گیاهی به جهت کمک به اصلاح همزمان چندین صفت بسیار حایز اهمیت می‌باشد.

نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های آفتابگردان دانه روغنی مورد بررسی از نظر صفات مرفوفیزیولوژیک مورد مطالعه تنوع فنوتیپی و مولکولی مناسبی وجود دارد. بر اساس مطالعه ساختار جمعیت ۳ زیر جمعیت احتمالی در پانل ارتباطی شناسایی شد. در تجزیه ارتباط بر اساس مدل MLM، ۱۰ مکان ژنی تحت شرایط آبیاری معمول و ۱۰ مکان ژنی تحت شرایط کم آبیاری با صفات مورد مطالعه ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. برخی از نشانگرها به صورت مشترک برای صفات در هر دو شرایط محیطی شناسایی شدند. نشانگر 61655 با صفت درصد روغن در هر دو شرایط محیطی پیوستگی نشان

References

- Abid, M., Ali, S., Qi, L.K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J.L. and Dai, T., 2018. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8(4615), pp.1-15. doi: 10.1038.s41598-018-21441-7
- Ahmadpour, S., Sofalian, O., Darvishzadeh, R. and Abbaspour, N., 2018. Preliminary evidence of the associations between DNA markers and morphological characters in sunflower under natural and salt stress conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105(3), pp.279-286. doi: 10.13080/z-a.2018.105.036
- Al-Maskri, A.H., Sajjad, M. and Khan, S.H., 2012. Association mapping: a step forward to discovering new alleles for crop improvement. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(1), pp.153-160.
- Amiteye, S., 2021. Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. *Heliyon*, 7(10), e08093. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08093
- Andleeb, T., Shah, T., Nawaz, R., Munir, I., Munsif, F. and Jalal, A., 2020. QTL mapping for drought stress tolerance in plants. *Signaling and Communication in Plants*, pp.383-403. doi: 10.1007/978-3-030-40277-8_16
- Bankole, F., Menkir, A., Olaoye, G., Crossa, J., Hearne, S., Unachukwu, N. and Gedil, M., 2017. Genetic gains in

- yield and yield related traits under drought stress and favorable environments in a maize population improved using marker assisted recurrent selection. *Frontiers in Plant Science*, 8, pp.808. doi: **10.3389/fpls.2017.00808**
- Bhatt, R.M. and Rao, S.N.K., 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 10(1), pp.54-59.
- Bhutta, A.R. 1998. Biological studies on some fungi associated with sunflower in Pakistan. Doctoral dissertation, Sindh Agriculture University TandoJam.
- Bradbury, P.J., Zhang, Z., Kroon, D.E., Casstevens, T.M., Ramdoss, Y. and Buckler, E., 2007. TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics*, 23(19), pp.2633–2635. doi: **10.1093/bioinformatics/btm308**
- Ching, A., Caldwell, K.S., Jung, M., Dolan, M., Smith, O.S(H), Tingey, S., Morgante, M. and Rafalski, A.J., 2002. SNP frequency, haplotype structure and linkage disequilibrium in elite maize inbred lines. *BMC Genetics*, 3(19), pp.1-14. doi: **10.1186/1471-2156-3-19**
- Darbani, S.P., Mehrabi, A.A., Pordad, S.S., Maleki, A. and Farshadfar, M., 2020. Effect of drought stress on agromorphological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes and identification of informative ISSR markers. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 18(2), pp.49-62. doi: **10.1017/s1479262120000040**
- Dehmer, K.J. and Friedt, W., 1998. Development of molecular markers for high oleic acid content in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Industrial Crops and Products*, 7(2-3), pp.311–315. doi: **10.1016/s0926-6690(97)00063-0**
- Doyle, J.J. and Doyle, J.L., 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12, pp.13-15.
- Du, W.J., Wang, M., Fu, S.X. and Yu, D.Y., 2009. Mapping QTL for seed yield and drought susceptibility index in soybean (*Glycine max* L.) across different environments. *Journal of Genetics and Genomics*, 36(12), pp.721–731. doi: **10.1016/s1673-8527(08)60165-4**
- Evanno, G., Regnaut, S. and Goudet, J., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), pp.2611-2620, doi: **10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x**
- Fernandez, O., Urrutia, M., Berton, T., Bernillon, S., Deborde, C., Jacob, D., Maucourt, M., Maury, P., Durufé, H., Gibon1, Y., Langlade, N.B. and Moing, A., 2019. Metabolomic characterization of sunflower leaf allows discriminating genotype groups or stress levels with a minimal set of metabolic markers. *Metabolomics*, 15(4), pp.1-15. doi: **10.1007/s11306-019-1515-4**
- Gbadegesin, M.A. and Beeching, J.R., 2010. Enhancer/Suppressor mutator (En/Spm)-like transposable elements of cassava (*Manihot esculenta*) are transcriptionally inactive. *Genetics and Molecular Research*, 9(2), pp.639-650. doi: **10.4238/vol9-2gmr713**
- Gupta, P.K., Rustgi, S. and Kulwal, P.L., 2005. Linkage disequilibrium and association studies in higher plants: Present status and future prospects. *Plant Molecular Biology*, 57(4), pp.461-485. doi: **10.1007/s11103-005-0257-z**

- Hossain, M.I., Khatun, A., Talukder, M.S.A., Dewan, M.M.R. and Uddin, M.S., 2010. Effect of drought on physiology and yield contributing characters of sunflower. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 35(1), pp.113-124. doi: **10.3329/bjar.v35i1.5872**
- Hongtrakul, V., Huestis, G.M. and Knapp, S.J., 1997. Amplified fragment length polymorphisms as a tool for DNA fingerprinting sunflower germplasm: genetic diversity among oilseed inbred lines. *Theoretical and Applied Genetics*, 95, pp.400-407. doi: **10.1007/s001220050576**
- Jannink, J.L. and Walsh, B., 2002. Association mapping in plant populations. In: Kang, M.S. (ed.), *Quantitative Genetics. Genomics and Plant Breeding*, CAB International, pp.59-68.
- Kalendar, R., Flavell, A.J., Ellis, T.H.N., Sjakste, T., Moisy, C. and Schulman, A.H., 2011. Analysis of plant diversity with retrotransposon-based molecular markers. *Heredity*, (Edinb) 106(4), pp.520-530. doi: **10.1038/hdy.2010.93**
- Kebriyae, D., Kordrostami, M., Rezadoost, M.H. and Lahijl, H.S., 2012. QTL analysis of agronomic traits in rice using SSR and AFLP markers. *Notulae Scientia Biologicae*, 4(2), pp.116-123. doi: **10.15835/nsb427501**
- Liu, X., Du, J., Khan, A.M.D., Cheng, J., Wei, C., Mei, Z., Chen, H., He, T. and Fu, J., 2020. Analysis of genetic diversity and similarities between different Lycium varieties based on ISSR analysis and RAMP-PCR markers. *World Academy of Sciences Journal*, 2, pp.83-90. doi: **10.3892/wasj.2020.39**
- Mora, F., Quitral, Y.A., Matus, I., Russell, J., Waugh, R. and del Pozo, A., 2016. SNP-based QTL mapping of 15 complex traits in barley under rain-fed and well-watered conditions by a mixed modeling approach. *Frontiers in Plant Science*, 7, pp.1-11. doi: **10.3389/fpls.2016.00909**
- Nezhadahmadi, A., Prohdan, Z.H., and Faruq, G., 2013. Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*, 11, pp.1-12. doi: **10.1155/2013/610721**
- Noryan, M., Hervan, I.M., Hossein Sabouri, H., Kojouri, F.D. and Mastinu, A., 2021. Drought Resistance Loci in Recombinant Lines of Iranian *Oryza sativa* L. in *Germination Stage BioTech*, 10(4), 26. doi: **10.3390/biotech10040026**
- Peakall, R. and Smouse, P.E., 2012. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update. *Bioinformatics*, 28(19), pp.2537-2539. doi: **10.1093/bioinformatics/bts460**
- Perrier, X. and Jacquamoud-collect, J.P., 2006. DARWin software. <http://Darwin.cirad.fr/>
- Pekcan, V., Evci, G., Yilmaz, M.I., Nalcai, A.S.B., Erdal, Ş.Ç., Cicek, N., Ekmekci, Y. and Kaya, Y., 2016. Effects of drought on morphological traits of some sunflower lines. *Ekin Journal of Crop Breeding*, 2(2), pp.54-68.
- Pritchard, J.K., Stephens, M. and Donnelly, P., 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), pp.945-959. doi: **10.1093/genetics/155.2.945**
- Oraguzie, N.C., Wilcox, P.L., Rikkerink, E.H.A. and de Silva, H.N., 2007. Linkage disequilibrium, Association Mapping in Plants. Springer. New York. NY. pp.11-39.
- Radanović, A., Miladinović, D., Cvejić, S., Jocković, M. and Jocić, S., 2018. Sunflower genetics from ancestors to modern hybrids—A Review. *Genes*, 9(11), pp.528. doi: **10.3390/genes9110528**

- Rasoulzadeh Aghdam, M., Darvishzadeh, R., Sepehr, E. and Alipour, H., 2021. Association analysis of agronomic traits of oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines with REMAP and IRAP markers under optimum and phosphorus deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(4), pp.179-196. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2020.309464.654749**
- Rauf, S. and Sadaqat, H.A., 2008. Identification of physiological traits and genotypes combined to high achene yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water regimes. *Australian Journal of Crop Science*, 1(1), pp.23-30.
- Ren, H., Han, J., Wang, X., Zhang, B., Yu, L., Gao, H., Hong, H., Sun, R., Tian, Y., Qi, X., Liu, Z., Wu, X. and Qiu, L.J., 2020. QTL mapping of drought tolerance traits in soybean with SLAF sequencing. *The Crop Journal*, 8(6), pp.977-989. doi: **10.1016/j.cj.2020.04.004**
- Robert, G.A., Rajasekar, M. and Manivannan, P., 2015. Triazole-induced drought stress amelioration on growth yield, and pigments composition of *Helianthus annuus* L. (sunflower). *International Multidisciplinary Research Journal*, 5, pp.6–15.
- Salazar, J.A., Rasouli, M. and Martínez-Gomez, P., 2014. Random amplified microsatellite polymorphism (RAMP) application in prunus characterization and mapping. *Acta Horticulturae*, 5, pp.61–64. doi: **10.17660/actahortic.2014.1028.8**
- Seiler, G.J. and Guly, T.J., 2016. Sunflower: Overview, USDA-ARS, Northern Crop Science Laboratory, Fargo, ND, USA, Encyclopedia of Food Grains, Second Edition, pp.247-253.
- Sinclair, T.R. and Ludlow, M.M., 1986. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13, pp.329–341. doi: **10.1071/pp9860329**
- Shirmohammadli, S., Sabouri, H., Ahangar, L., Ebadi, A.A. and Sajadi, S.J., 2018. Genetic diversity and association analysis of rice genotypes for grain physical quality using iPBS, IRAP, and ISSR markers. *Journal of Genetic Resources*, 4(2), pp.122-129. doi: **10.22080/jgr.2019.15415.1115**
- Sharfun-Nahar, M.M. and Hashmi, M.H., 2005. Seed-borne mycoflora of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 37(2), pp.451- 457.
- Skirycz, A., Vandenbroucke, K., Clauw, P., Maleux, K., De Meyer, B., Dhondt, S., Pucci, A., Gonzalez, N., Hoerberichts, F., Tognetti, V.B., Galbiati, M., Tonelli, C., Van Breusegem, F., Vuylsteke, M. and Inzé, D., 2011. Survival and growth of Arabidopsis plants given limited water are not equal. *Nature Biotechnology*, 29, pp.212–214. doi: **10.1038/nbt.1800**
- Thirumarimurugan, M., Sivakumar, V.M., Xavier, A.M., Prabhakaran, D. and Kannadasan, T., 2012. Preparation of biodiesel from sunflower oil by transesterification. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2(6), pp.441-444.
- Toum, L., Perez-Borroto, L.S., Peña-Malavera, A.N., Luque, C., Welin, B., Berenstein, A., Do Porto, D.F., Vojnov, A., Castagnaro, A.V. and Pard, E.M., 2020. Selecting putative drought-tolerance markers in two contrasting soybeans. *Scientific Reports*, 12(1), pp.10872. doi: **10.1038/s41598-022-14334-3**
- Yu, J., Pressoir, G., Briggs, W.H., Vroh Bi, I., Yamasaki, M., Doebley, J.F., McMullen, M.D., Gaut, B.S., Nielsen,

D.M., Holland, J.B., Kresovich, S. and Buckler, E.S., 2006a. A unified mixed-model method for association mapping that accounts for multiple levels of relatedness. *Nature Genetics*, 38(2), pp.203-208. **doi: 10.1038/ng1702**

Yu, J. and Buckler, E.S., 2006b. Genetic association mapping and genome organization of maize. *Current Opinion in Biotechnology*, 17(2), pp.155-160. **doi: 10.1016/j.copbio.2006.02.003**

Identification of REAMP markers related to morpho-physiological and agronomic traits in oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) under normal and limited irrigation conditions

Nasrin Akbari¹, Reza Darvishzadeh^{2*}

¹ PhD Student in Plant Breeding-Molecular Genetics and Genetic Engineering, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

*Corresponding Author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

Received: 22 January 2023

Accepted: 17 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.382749.1316

Abstract

Introduction: Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the most valuable agricultural products, mainly cultivated for edible oil. As an oilseed plant, the sunflower has the fifth place in the world after soybeans, rapeseed, cotton and peanut. Due to climatic changes, reduction of water received from rains and incorrect management of water consumption, the crop production experienced severe drought stress during the growth period which causes the fluctuation and decrease of the product. Considering the importance of studying and selecting cultivars tolerant to abiotic stresses such as drought stress, investigating the genetic diversity for adaptive responses in sunflower cultivars and genotypes, as well as identifying QTLs are necessary for breeding programs. The aim of this study is to investigate genetic diversity and identify markers related to drought tolerance in the inbred lines population of oilseed sunflower using the REAMP (retrotransposon microsatellite amplified polymorphism) markers.

Materials and Methods: In the present research, the genetic diversity of an oilseed sunflower population including 100 inbred lines was evaluated in terms of morpho-physiological traits using a 10x10 simple lattice design with two replications under two normal and limited irrigation conditions during two consecutive years. Different morpho-physiological traits were measured under both conditions. DNA extraction was done from 78 lines out of 100 investigated genotypes by CTAB method. Then, in order to evaluate the quality and quantity of extracted DNA, 1% agarose gel electrophoresis and spectrophotometry were used. The molecular profile of genotypes was prepared using 7 REAMP primers combinations. Based on molecular data and Neighbor Joining algorithm in DARWin 6.0.21 software the studied genotypes were grouped in three groups. Cluster and population structure analyses as well as analysis of molecular variance were performed with GenAIEx and Structure 2.3.3. The number of possible sub-populations (optimal K) was determined based on the delta K (ΔK) method. For optimal K, the Qst matrix was calculated. Using mixed linear model (MLM) related to Q + K matrices (matrix of population structure coefficients + matrix of kinship relations) molecular markers associated with studied morpho-physiological traits were identified.

Results and Discussion: Based on the results of cluster analysis, the genotypes were grouped into 3 groups. Each group included genotypes from different geographical areas. The results of principal component analysis showed that the first three components explain 71.32% of the total changes. Principal coordinate analysis was not able to completely separate the genotypes into separate groups. Molecular analysis of variance showed that 91% of the variation are within group and the rest 9% are between the groups, which indicates high genetic diversity within the groups. According to the mixed linear model, totally 20 molecular markers showed a significant relationship ($P \leq 0.01$) with the studied morpho-physiological traits under both normal and limited irrigation conditions. "6181810" marker with oil content and "cf8267" marker with two leaf length and leaf width traits showed a significant relationship ($P \leq 0.01$) under limited irrigation conditions. "658268" marker showed a significant relationship with yield and leaf width traits under both normal and limited irrigation conditions.

Observing the relationship between one marker and several traits can be derived from the effects of pleiotropy or the linkage of genomic regions involved in the control of these traits.

Conclusion: The results obtained from this study present valuable information on the genetic basis of studied traits that can be used for breeding and developing high performance varieties in sunflower. In this research some common markers were identified. Identification of markers that showed linkage with several traits in both conditions, such as “658268” and “cf8267” markers, are more important in the breeding program due to the possibility of simultaneous breeding of several traits.

Keywords: Association analysis, Drought stress, Retrotransposon based molecular markers

تأثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium*) و قارچ میکوریزا آرباسکولار (*Glomus claroideum*) بر ویژگی‌های زراعی ذرت (*Zea mays*) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط کشت مخلوط

زهرا مرزبان^{۱*}، الهام فاریابی^۱، حدیث زارعمثنی^۱، پریا اصغرزاده^۱

۱- گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: marzban_zahra1986@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.355807.1265

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۱

چکیده

تنوع زیستی از جمله مولفه‌های مهم کشاورزی پایدار است که با افزایش یا کاهش آن، فراهمی خدمات اکوسیستمی در بوم نظام‌های کشاورزی قابل تغییر می‌باشد. امروزه تنوع زیستی در بوم نظام‌های کشاورزی را می‌توان با استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط و افزایش تنوع گونه‌ای بیولوژیک خاک بهبود بخشید. بنابراین جهت بررسی تأثیر باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا آرباسکولار بر بهبود عملکرد در کشت مخلوط جایگزینی ذرت و لوبیا سبز، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار، با فاکتورهای: ۱- سیستم کشت (خالص ذرت، خالص لوبیا و کشت مخلوط ۵۰ درصد از هر دو گونه)، ۲- ریزوبیوم (عدم مصرف و مصرف)، ۳- قارچ میکوریزا (عدم مصرف و مصرف) در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور ازنا اجرا شد. نتایج نشان داد که تیمار کشت مخلوط توأم با مصرف باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کلروفیل برگ، تعداد دانه در ردیف بلال در ذرت را به ترتیب ۴۷، ۵۵، ۲۶ و ۳۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. تیمار کشت خالص لوبیا به همراه باکتری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کلروفیل برگ لوبیا را به ترتیب ۵۰، ۴۷ و ۳۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود و بیشترین نسبت برابری زمین از تیمار کشت مخلوط توأم با مصرف باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا برابر ۱/۹۸ بدست آمد که نشان‌دهنده روابط متقابل مثبت ترکیب گیاهی مخلوط نسبت به خالص و برتری کشت مخلوط ذرت نسبت به کشت خالص می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، غله، لگوم، نسبت برابری زمین

مقدمه

و پایداری آن‌ها افزایش می‌یابد. سیستم‌های مختلف کشت مخلوط با بهره‌گیری مؤثر از زمان و مکان، باعث افزایش عملکرد در واحد سطح و زمان شده است. سیستم‌های کشت مخلوط بر خلاف نظام‌های تک‌کشتی در راستای اصول اکولوژیک پیش می‌روند و در صورت بهره‌گیری مؤثر و گسترده از آن‌ها ثبات و پایداری نظام‌های کشاورزی افزایش می‌یابد (Cong et al., 2015). از راهکارهای دیگر برای افزایش تنوع گونه‌ای، شناخت و بکارگیری پتانسیل بیولوژیک خاک است. یکی از مهم‌ترین چرخه‌های بیوشیمیایی خاک همزیستی باکتری‌های ریزوبیوم با بقولات است که در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی دارای اهمیت فراوانی است (Duane et al., 2019). از دیگر کودهای بیولوژیک که می‌توان نام برد قارچ میکوریزا آرباسکولار است که بخش نسبتاً مهمی از موجودات خاکزی را شامل می‌شود. همزیستی این قارچ با ریشه گیاهان میزبان و تشکیل سیستم

یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار بازگرداندن تنوع به اکوسیستم‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است. تنوع در نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش وابستگی کشاورزان به آفت‌کش‌ها، به شرط حفظ کیفیت محصول و بازارپسندی آن را دنبال می‌کند (Lin et al., 2015). همچنین افزایش سطح زیر کشت گیاهان زراعی در راستای افزایش تولیدات کشاورزی، به دلیل محدود بودن زمین‌های قابل کشت به بن‌بست رسیده است و راه‌حل باقیمانده افزایش تولید در واحد سطح و استفاده از زمان است (Habibzadeh et al., 2014). با ایجاد تنوع از طریق کشت مخلوط، نظام‌های زراعی به منابع درونی و قابل تجدید خود وابستگی بیشتری پیدا می‌کنند

زراعی نسبت به حداکثر عملکرد و درآمد در کوتاه مدت از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین، استفاده از قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم در کشت مخلوط با کاهش مصرف نهاده‌های در مزرعه باعث افزایش درآمد خالص و کاهش خطر احتمالی در بوم نظام‌های زراعی می‌شود (Marzban et al., 2017). با توجه به اهمیت تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم در بهبود عملکرد محصولات زراعی و همچنین ضرورت کاهش مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار، این تحقیق با هدف بررسی نقش تأثیر کشت مخلوط، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا با هدف ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد در کشت مخلوط ذرت با لوبیا سبز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه آموزشی- تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور ازنا در بهار سال ۱۳۹۸ اجرا شد. شهرستان ازنا در موقعیت جغرافیایی در طول ۴۹۰، ۲۷ طول شرقی و ۲۷، ۳۳۰ عرض شمالی قرار گرفته است و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۸۷۰ متر است. اقلیم حاکم بر این منطقه نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد است و این نوع آب و هوا دارای زمستان‌های سرد و پربرف می‌باشد. میانگین دمای سالانه شهرستان ۱۲/۸ درجه‌ی سانتیگراد، و میانگین بارش سالانه ۳۰۴ میلی‌متر می‌باشد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ درج گردیده است.

میکوریزایی نقش مهمی در حاصلخیزی و پایداری اکوسیستم خاک دارد (Zhou et al., 2020). گزارشات متعددی حاکی از اثرات مثبت تلقیح دوگانه سویه‌های ریزوبیوم با قارچ میکوریزا در رشد گیاهان وجود دارد (Igiehon et al., 2021). در بررسی بر روی لوبیا گزارش شد که باکتری ریزوبیوم عملکرد دانه را ۳۲ درصد افزایش داده است (dos Santos et al., 2020). در بررسی دیگر بر روی همزیستی قارچ‌های میکوریزی با ریشه گیاه ذرت گزارش شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش سطح ریشه، جذب بیشتر بعضی از عناصر ضروری به ویژه عناصر کم مصرف به وسیله گیاه و در نتیجه موجب افزایش عملکرد ذرت می‌شود (Ma et al., 2022). در بررسی تلقیح دوگانه قارچ میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در کشت مخلوط گندم و باقلا گزارش شد که کاربرد میکوریزا و باکتری محرک رشد در کشت مخلوط میزان نیتروژن خاک، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵۰/۶۵ درصد، ۵۵/۸۱ درصد و ۴۴/۰۵ درصد نسبت به تک کشت افزایش داده است. همچنین این محققین اثرات مفید تلقیح قارچ میکوریزا و باکتری محرک رشد در کشت مخلوط حاصلخیزی خاک و رشد گیاه را نشان دادند و استفاده از این سیستم را به عنوان رویکردی پایدار برای بهبود بهره‌وری محصول و ارتقای امنیت غذایی پیشنهاد کردند (Sammama et al., 2022). یکی از اهداف استفاده از قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم در کشت مخلوط تأمین پایداری عملکرد است. برای کشاورزانی که منابع محدودی در اختیار دارند، ثبات عملکرد و درآمد سیستم‌های

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of farm Soil

سال Year	عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (ds m ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	کربن آلی O.C (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	لای Silt (%)	بافت Texture
2020	0-30	0.71	7.95	0.074	262	26.2	0.77	31.6	28.4	40	سیلنتی رسی silty clay

(مصرف و عدم مصرف) و قارچ میکوریزا (مصرف و عدم مصرف) بودند. در این مطالعه ذرت رقم ذرت سینگل کراس ۶۰۴ و رقم لوبیا سبز رقم سانری GSN از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۸

این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل: انواع سیستم کشت (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا سبز، کشت مخلوط (براساس سری‌های جایگزینی)، باکتری ریزوبیوم

کاشت و فاصله بین ردیفها ۵۰ سانتی متر برای تمام تیمارها با فاصله بذور روی ردیفها ۲۰ سانتی متر برای لوبیا و ذرت در نظر گرفته شد. در تیمار کشت مخلوط نیز کشت بذور گونه‌ها به صورت مخلوط ردیفی در قالب طرح جایگزینی (ذرت ۵۰ : ۵۰ لوبیا سبز) انجام شد. با توجه به شرایط زمین و نوع آبیاری بذور در عمق ۵ سانتی متری در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۲۵ کشت شدند.

صورت گرفت. در ابتدا زمین مورد نظر توسط گاواهن برگرداندار شخم زده شد و سپس اقدام به عمل تسطیح زمین گردید. در پایان به وسیله فاروئر پشته‌هایی به عرض ۵۰ سانتی متر در جهت شمالی جنوبی ایجاد گردید. ابتدا ابعاد کرت‌ها در زمین مورد آزمایش مشخص شد و پس از تعیین کرت‌ها، جوی‌های آبیاری تعبیه گردیدند. هر کرت به طول ۶ متر شامل ۷ ردیف

*****	ooooooo	* o * o * o *
*****	ooooooo	* o * o * o *
*****	ooooooo	* o * o * o *
*****	ooooooo	* o * o * o *

* و O به ترتیب ذرت و لوبیا

* and O respectively maize and beans

شکل ۱- طراحی سیستم کشت مخلوط و خالص

Figure 1- Designed method of intercropping and monocropping

ذرت و لوبیا به طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل گردید. به منظور ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در پایان فصل رشد، ۲۸ بوته لوبیا و ۶ بوته ذرت از هر کرت در تاریخ ۱۳۹۸/۶/۲۵ برداشت شد. پس از جدا نمودن غلاف‌های لوبیا و بلال‌های ذرت نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و سپس وزن شدند. صفاتی چون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، کلروفیل برگ، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری کلروفیل کل برگ در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی مزرعه از برگ‌های بالایی و کاملاً باز بوته‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت. ابتدا ۰/۰۲ گرم از نمونه تازه برگ را با ۵ میلی لیتر دی متیل سولفوکسید درون یک ظرف ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در آون با دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از سرد شدن کامل نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر، جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۹، ۶۶۵ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Wellburn, 1994). کلیه محاسبات آماری، تجزیه واریانس و مقایسات میانگین با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

در تیمارهای قارچ میکوریزا میزان ۱۵ گرم مایه تلقیح قارچ در زیر هر بذر قرار داده شد. این مایه حاوی خاک، اسپور، ریشه آلوده گیاه و ریشه قارچ بود و در ۱۰۰ گرم آن ۱۲۱۵ عدد اسپور قرار داشت. برای اعمال تیمارهای آزمایش باکتری، از کود بیولوژیک ریزوبین سوپر پلاس به (با جمعیت تقریبی ۱۰۸ باکتری مزوریزوبیوم در هر میلی لیتر) تهیه شده از شرکت مهر آسیا به بذور افزوده و به طور کامل مخلوط شدند. در زمان کاشت ابتدا بذرها را با محلول قند ۲۰٪ آغشته و سپس با کود بیولوژیک ریزوبین سوپر پلاس (با جمعیت تقریبی ۱۰۸ باکتری مزوریزوبیوم در هر میلی لیتر) کامل مخلوط و پس از تلقیح در سایه، کلیه بذور تیمار شده خشک شدند. آبیاری کرت‌ها، بلافاصله بعد از کاشت از طریق آبیاری قطره‌ای به طور منظم هر هفت روز یکبار انجام گردید. وجین علف‌های هرز به صورت دستی در مرحله ۲-۴ برگی گیاه انجام شد. حدوداً دو هفته پس از کاشت عمل واکاری در نقاطی که بذور سبز نشده بود صورت گرفت و همزمان در نقاطی که هر دو بذر کشت شده سبز گردیده بودند عمل تنک صورت گرفت و بوته‌های ضعیف‌تر حذف گردید. آفت و بیماری خاصی در مزرعه در طول فصل رشد مشاهده نگردید. برای تعیین ویژگی‌های کیفی، ۶ بوته

نتایج و بحث

عملکرد دانه لوبیا سبز

نتایج نشان داد که اثر متقابل سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج اثر متقابل سه گانه سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص لوبیا به همراه باکتری ریزوبیوم ۴۳ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافته است (جدول ۷). در تحقیقی گزارش شد که عملکرد دانه سویا در هر دو سال در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بیشتر بوده است (Xu *et al.*, 2020). همچنین طی بررسی روی نخود اعلام کردند در محیط کشتی که ریزوبیوم وجود دارد عملکرد دانه و عملکرد علوفه افزایش معنی داری نسبت به تیمار شاهد نشان می دهد (Steiner *et al.*, 2019). به نظر می رسد در این آزمایش، به دلیل افزایش تعداد گل ها و غلاف ها، افزایش تعداد غلاف و همچنین افزایش وزن دانه در کشت خالص سبب افزایش عملکرد شده است، زیرا تعداد غلاف یکی از مهم ترین اجزای عملکرد است، همچنین باکتری ریزوبیوم، از طریق افزایش رشد شاخه‌دهی ریشه، وزن و سطح برگ موجب افزایش جذب مواد غذایی و فتوسنتز برگ بیشتر گردیده (Fekadu *et al.*, 2018) که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و زایشی در گیاه شده است.

عملکرد بیولوژیک لوبیا سبز

در نتایج تجزیه واریانس، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در سطح آماری پنج درصد معنی دار بود (جدول ۲). همچنین در این آزمایش مشاهده شد که بیشترین عملکرد بیولوژیک لوبیا با میانگین ۵۲۰۵ و کمترین با میانگین ۲۳۳۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از تیمارهای کشت خالص به همراه باکتری و کشت مخلوط به همراه قارچ بدست آمد (جدول ۷). در مطالعه‌ی بر روی کشت مخلوط لوبیا چشم بلبل و ذرت مشاهده شد که مصرف باکتری در کشت خالص لوبیا منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک شده است (Marzban *et al.*, 2014a). به این ترتیب چنین به نظر می رسد که علت کاهش عملکرد لوبیا در کشت مخلوط نسبت به تیمارهای کشت‌های خالص می‌تواند به دلیل رقابت بالای

ذرت با لوبیا در کشت مخلوط بر سر جذب نور و سایر منابع از جمله آب باشد، که این امر باعث کاهش جذب نور به وسیله کانوپی لوبیا و در نتیجه کاهش فتوسنتز شده که در نهایت کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیک لوبیا را در کشت مخلوط به دنبال داشت. همچنین آن‌ها عامل اصلی کاهش عملکرد در تیمارهای بدون تلقیح با باکتری کمبود عنصر غذایی نیتروژن دانسته‌اند (Baghdadi *et al.*, 2016). به نظر می رسد که در تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا، به دلیل کاهش جذب نور میزان فتوسنتز کل گیاه کاهش می یابد و منبع کافی کربوهیدرات برای قارچ میکوریزا فراهم نمی شود و رقابت میان گیاه و قارچ میکوریزا روی مواد فتوسنتزی افزایش یافته و در نتیجه آن عملکرد بیولوژیک گیاه کاهش می یابد.

تعداد غلاف در بوته لوبیا سبز

تعداد غلاف در لوبیا حساس ترین جزء عملکردی و مهم ترین ویژگی، تعیین کننده عملکرد می باشد (Marzban *et al.*, 2014a). در نتایج تجزیه واریانس تعداد غلاف در بوته لوبیا سبز تحت تأثیر مصرف باکتری و اثرات متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در سطح آماری یک درصد و سیستم کشت و اثر متقابل سیستم کشت و قارچ میکوریزا در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین نشان داد که با مصرف باکتری ریزوبیوم تعداد غلاف در بوته ۴۳ درصد نسبت به عدم مصرف باکتری افزایش داده است همچنین در کشت مخلوط ذرت و لوبیا به دلیل رقابت بر سر نور تعداد غلاف کمتری نسبت به کشت خالص تولید می شود بطوری که در کشت خالص لوبیا نسبت به کشت مخلوط ۲۰ درصد تعداد غلاف بیشتری داشته است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت و قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار کشت خالص لوبیا با قارچ میکوریزا با میانگین ۲۳/۸ و کمترین مقدار آن از تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا با میانگین ۱۴/۸ مشاهده شد. همچنین اثر متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا نشان داد که تلقیح توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا باعث افزایش تعداد غلاف در بوته می شود بطوری که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا مشاهده شده است (جدول ۶).

این دلیل است که رقابت ساقه گیاهان C₄ و C₃ زیاد است و این دو گیاه برای نور و CO₂ با هم رقابت می کنند و همچنین با توجه به ارتفاع بیشتر گیاهان C₄، سایه اندازی روی بوته های C₃ می شود و نهایت موجب تغییر میزان کلروفیل شده است (Nasar et al., 2020). همچنین کارکرد همزیستی این است که منبع کافی کربوهیدرات برای قارچ همزیست فراهم شود و همچنین همزیستی می تواند از حالت متقابل مفید به اشکال دیگر از جمله شکل انگلی تبدیل شود، به نظر می رسد در تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا به دلیل کاهش فتوسنتز گیاه، انتقال اسیمیلات به ریشه جهت همزیستی قارچ میکوریزا نسبت به سایر اندام های گیاه افزایش یافته و در نتیجه نیتروژن کمتری صرف تولید کلروفیل برگ در این تیمار شده است.

عملکرد دانه ذرت

در تجزیه واریانس، مصرف باکتری و قارچ میکوریزا به ترتیب در سطح آماری یک درصد و پنج درصد بر عملکرد دانه ذرت معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با مصرف باکتری ریزوبیوم عملکرد دانه ۲۰/۳۷ درصد و مصرف قارچ میکوریزا ۱۱ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش یافت است (جدول ۳). هم چنین در این آزمایش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر بوده است هر چند که از لحاظ آماری تفاوت معنی داری بین کشت خالص و مخلوط مشاهده نشد (جدول ۲).

در بررسی باکتری مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ذرت گزارش شد که عملکرد دانه در کشت مخلوط به همراه باکتری نسبت به سایر تیمارها بیشترین بود. هم چنین این محققین اظهار کردند که در کشت مخلوط ذرت و لوبیا با تلقیح باکتری مزوریزوبیوم می توان به تثبیت نیتروژن و افزایش جذب فسفر، که از عناصر پر مصرف گیاه بوده و کمبود آن عامل محدود کننده رشد محصولات زراعی می باشد اشاره نمود و با کاهش مصرف کودهای شیمیایی و هزینه های مصرف کود کمیت و کیفیت گیاهان به ویژه ذرت را در کشت مخلوط افزایش داد (Marzban et al., 2014). قارچ میکوریزا جذب عناصر پر مصرف به ویژه فسفر و عناصر کم مصرف نظیر آهن، روی و مس را بهبود می بخشد و باعث کاهش اثرات تنش های محیطی و تحریک رشد گیاه میزبان می شود و با

در بررسی گزارش شد که تلقیح با باکتری ریزوبیوم موجب افزایش تعداد غلاف در گیاه شد (Bambara et al., 2010). همچنین در بررسی دیگر تلقیح قارچ میکوریزا به همراه باکتری ریزوبیوم تعداد غلاف لوبیا را افزایش داد (Ashwin et al., 2022). به نظر می رسد افزایش رقابت بین گونه ای و افزایش طول موج های آبی در درون کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا باعث کاهش تعداد غلاف در گیاه شده است که خود ناشی از کاهش تعداد گل های بارور است این امر موجب کاهش تعداد غلاف لوبیا در کشت مخلوط شده است. در پژوهشی مشاهده شد که کلونیزاسیون با قارچ میکوریزا باعث تغییرات وسیع مورفولوژی ریشه به ویژه افزایش تعداد شاخه های ریشه می شود (Elliott et al., 2021). بنابراین افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه را در پی خواهد داشت که این امر موجب افزایش تعداد غلاف در گیاه می شود. به نظر می رسد کودهای زیستی از جمله قارچ میکوریزا می تواند دسترسی فسفر به گیاه، کارایی تثبیت زیستی نیتروژن، دسترسی عناصر غذایی و تولید هورمون های رشد از جمله اکسین و سیتوکنین را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش رشد گیاه شود (Igiehon et al., 2021).

محتوای کلروفیل برگ لوبیا سبز

محتوای کلروفیل برگ تحت اثر متقابل سیستم کشت، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل با میانگین ۲۰/۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ مربوط به تیمار کشت خالص به همراه باکتری ریزوبیوم بود هر چند که این تیمار با تیمارهای کشت خالص به همراه قارچ میکوریزا و کشت خالص تلقیح توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا اختلاف معنی داری نشان نداد و هر سه تیمار از لحاظ آماری در یک سطح قرار گرفتند. هم چنین کمترین محتوای کلروفیل برگ با میانگین ۱۳/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر در تیمار کشت مخلوط به همراه ریزوبیوم مشاهده شد (جدول ۸). همچنین در بررسی دیگر گزارش شد که رشد سبزینه مطلوب در تیمارهای باکتریایی، با توجه به نتایج و مشاهدات مزرعهای، حاکی از فعالیت مطلوب سیستم تثبیت بیولوژیکی بوده و تأثیرات آن در صفات مانند عملکرد و محتوای کلروفیل نمایان شده است (Yaseen et al., 2016). علت این امر احتمالاً به

باکتری و قارچ افزایش نشان داد. بطوری که اثر متقابل باکتری و قارچ میکوریزا نشان داد، بیشترین تعداد ردیف در بلال با میانگین ۱۵/۵ از تیمار مصرف قارچ میکوریزا به همراه باکتری ریزوبیوم حاصل شد (جدول ۶). در بررسی کشت مخلوط و خالص گزارش شد که تعداد دانه در هر بلال تحت تأثیر کشت مخلوط قرار گرفت (Huang *et al.*, 2019). همچنین در بررسی دیگر گزارش شد که تعداد ردیف دانه در بلال ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت بیشتر بوده است (Marzban *et al.*, 2014b). در تفسیر نتیجه افزایش تعداد ردیف در بلال در تیمار مصرف توأم قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم می توان به تولید هورمون اکسین توسط باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در محیط ریشه اشاره کرد. افزایش میزان هورمون اکسین در محیط ریشه باعث افزایش رشد ریشه های نابجا توسط ذرت می شود که جذب عناصر معدنی و انتقال مواد فتوسنتزی به بلال گیاه افزایش می یابد و در نتیجه آن تعداد ردیف در بلال نیز افزایش یافته است. همچنین به نظر می رسد که افزایش تعداد ردیف در بلال به دلیل افزایش رقابت بین گونه ای ذرت با لوبیا نیز باشد، زیرا ذرت در کشت مخلوط با گیاهانی که ارتفاع کمتری دارند، گونه غالب محسوب می شود و عملکرد دانه آن کمتر تحت تأثیر گیاه همراه است. بنابراین گیاهانی که همراه با ذرت در کشت مخلوط هستند، توان رقابتی برای منابع از جمله نور، آب و را ندارند پس عملکرد دانه ذرت نسبت به تک کشتی افزایش می یابد.

تعداد دانه در ردیف بلال ذرت

تعداد دانه در ردیف بلال تحت اثر سه گانه سیستم های کشت، ریزوبیوم و میکوریزا قرار گرفت و در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که تیمار کشت مخلوط بیشترین تعداد دانه در ردیف بلال را دارا بود و تلقیح با قارچ و باکتری تأثیر مثبتی بر این صفت داشته است. در مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه، نشان داد که بیشترین میزان تعداد دانه در ردیف در بلال ذرت با میانگین های ۳۶/۷ و ۳۴/۲۵ مربوط به تیمار کشت مخلوط ذرت به همراه قارچ میکوریزا و کشت مخلوط به همراه باکتری مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا بود که بین این دو تیمار از لحاظ آماری اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۸). در پژوهشی با بررسی های کشت خالص و

فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف ها و یا بهبود رشد ریشه باعث افزایش زیست توده و هم چنین افزایش سطح برگ می شود و نتیجه آن ظرفیت فتوسنتزی و مواد فتوسنتزی در ساقه افزایش می یابد که می تواند با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن عملکرد دانه ذرت را بهبود بخشد (Boomsma and Vyn, 2008).

عملکرد بیولوژیک ذرت

عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر قارچ میکوریزا در سطح آماری یک درصد و تحت تأثیر سیستم کشت در سطح آماری پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). براساس نتایج مشاهده شد که استفاده از کشت مخلوط ۱۲/۵ درصد و قارچ میکوریزا ۱۲ درصد عملکرد بیولوژیک را نسبت به کشت خالص و عدم مصرف قارچ میکوریزا افزایش داده است (جدول ۳). در بررسی که بر روی ذرت انجام شد، گزارش شد که قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد بیولوژیک شده است (Alizadeh *et al.*, 2011). از جمله دلایل افزایش عملکرد گیاهانی که با میکوریزا تلقیح شده اند را می توان افزایش فتوسنتز در گیاه میزبان دانست. هم چنین اثرات متقابل سه گانه نشان داد که با مصرف توأم باکتری و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط عملکرد بیولوژیک ۳۵ درصد افزایش یافت (جدول ۷). در بررسی کشت مخلوط ذرت و پنبه گزارش شد که کشت مخلوط ذرت سطح برگ بالاتری را نسبت به کشت خالص دارا بوده است (Moradi *et al.*, 2017). همچنین مطالعات مختلفی کارایی مصرف نور بالاتر گیاهان C₄ را نسبت به C₃ گزارش کرده اند و این را ناشی از توان فتوسنتزی بهتر گیاهان C₄ می دانند (Hibberd *et al.*, 2008). بنابراین افزایش کارایی مصرف نور و سطح برگ باعث افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت در کشت مخلوط شده است.

تعداد ردیف دانه در بلال ذرت

در این آزمایش نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد ردیف دانه در بلال تحت اثر متقابل باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). در بین سیستم های مختلف کشت، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشترین تعداد ردیف دانه بلال را دارا بود (جدول ۴). با مصرف باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا تعداد ردیف دانه در بلال نسبت به عدم مصرف

باعث تشدید رقابت نشده است، بلکه با ایجاد مکانیسم مساعدت، سودمندی کل زراعت مخلوط از جمله مقدار کلروفیل برگ ذرت را افزایش داده‌اند. هم‌چنین باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط با ترشح موادی در خاک می‌تواند ذرات خاک را به هم بچسباند و ورود هوا و آب جهت رشد ریشه و تثبیت نیتروژن توسط لوبیا را بهبود دهد و همین امر موجب افزایش جذب نیتروژن و سایر عناصر میکرو از جمله آهن و منگنز توسط ریشه ذرت شده و میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد.

نسبت برابری زمین

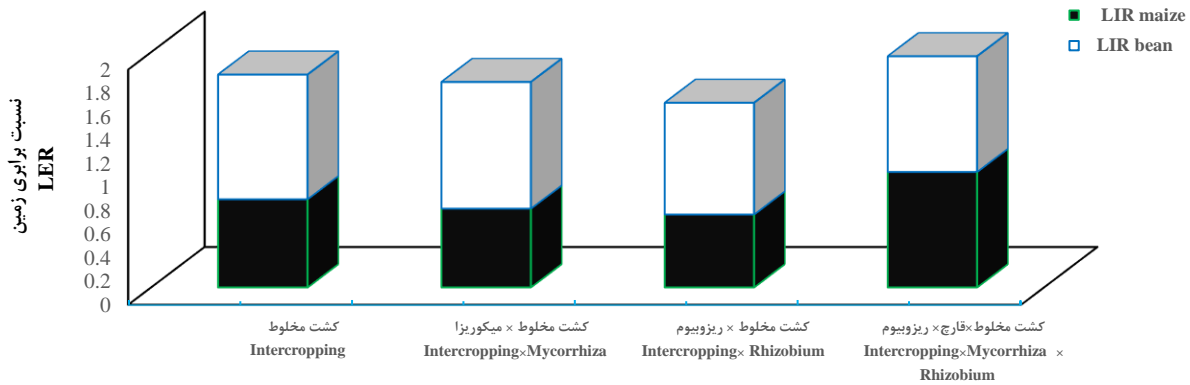
در این آزمایش نسبت برابری زمین در تمام تیمارها بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. بیشترین میزان^۱ LER از کشت مخلوط توأم با باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا برابر با ۱/۹۶ به‌دست آمد. کمترین میزان LER برابر با ۱/۵۷ بود که از کشت مخلوط به‌همراه باکتری به‌دست آمد (شکل ۲). در بررسی کشت مخلوط لوبیا چشم بلبلی و ذرت بیشترین میزان نسبت برابری زمین در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا چشم بلبلی مشاهده شد (Dahmardeh *et al.*, 2010). هم‌چنین در بررسی کشت مخلوط لگوم و گراس گزارش شد که گونه‌ها در آشیان اکولوژیک یکدیگر تداخل نداشتند و برای کسب منابع و شرایط محیطی رقابتی ندارند (Daryanto *et al.*, 2020). کارایی استفاده از زمین در مقایسه با کشت خالص افزایش نشان داد. لذا به‌نظر می‌رسد که کشت هم‌زمان ذرت و لوبیا سبز و تلقیح توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در طرح جایگزینی کشت مخلوط، اثرات مثبتی بر افزایش عملکرد در واحد سطح داشته‌است. هم‌چنین استفاده از نیتروژن تثبیت شده بقولات توسط باکتری ریزوبیوم و افزایش فسفر جذب شده توسط قارچ میکوریزا در غلات و حبوبات عمدتاً به عنوان پتانسیل مفید در کشت مخلوط لگوم و غلات مطرح شده است. هم‌چنین دلیل پایین بودن نسبت برابری زمین در کشت مخلوط به‌همراه باکتری را می‌توان به عملکرد پایین لوبیا در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نسبت داد.

مخلوط بادام زمینی و ذرت ملاحظه کردند که حداکثر تعداد دانه در ردیف ذرت از کشت مخلوط بدست آمد (Ahmad *et al.*, 2008). به احتمال زیاد رقابت بوته‌های ذرت بعد از گلدهی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش پیدا کرده است و این مسئله سبب تشکیل تعداد دانه در ردیف بلال در این تیمار شده است. قارچ میکوریزا با افزایش زیست‌توده ساقه، سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی، از طریق افزایش جذب عناصر غذایی توسط هیف‌ها و هم‌چنین با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از ریشه به بلال‌ها تعداد دانه در ردیف بلال بهبود داده است (Boomsma and Vyn, 2008). هم‌چنین یکی از راه‌هایی که باکتری بر رشد و نمو غلات اثر می‌گذارد سنتز ایندول استیک اسید (IAA) می‌باشد (Etesami *et al.*, 2009). بنابراین با افزایش میزان هورمون اکسین توسط تلقیح باکتری مزوریزوبیوم و قارچ میکوریزا در محیط ریشه باعث افزایش رشد ریشه‌ها توسط ذرت می‌شود و جذب عناصر غذایی و آب را افزایش داده و در نتیجه آن تعداد گل‌های بارور در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال افزایش می‌یابد.

غلظت کلروفیل برگ ذرت

غلظت کلروفیل برگ تحت اثر متقابل سیستم کشت، ریزوبیوم و میکوریزا در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). هم‌چنین مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سیستم کشت، ریزوبیوم و میکوریزا نیز نشان داد که با مصرف توأم میکوریزا و ریزوبیوم در کشت مخلوط غلظت کلروفیل افزایش می‌یابد بطوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل برگ با ۱۵/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار مصرف توأم باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا، و کمترین غلظت کلروفیل برگ از تیمار کشت خالص ذرت به‌دست آمد (جدول ۸). در بررسی تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا گزارش شد که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در مقایسه با گیاهان شاهد دارای کلروفیل a و کلروفیل b برگ بیشتری بودند (Yin *et al.*, 2021). می‌توان گفت که هم‌جواری یک گونه C₃ (لوبیا سبز) و یک گونه C₄ (ذرت) در بخش قابل‌توجهی از دوران رشد این گیاهان نه تنها

¹ Land equivalent ratio



شکل ۲- تاثیر باکتری ریزوبیوم، قارچ میکوریزا و کشت مخلوط و خالص لوبیا و ذرت بر نسبت برابری زمین

Figure 2- Effect of Rhizobium bacteria, Mycorrhiza fungus and intercropping and monocropping of beans and maize on LER

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی از خصوصیات ذرت و لوبیا سبز

Table 2- Analysis of variance for Properties of maize and beans

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D.f	عملکرد لوبیا grain yield of beans	عملکرد لوبیا Biological Yield of beans	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کلروفیل برگ لوبیا Leaf chlorophyll of beans	عملکرد دانه ذرت Grain yield of maize	عملکرد ذرت Biological yield of maize	تعداد ردیف در بلال The number rows per ear	تعداد دانه در ردیف بلال Number of grain per ear	کلروفیل برگ ذرت Leaf chlorophyll of maize
تکرار Block	2	1706.08 ^{ns}	^{ns} 769296	11.28 ^{ns}	0.24 ^{ns}	^{ns} 444869	69626875 ^{ns}	3.12 ^{**}	29.07	0.20 ^{ns}
سیستم کشت Planting system	2	^{**} 1610928.3	6635175 ^{**}	108.37 [*]	34.32 [*]	25271 ^{ns}	49199511 [*]	1.5 [*]	51.77 [*]	21.75 ^{**}
ریزوبیوم Rhizobium	1	^{**} 527918	[*] 3895881	541 ^{**}	0.01 ^{ns}	^{**} 14920888	21519438 ^{ns}	1.5 [*]	1.14 ^{ns}	3.29 ^{**}
مایکوریزا Mycorrhizal	1	3.26 ^{ns}	1507208 [*]	0.0009 ^{ns}	0.46 ^{ns}	[*] 4584903	57763276 ^{**}	2.34 ^{**}	99.02 ^{**}	6.26 ^{**}
سیستم کشت × ریزوبیوم Planting system × Rhizobium	2	700 ^{ns}	9314.1 ^{ns}	0.357 [*]	50.69 ^{**}	^{ns} 751933	^{ns} 474609	0.0001 ^{ns}	25.52 ^{ns}	0.005 ^{**}
سیستم کشت × مایکوریزا Planting system × Mycorrhizal	2	[*] 137637	1507208 [*]	135 [*]	10.69 ^{**}	78141.96 ^{ns}	^{ns} 109755	0.093 ^{ns}	4.21 ^{ns}	1.60 ^{**}
ریزوبیوم × مایکوریزا Rhizobium × Mycorrhizal	1	^{**} 1558917	787133 ^{ns}	150 ^{**}	0.42 ^{ns}	^{ns} 185663	^{ns} 491033	4.93 ^{**}	70.89 [*]	0.077 ^{ns}
سیستم کشت × ریزوبیوم × مایکوریزا Planting system × Rhizobium × Mycorrhizal	2	^{**} 620913	159350 [*]	6 ^{ns}	44.88 ^{**}	^{ns} 6097	^{ns} 9426069	0.85 ^{ns}	70.89 [*]	1.87 [*]
خطا Error	12	15852	267714	16.3	0.85	529679	5635541	0.321	11.57	0.27
ضریب تغییرات C.V (%)		7.4	13.54	20.73	5.39	10.43	11.1	3.90	10.16	3.71

ns, *, **, به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی سیستم کاشت، باکتری و میکوریزا بر عملکرد دانه و بیوماس

Table 3- Mean comparisons of main effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on grain yield and biomass

تیمارها Treatments	عملکرد دانه لوبیا Grain yield of beans (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک لوبیا Biological yield of beans (Kg/ha)	عملکرد دانه ذرت Grain yield of maize (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک ذرت Biological yield of maize (Kg/ha)
سیستم کشت Planting system				
کشت خالص Monocropping	1958 a	4344 a	6940 a	19938 b
کشت مخلوط Intercropping	1440 b	3292 b	7005 a	22801 a
ریزوبیوم Rhizobium				
شاهد Control	1550 b	3415 b	6184 b	20423 a
ریزوبیوم Rhizobium	1847 a	4221 a	7761 a	22316 a
میکوریزا Mycorrhiza				
شاهد Control	1698 a	4069 a	6535 b	19818 b
میکوریزا Mycorrhiza	1699 a	3568 b	7409 a	22921 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده سیستم کاشت، میکوریزا و ریزوبیوم بر اجزاء عملکرد و کلروفیل برگ

Table 4- Mean comparisons of main effects of planting system, mycorrhiza and rhizobium on yield components and leaf chlorophyll

تیمارها Treatments	تعداد ردیف در بلال ذرت The number rows per ear of maize	تعداد دانه در ردیف بلال ذرت Number of grain per ear row of maize	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کلروفیل برگ (Mg/g leaf fresh weight) Leaf chlorophyll	
				لوبیا Beans	ذرت Maize
سیستم کشت Planting system					
کشت خالص Monocropping	14.2 b	30.4 b	21.5 a	18.3 a	13.0 b
کشت مخلوط Intercropping	14.7 a	33.3 a	17.2 b	15.5 b	14.9 a
ریزوبیوم Rhizobium					
شاهد Control	14.2 b	32.1 a	14.6 b	17.1 a	13.6 b
ریزوبیوم Rhizobium	14.7 a	31.6 a	24.1 a	17.1 a	14.4 a
میکوریزا Mycorrhiza					
شاهد Control	14.1 b	29.7 b	19.3 a	17.0 a	13.5 b
میکوریزا Mycorrhiza	14.8 a	33.9 a	19.3 a	17.2 a	14.5 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه سیستم کاشت، باکتری و میکوریزا بر عملکرد دانه و بیوماس

Table 5- Mean comparisons of the dual interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on grain yield and biomass

تیمار Treatments	عملکرد دانه لوبیا Grain yield of beans (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک لوبیا Biological yield of beans (Kg/ha)	عملکرد دانه ذرت Grain yield of maize (Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک ذرت Biological yield of maize (Kg/ha)	
سیستم کشت Planting system	ریزوبیوم Rhizobium				
کشت خالص Monocropping	شاهد Control	1815. b	3921 b	5975 b	18851 b
	ریزوبیوم Rhizobium	2101 a	4767 a	7905 a	21026 a
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	1286 d	2909 c	6393 b	21995 a
	ریزوبیوم Rhizobium	1593 c	3676 b	7616 a	23608 a
سیستم کشت Planting system	قارچ میکوریزا Mycorrhiza				
کشت خالص Monocropping	شاهد Control	2033 a	4344 a	6560 b	18319 c
	میکوریزا Mycorrhiza	1823 a	4344 a	7320 ab	21557 ab
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	1516 b	3794 a	6510 ab	21318 b
	قارچ میکوریزا Mycorrhiza	1364 b	2791 c	7499 a	24285 a
ریزوبیوم × میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza					
	شاهد Control	1295 d	3485 b	5835 c	18729 c
	میکوریزا mycorrhiz	1806 b	3346 b	6533 bc	22117 a
	ریزوبیوم Rhizobium	2102 a	4653 a	7236 b	20908 ab
	ریزوبیوم × میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza	1593 c	3789 b	8286 a	23725 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه سیستم کاشت، باکتری و میکوریزا بر اجزای عملکرد و کلروفیل برگ

Table 6- Mean comparisons of the dual interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on yield components and leaf chlorophyll

تیمار Treatments	تعداد ردیف در بلال ذرت The number rows per ear of maize	تعداد دانه در ردیف بلال ذرت Number of grain per ear row of maize	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کلروفیل برگ (Mg/g leaf fresh weight)		
				لوبیا Beans	ذرت Maize	
سیستم کشت Planting system	ریزوبیوم Rhizobium					
کشت خالص monocropping	شاهد Control	14.0 b	29.6 b	15.6 b	16.9 b	12.6 d
	ریزوبیوم Rhizobium	14.5 ab	31.2 ab	22.3 a	19.7 a	13.4 c
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	14.5 ab	34.6 a	12.6 b	17.4 b	14.5 b
	ریزوبیوم Rhizobium	15.5 a	32.1 a	21.8 a	14.4 c	15.3 a
سیستم کشت planting system	میکوریزا Mycorrhiza					
کشت خالص monocropping	شاهد Control	13.78 b	28.5 b	19.1 ab	17.5 b	12.3 c
	میکوریزا Mycorrhiza	14.62 a	32.37 ab	23.8 a	19.5 a	13.8 b
کشت مخلوط Intercropping	شاهد Control	14.5 ab	31.25 b	19.6 ab	16.4 bc	14.7 a
	میکوریزا Mycorrhiza	15 a	35.5 a	14.8 b	15.4 c	15.2 a
باکتری ریزوبیوم × قارچ میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza						
	شاهد Control	14.3 b	28.3 b	17.1 b	17.1 a	13.1 b
	میکوریزا mycorrhiz	14.1 b	36.8 a	12.1c	17.1 a	14.0 b
	ریزوبیوم Rhizobium	14.0 b	31.3 b	21.6 b	16.8 a	13.8 b
	ریزوبیوم × میکوریزا Rhizobium × Mycorrhiza	15.5 a	32.0 a	26.6 a	17.1 a	15.0 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت، باکتریایی و میکوریزا بر عملکرد دانه و بیوماس

Table 7- Mean comparisons of the interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on grain yield and biomass

تیمارها Treatments	نسبت کشت Planting ratio	عملکرد دانه Grain yield (Kg/ha)			عملکرد بیولوژیک Biological yield (Kg/ha)		
		لوبیا Beans	ذرت Maize	مخلوط Intercropping	لوبیا Beans	ذرت Maize	مخلوط Intercropping
	کشت خالص Monocropping	1475 c		1475 f	3483 c		4958 e
شاهد Control	کشت مخلوط Intercropping	1116 d	6003 d	7120 c	3487 c	20995 b	10607 b
	کشت خالص Monocropping		5667 e	5667 d		16462 c	5667 de
	کشت خالص Monocropping	2592 a		2592 e	5206 a		7798 c
ریزوبیوم Rhizobium	کشت مخلوط Intercropping	1612 c	7019 b	8630 b	4101 b	21641 b	12731 a
	کشت خالص Monocropping		7454 b	7454 c		20176 b	7454 c
	کشت خالص Monocropping	2156 b		2156 e	4360 b		6516 d
قارچ میکوریزا Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	1457 c	6784 c	8240 b	2332 d	22996 b	10572 b
	کشت خالص Monocropping		6283 d	6283 d		21239 b	6283 d
	کشت خالص Monocropping	1610 c		1610 f	4328 b		5939
ریزوبیوم + قارچ میکوریزا Rhizobium× Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	1576 c	8215 a	9791 a	3288 c	25575 a	28863 a
	کشت خالص Monocropping		8358 a	8358 b		21875 b	21875 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت، باکتری و میکوریزا بر اجزای عملکرد و کلروفیل برگ

Table 8- Mean comparisons of the interaction effects of planting system, bacteria and mycorrhiza on components yield and leaf chlorophyll

تیمارها Treatments	نسبت کشت Planting ratio	کلروفیل برگ Leaf chlorophyll (Mg/g leaf fresh weight)		تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد ردیف در بلال ذرت The number rows per ear	تعداد دانه در ردیف بلال Number of grain per ear row
		لوبیا Beans	ذرت Maize			
		شاهد Control	کشت خالص Monocropping			
ریزوبیوم Rhizobium	کشت مخلوط Intercropping	19.4 a	14.1 ab	17.0 b	14.5 b	32.5 ab
	کشت خالص Monocropping		12.2 c		14.2 bc	24.5 c
	کشت خالص Monocropping	20.2 a		21.0 b		
قارچ میکوریزا Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	13.5 c	15.3 a	22.2 b	14.5 b	30.0 bc
	کشت خالص Monocropping		12.3 c		13.5 c	32.7 ab
	کشت خالص Monocropping	18.9 a		16.0 b		
ریزوبیوم×قارچ میکوریزا Rhizobium× Mycorrhizal	کشت مخلوط Intercropping	15.3 b	15.0 a	8.2 c	14.5 b	36.7 a
	کشت خالص Monocropping		13.1 c		13.7 bc	35.0 ab
	کشت خالص Monocropping	19.35 a		31.75 a		
	کشت مخلوط Intercropping	15.45 ab	15.41 a	21.5 b	15.5 a	34.25 ab
	کشت خالص Monocropping		14.59 ab		15.5 a	29.75 bc

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan's test.

نتیجه‌گیری کلی

و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سیستم کشت و تلقیح توام قارچ و باکتری قرار گرفته است. در همه تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود ولی تیمار کشت مخلوط توام با قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم نسبت به بقیه تیمارها برتری داشت و سودمندی کشت مخلوط در این تیمار مربوط به همزیستی بین قارچ و باکتری بوده است. بالاتر بودن نسبت برابری زمین بیشتر از یک در کشت مخلوط به ویژه کشت مخلوط به همراه قارچ و باکتری را می‌توان به اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین دو گونه و همچنین کمتر بودن

در کشت مخلوط جایگزینی هر دو گیاه در کلیه تیمارهای مورد بررسی این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت در تیمار کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا و باکتری ریزوبیوم به ترتیب با عملکرد معادل ۸۲۱۵ و ۲۵۵۲۵ کیلوگرم در هکتار و بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک لوبیا در تیمار کشت خالص لوبیا به همراه باکتری به ترتیب با عملکرد معادل ۲۵۹۲ و ۵۲۰۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بنابراین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد عملکرد دانه

کندنده نیتروژن به عنوان منبع تأمین نیتروژن در لوبیا فشرار
رقابتی را کاهش می‌دهد.

علف هرز و آفات و بیماری‌ها و تثبیت نیتروژن و جذب عناصر
غذایی بیشتر در کشت مخلوط نسبت داد. همچنین وجود قارچ
و باکتری در این تیمار با افزایش توسعه ریشه و گره‌های تثبیت

References

- Alizadeh, O. and Alizadeh, A., 2011. Consideration use of mycorrhiza and vermicompost to optimizing of chemical fertilizer application in corn cultivation. *Journal of Advances in Environmental Biology*, 5(6), pp.1279-1284. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v8i4.47568**
- Ashwin, R., Bagyaraj, D.J. and Raju, B.M., 2022. Dual inoculation with rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungus improves water stress tolerance and productivity in soybean. *Plant Stress*, 4, pp.100084-100100. doi: **10.1016/j.stress.2022.100084**
- Baghdadi, A., Halim, R.A., Ghasemzadeh, A., Ebrahimi, M., Othman, R. and Yusof, M.M., 2016. Effect of intercropping of corn and soybean on dry matter yield and nutritive value of forage corn. *Legume Research-An International Journal*, 39(6), pp.976-981. doi: **10.18805/lr.v39i6.6643**
- Bambara, P. and Ndakidemi, A., 2010. *Phaseolus vulgaris* response to Rhizobium inoculation, lime and molybdenum in selected low pH soil in Western. *Cape Agricultural Research*, 5, pp.1804-1824. doi: **10.5897/ajar09.584**
- Boomsma, C.R. and Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, pp.14-30. doi: **10.1016/j.fcr.2008.03.002**
- Chapagain, T. and Riseman, A., 2014. Barley-pea intercropping: effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166, pp.18-25. doi: **10.1016/j.fcr.2014.06.014**
- Cong, W.F., Hoffland, E.L., Li, B., Janssen, H. and van der Werf, W., 2015. Intercropping affects the rate of decomposition of soil organic matter and root litter. *Plant and Soil*, 391(1-2), pp.399-411. doi: **10.1007/s11104-015-2433-5**
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar., B.A. and Ramrodi, M., 2010. The Role of Intercropping Maize (*Zea mays* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on yield and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research*, 5, pp.631-636. doi: **10.5897/ajar09.607**
- Daryanto, S., Fu, B., Zhao, W., Wang, S., Jacinthe, P.A. and Wang, L., 2020. Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. *Agricultural Systems*, 178, pp.102761-102777. doi: **10.1016/j.agsy.2019.102761**
- Dos Santos Sousa, W., Soratto, R.P., Peixoto, D.S., Campos, T.S., da Silva, M.B., Souza, A.G.V., Teixeira, I.R. and Gitari, H.I., 2022. Effects of Rhizobium inoculum compared with mineral nitrogen fertilizer on nodulation and seed yield of common bean. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), pp.1-19. doi: **10.1007/s13593-022-00784-6**

- Duan, C., Razavi, B.S., Shen, G., Cui, Y., Ju, W., Li, S. and Fang, L., 2019. Deciphering the rhizobium inoculation effect on spatial distribution of phosphatase activity in the rhizosphere of alfalfa under copper stress. *Soil Biology and Biochemistry*, 137, pp.107574-107598. doi: **10.1016/j.soilbio.2019.107574**
- Elliott, A.J., Daniell, T.J., Cameron, D.D. and Field, K.J., 2021. A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *Plants, People, Planet*, 3(5), pp.588-599. doi: **10.1002/ppp3.10094**
- Etesami, H., Hossein, A., Alikhani, A. and Akbari A., 2009. Evaluation of Plant Growth Hormones Production (IAA) Ability by Iranian Soils Rhizobial Strains and Effects of Superior Strains Application on Wheat Growth Indexes. *Journal of World Applied Sciences Journal*, 6(11), pp.1576-1596. doi: **10.5555/20093251788**
- Fekadu, E., Kibret, K., Melese, A. and Bedadi, B., 2018. Yield of faba bean (*Vicia faba* L.) as affected by lime, mineral P, farmyard manure, compost and rhizobium in acid soil of Lay Gayint District, northwestern highlands of Ethiopia. *Agriculture and Food Security*, 7(1), pp.1-11. doi: **10.1186/s40066-018-0168-2**
- Hibberd, J.M., Sheehy, J.E. and Langdale, J.A., 2008. Using C4 photosynthesis to increase the yield of rice—rationale and feasibility. *Current Opinion in Plant Biology*, 11, pp.228–231. doi: **10.1016/j.pbi.2007.11.002**
- Huang, C.D., Liu, Q.Q., Li, X.L. and Zhang, C.C., 2019. Effect of intercropping on maize grain yield and yield components. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(8), pp.1690-1700. doi: **10.1016/S2095-3119(19)62648-1**
- Igiehon, N.O., Babalola, O.O., Cheseto, X. and Torto, B., 2021. Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, size distribution and fatty acid of soybean seeds grown under drought stress. *Microbiological Research*, 242, pp.126640-126666. doi: **10.1016/j.micres.2020.126640**
- Lin, B.B., Philpott, S.M. and Jha, S., 2015. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: challenges and next steps. *Basic and Applied Ecology*, 16(3), pp.189-201. doi: **10.1016/j.baae.2015.01.005**
- Ma, J., Wang, W., Yang, J., Qin, S., Yang, Y., Sun, C., Pei, G., Zeeshan, M., Liao, H., Liu, L. and Huang, J., 2022. Mycorrhizal symbiosis promotes the nutrient content accumulation and affects the root exudates in maize. *BMC Plant Biology*, 22(1), pp.1-13. doi: **10.1186/s12870-021-03370-2**
- Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J.B. and Jena, J., 2021. Intercropping—A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11(2), p.343. doi: **10.3390/agronomy11020343**
- Marzban, Z., Ameriyan, M.R. and Mamarabadi, M., 2014. Investigating the root characteristics and colonization index in cowpea and maize using mesorrhizobium bacteria and mycorrhiza in

- intercropping. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(2), pp.169-185. [In Persian]. doi: **20.1001.1.23221267.1393.4.2.9**
- Marzban, Z., Faryabi, E. and Torabian, S., 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on ion content and root characteristics of green bean and maize under intercropping. *Acta agriculturae Slovenica*, 109(1), pp.79-88. doi:**10.14720/aas.2017.109.1.08**
- Moradi, R., Koocheki, A. and Nasiri Mahallati, M., 2017. Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of Nitrogen. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(2), pp.47-59. [In Persian]. doi: **10.18869/acadpub.jcpp.7.2.47**
- Nasar, J., Shao, Z., Arshad, A., Jones, F.G., Liu, S., Li, C. and Gao, Q., 2020. The effect of maize–alfalfa intercropping on the physiological characteristics, nitrogen uptake and yield of maize. *Plant Biology*, 22(6), pp.1140-1149. doi: **10.1111/plb.13157**
- Sammama, H., Mazri, M.A., Ouahmane, L., Sammama, A., Hsissou, D., El Kaoua, M. and Alfeddy, M.N., 2022. Microbial inoculation improves soil Properties, nutrient uptake, and plant growth in soft wheat-faba bean intercropping. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, pp.1-15. doi: **10.1007/s42729-022-00991-w**
- Steiner, F., Ferreira, H.C.P. and Zuffo, A.M., 2019. Can co-inoculation of Rhizobium tropici and Azospirillum brasilense increase common bean nodulation and grain yield?. *Semina Ciências Agrárias*, 40(1), pp.81-98. doi: **10.5433/1679-0359.2019v40n1p81**
- Wellburn, A.R., 1994. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144, pp.307-327. doi: **10.1016/S0176-1617(11)81192-2**
- Xu, Z., Li, C., Zhang, C., Yu, Y., van der Werf, W. and Zhang, F., 2020. Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*, 246, pp.107661-107684. doi: **10.1016/j.fcr.2019.107661**
- Yaseen, T., Ali, K., Munsif, F., Rab, A., Ahmad, M., Israr, M. and Baraich, K., 2016. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi, Rhizobium inoculation and rock phosphate on growth and quality of lentil. *Pakistan Journal of Botany*, 48(5), pp. 2101-2107. doi: **10.5555/20163389226**
- Zhang, D., Sun, Z., Feng, L., Bai, W., Yang, N., Zhang, Z., Du, G., Feng, C., Cai, Q., Wang, Q. and Zhang, Y., 2020. Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize/peanut intercropping. *Field Crops Research*, 257, p.107926. doi: **10.1016/j.fcr.2020.107926**
- Zhou, J., Zang, H., Loeppmann, S., Gube, M., Kuzyakov, Y. and Pausch, J., 2020. Arbuscular mycorrhiza enhances rhizodeposition and reduces the rhizosphere priming effect on the decomposition of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 140, pp.107641-107670. doi: **10.1016/j.soilbio.2019.107641**

Yin, Z., Zhang, Y., Hu, N., Shi, Y., Li, T. and Zhao, Z., 2021. Differential responses of 23 maize cultivar seedlings to an arbuscular mycorrhizal fungus when grown in a metal-polluted soil. *Science of the Total Environment*, 789, pp.148015-148030. doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.148015](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148015)

The effect of inoculation of Rhizobium (*Mesorhizobium*) and Arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus claroideum*) on agricultural characteristics of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping

Zahra Marzban^{1*}, Elham Faryabi¹, Hadis Zaremanesh¹, Pariya Asgharzadeh¹

¹ Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

*Corresponding Author: marzban_zahra1986@yahoo.com

Received: 2 September 2022 Accepted: 21 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.355807.1265

Abstract

Introduction: Biodiversity is one of the ingredients of sustainable agriculture. As biodiversity increases or decreases, the provision of ecosystem services in the ecosystem of agricultural systems also changes. Therefore, biodiversity in the ecosystem of the agriculture system can improve by using the intercropping system and increasing the diversity of soil biological species. One of the ways to increase diversity in agricultural ecosystems is the use of several types of crops, including intercropping and the appropriate combination of soil microorganisms. The purpose of this research was to evaluate the yield and yield components in alternate intercropping of bean and maize, and to investigate the superiority of monocropping and intercropping of these two plants when using mycorrhizal fungi and rhizobium bacteria to determine the best treatment for them.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of rhizobium bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on yield improvement and potassium uptake in replacement intercropping of corn and bean, a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications, with factor 1- Rhizobium (no consumption and consumption) 2- Mycorrhizal fungus (non-consumption and consumption) and 3- intercropping system (maize, bean and intercropping) was implemented in 2019 at Payame Noor Azna University.

Results and Discussion: The results showed that the intercropping was significant for traits such as grain yield beans and corn. The results showed that the effect of different culture systems on traits such as plant leaf chlorophyll, grain yield, biological yield, number of rows per ear, number of seeds per ear row and number of pods per plant was significant at the level of 1% probability. Also, different levels of Rhizobium bacterium consumption were significant on traits such as grain yield, biological yield of beans, chlorophyll of corn leaves and number of pods per plant. Consumption of mycorrhizal fungus on traits such as number of seeds per row, chlorophyll of corn leaves was statistically significant at the level of one percent. The results showed that the intercropping treatment with the use of rhizobium bacteria and mycorrhizal fungi increased the biological yield, leaf chlorophyll, and the number of seeds in the cob row in corn by 47, 55, 26, and 39%, respectively, compared to the control treatment. Also, the treatment of monocropping bean with bacteria increased the seed yield, biological yield, and chlorophyll of bean leaves by 50, 47, and 36%, respectively, compared to the control treatment.

According to the obtained results, the land equality ratio in all intercropping treatments was more than one and also the highest land equality ratio was obtained from the intercropping treatment with the use of Rhizobium bacteria and Mycorrhizal fungus equal to 1.98. Which shows the positive correlations between intercropping plant members compared to monocropping and shows the superiority of corn intercropping over monocropping.

Conclusion: The land equality ratio of more than one in intercropping can attribute to nitrogen fixation and nitrogen uptake in intercropping. When two species grow nearby, both species compete for water and nutrients. The presence of nitrogen-fixing nodes as a source of nitrogen supply in bean reduces competitive pressure. In general, according to the results of this experiment, it can be expected that with a suitable combination of biofertilizers and mixed cultivation, the biofixation of nitrogen

and the absorption of other nutrients will be improved, and finally, it will increase the yield and stability.

Keywords: Cereal, Legum, Land equality ratio, Yield

استفاده از مدل رگرسیونی گام به گام جهت شناسایی صفات گیاهی مرتبط با عملکرد در برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش خشکی

حدیثه فرامرزی کوهسار^۱، علی راحمی کاریزکی^{۲*}، حسین صبوری^۲، عباس بیابانی^۲، معصومه نعیمی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

* مسئول مکاتبه: alirahemi@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.384194.1319

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

چکیده

در برنامه‌های به‌نژادی و اصلاح نباتات، برآورد میزان عملکرد بر اساس تغییر در صفات موثر گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است که با استفاده از مدل‌سازی رگرسیونی می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد. به همین منظور ۱۲۴ لاین از نسل نهم حاصل از تلاقی دو رقم برنج (اهلمی طارم و درفک) را در یک آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دانشگاه گنبد کاووس، مورد بررسی قرار گرفتند. آبیاری تا مرحله حداکثر پنجه‌زنی در شرایط بدون تنش (غرقاب) انجام شد. از این مرحله تا انتهای دوره رشد آبیاری به طور کامل قطع گردید. با استفاده از رگرسیون گام به گام، از بین صفات اندازه‌گیری شده، چهار صفت وزن بوته، وزن خوشه، وزن صد دانه و شاخص برداشت که در افزایش عملکرد بیشترین نقش را داشتند، شناسایی شدند و با توجه به همبستگی منفی موجود بین دو متغیر شاخص برداشت و وزن بوته، فرضیاتی مطرح شد که در هر فرض مقدار افزایش عملکرد برآورد گردید. نتایج نشان داد در صورتی که همبستگی بین صفات شاخص برداشت و وزن بوته قابل شکستن نباشد، عملکرد تیپ ایده‌آل ۱۹۷/۶۱ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت. در صورتی که با افزایش وزن بوته و شاخص برداشت در حد متوسط بماند، عملکرد تیپ ایده‌آل ۳۱۴/۶۴ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد و چنانچه همبستگی بین وزن بوته و شاخص برداشت شکسته شود، مقدار افزایش عملکرد ۶۹۷/۵۲ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. روش مورد استفاده در این تحقیق به علت اینکه به اختلافات ژنتیکی بین لاین‌ها توجه دارد، می‌تواند راهگشای متخصصان اصلاح نباتات برای انتخاب صفات مؤثر بر عملکرد برنج باشد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح نباتات، وزن بوته، همبستگی

مقدمه

منطقه و نوع محصول متفاوت خواهد بود (Malhi et al., 2021). در ایران، محصولات کشاورزی عمدتاً با استفاده از سیستم‌های آبیاری مصنوعی کشت می‌شوند. این در حالی است که در سال‌های اخیر میزان دسترسی به منابع آبی رو به کاهش بوده و در آینده نیاز به افزایش میزان آبیاری و یا حتی آبیاری در مناطق دیم خواهد بود. خشک‌سالی به یکی از تهدیدهای زیست‌محیطی در کشاورزی و امنیت غذایی تبدیل شده است (Parhizkari et al., 2019; Li et al., 2022) و یک مسئله مهم و جهانی در مناطق دیم می‌باشد (Kumar et al., 2022). تنش خشکی یک تهدید بزرگ و اصلی در کاهش تولید برنج است (Kumar et al., 2022; Sakoda et al., 2022).

بررسی روابط بین صفات نقش مؤثری در یافتن عوامل تأثیرگذار اصلی در عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته دارد (Sabory et al., 2012). عملکرد دانه برنج حاصل ارتباط

برنج با نام علمی *Oryza sativa* L. از گیاهان زراعی یک‌ساله و مهم در ایران و جهان می‌باشد (FAO, 2020) که از لحاظ تولید دانه دومین غله مهم بعد از گندم است (Kumari et al., 2022). مجموع تولید آن در ایران ۳۲۰۶۰۶۱ تن است، متوسط تولید عملکرد ۵۳۶۶ کیلوگرم در هکتار است (Iran's Ministry Agricultura, 2020) برنج و مشتقات آن ۶۰ تا ۷۰ درصد انرژی مورد نیاز مردم را تأمین می‌کند که تقریباً تمامی برنج تولید شده به مصرف غذایی انسان می‌رسد (Kumari et al., 2022).

تغییرات اقلیمی چه از طریق تنش‌های زیستی و چه از طریق تنش‌های غیرزیستی مانند تنش دما، خشکی و شوری بر تولید محصولات زراعی تأثیر منفی می‌گذارد (Pareek et al., 2020). تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و کیفیت محصول بسته به

دانه، تعداد دانهٔ پر و تعداد دانه در خوشه وجود دارد. نتایج تجزیه رگرسیون مدل گام به گام آن‌ها نشان داد که صفات وزن هزاردانه، تعداد دانهٔ پر و تعداد پنجه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند (Saberi *et al.*, 2022). طبق مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که بین عملکرد دانه با صفات وزن صددانه، تعداد پنجهٔ بارور، وزن خوشه و تعداد دانهٔ پر در خوشه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. صفت وزن صد دانه به دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با عملکرد و زیاد بودن اثر مستقیم مثبت بر روی عملکرد دانه به عنوان معیار گزینش جهت بهبود عملکرد دانه مطرح بود (Montazery *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که عملکرد دانه برنج با وزن هزار دانه و تعداد دانه پر در خوشه همبستگی معنی‌دار و مثبت دارد (Jahani *et al.*, 2017). در بررسی ۱۳ رقم برنج آزاد شده در شمال ایران مشاهده شد که روز تا طول شدن ساقه، طول برگ پرچم، تعداد پنجه در بوته، وزن بیولوژیک در مرحله گرده‌افشانی، حداکثر ماده‌ی خشک و شاخص برداشت از مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده‌ی عملکرد دانه هستند (Haghshenas *et al.*, 2022).

رسیدن به تیپ ایده‌آل گیاهان زراعی مستلزم استفاده از روش‌های آماری مناسب است. روش‌های مختلفی برای تعیین صفات مطلوب و تیپ ایده‌آل در گیاهان زراعی ارائه شده است (Kazerani *et al.*, 2018) در اصلاح نباتات به ژنوتیپ‌هایی ایده‌آل گفته می‌شود که در طیف وسیعی از شرایط محیطی، از ثبات عملکرد بالایی برخوردار باشند. این تحقیق با هدف شناسایی صفات گیاهی مرتبط با عملکرد در برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش خشکی در منطقه گنبد کاووس اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش روابط میان عملکرد دانه با صفات کمی و مورفولوژیکی نسل نهم (F9) حاصل تلاقی ارقام برنج اهلمی طارم و درفک در طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۹۶ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی با ارتفاع ۵۲ متر از سطح دریای آزاد در طی دو سال ۱۳۹۵ و

بسیاری از فرآیندهای حیاتی در مراحل نمو گیاهی است و هیچ فرآیندی به تنهایی کلید دسترسی به حداکثر عملکرد نیست (Mirzaee *et al.*, 2013). برای دستیابی به یک رقم با عملکرد بالا باید تمامی اجزاء دخیل در عملکرد به‌طور مناسبی در نظر گرفته شود (Ashworth *et al.*, 2015)، لذا باید به بررسی صفاتی در برنج که نقش بارزی در افزایش عملکرد دارند، پرداخت. در زمینه روابط و همبستگی بین صفات، در گیاهان مختلف، تحقیقات زیادی انجام شده است (Saberi-Riseh *et al.*, 2022; Gerrano and Thungo, 2020; Krisnawati *et al.*, 2022).

برای تجزیه و تحلیل اجزای عملکرد و تعیین مهم‌ترین جزء مؤثر بر عملکرد نیز روش‌های مختلفی وجود دارد از قبیل مدل‌های گیاهان زراعی، تجزیه به مولفه‌های اصلی، رگرسیون گام به گام و...، که تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام یکی از این روش‌ها است که با کمک آن می‌توان صفات مناسب جهت اجرای برنامه‌های اصلاحی و افزایش عملکرد دانه در برنج را شناسایی کرد (Vidal *et al.*, 2022). با توجه به وجود رابطه معنی‌دار بین عملکرد دانه با سایر صفات مهم زراعی، می‌توان از این رابطه جهت بهبود عملکرد دانه استفاده کرد. در اصلاح نباتات همبستگی بین صفات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا میزان و نوع رابطه بین دو یا چند صفت را تعیین می‌کند. همبستگی بین صفات مختلف می‌تواند به، به‌نژادگران در گزینش غیرمستقیم با استفاده از صفاتی که اندازه‌گیری آنها ساده‌تر است در جهت رسیدن به خودکفایی کمک نماید.

مطالعه‌ای بر روی ۱۶ صفت مختلف برنج انجام شد، با استفاده از روش رگرسیون گام به گام در برنج، صفات وزن خشک خوشه، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در خوشه، فاصله گره اول تا گره دوم ساقه و فاصله طوقه تا اولین گره، را به‌عنوان صفات مؤثر بر عملکرد دانه معرفی کردند (Taghipour and Mehrabi, 2021). بر اساس نتایج مطالعه‌ای روی ۲۶ ژنوتیپ مختلف برنج عنوان شد که صفات طول خوشه، تعداد سنبلیچه در خوشه، تعداد دانه پر و پنجه بارور در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری را با عملکرد دارند (et al., 2011). محققان مشاهده نمودند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با صفات تعداد پنجه، وزن هزار

۱۳۹۶ ارزیابی شد.

مترمربع با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مذکور کشت شدند. مصرف کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) شامل: ۵۰ کیلوگرم فسفراز منبع سوپرفسفات تریپل و ۷۵ کیلوگرم ازته از منبع اوره بود. تمامی کود فسفات و یک سوم کود اوره به صورت پایه و مابقی کود اوره به صورت تقسیط در دو مرحله توسط کارگر و به صورت دست‌پاش به خاک اضافه گردیدند. در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی لازم از قبیل وجین و کنترل علف‌های هرز (با علف‌کش بنتازون مقدار ۳ لیتر در هکتار) اعمال شد.

برای تهیه خزانه، ابتدا لاین‌ها که شامل ۱۲۴ عدد بودند، در گلدان‌های پنج لیتری در گلخانه کشت شدند و روزانه دو مرتبه آبیاری صورت می‌گرفت. در خزانه دو مرحله کود کامل NPK (۲۰ درصد نیتروژن، ۲۰ درصد فسفر و ۲۰ درصد پتاسیم و ۴۰ درصد دیگر شامل مواد حامل و ریز مغذی‌های دیگر) مخصوص برنج به گیاهچه‌ها داده شد. پس از تصادفی کردن محل نشاء لاین‌ها در واحدهای آزمایشی با تعداد چهار نشاء و هر نشاء شامل سه گیاهچه روی پنج ردیف به طول دو متر و با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر بر اساس تراکم ۱۶ بوته در

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of soil in 0-30 cm depth in experimental site

سال Year	کربن آلی O.C (%)	کربنات T.N.V (%)	اسیدیته PH	شوری EC (Ds m ⁻¹)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس P _{ava} (ppm)	پتاسیم قابل دسترس K _{ava} (ppm)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture
۱۳۹۴-۱۳۹۵ 2016-2017	1.29	9.5	7.5	0.94	0.13	9.2	807	18	70	12	Silty clay loam
۱۳۹۶-۱۳۹۵ 2017-2018	0.68	9.8	7.9	1.19	0.12	13.4	356	15	64	21	Silty clay loam

خوشه اصلی، قطر و طول ساقه خوشه اصلی، وزن کل خوشه‌ها، وزن خوشه اصلی، وزن کل ساقه‌ها، تعداد دانه‌ی پر و پوک در خوشه اصلی، وزن دانه‌ی پر و پوک در خوشه اصلی، تعداد خوشه‌چه اولیه و ثانویه در خوشه اصلی، وزن صدانه، وزن دانه پر در خوشه، شاخص برداشت، ۵۰ درصد گلدهی، روی ۵ بوته اندازه‌گیری انجام شد.

در ابتدا تجزیه واریانس انجام گرفت، سپس با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام صفات غیر مؤثر یا کم اثر روی عملکرد را در مدل رگرسیونی حذف نموده و تنها صفاتی را که میزان قابل ملاحظه‌ای از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کردند، شناسایی شدند. سپس همبستگی بین اجزای معادله ارتباط و همبستگی منفی و مثبت صفات منتخب با یکدیگر بررسی شد. با توجه به همبستگی منفی بین شاخص برداشت و وزن بوته، برای تعیین تیپ ایده‌آل فرضیاتی مطرح و با توجه به هر فرض مقدار افزایش عملکرد محاسبه شد. این فرضیات شامل (۱) با توجه به همبستگی منفی معنی‌دار بین وزن بوته و شاخص برداشت، همبستگی بین این دو صفت قابل شکستن

باتوجه به اینکه برنج در مرحله زایشی به تنش خشکی حساس است، اعمال تنش پس از مرحله رویشی و حداکثر پنجه‌زنی صورت گرفت. به عبارتی ظرفیت زراعی مدنظر نبود چرا که برنج در شرایط غرقاب رشد می‌کند، بنابراین قطع آبیاری باعث ایجاد تنش خشکی میشود، آبیاری تا ۴۰ روز در شرایط بدون تنش به صورت غرقاب در طول دوره رشد لاین‌ها انجام شد، اما ۴۰ روز پس از نشاء کردن و در مرحله حداکثر پنجه‌زنی تا انتهای دوره رشد آبیاری به طور کامل قطع گردید. با توجه به منحنی رطوبت خاک (Shi and Jim, 2022) متناسب با مزرعه تحقیقاتی در طول دوره آزمایش با فاصله ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ روز پس از نشاءکاری اقدام به نمونه‌گیری شده و رطوبت خاک ۳۲، ۲۴، ۱۸، ۸ و ۴ درصد رطوبت وزنی متناسب با ۰/۵، ۰/۱۲، ۰/۲۷، ۰/۷۲ و ۱/۱- مگا پاسکال تخمین زده شد.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، اندازه‌گیری صفات مورد بررسی شامل وزن بوته، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، طول، عرض و مساحت برگ پرچم خوشه اصلی، طول خروج غلاف

صفات منتخب و میزان افزایش عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفت (Haghshenas *et al.*, 2020).

نباشد. (۲) با فرض اینکه با افزایش حداکثر وزن بوته، شاخص برداشت در حد متوسط باقی بماند. (۳) با فرض اینکه همبستگی بین وزن بوته و شاخص برداشت قابل شکستن باشد بین

جدول ۲- مجموعه صفات مورد ارزیابی و موثر بر عملکرد در شرایط تنش خشکی

Table 2- List of investigated traits affecting the yield in conditions of drought stress

صفت Trait	واحد Unit	میانگین Mean	بیشترین Max	کمترین Min
وزن بوته Dry Weight in Plant (DWP)	g/m ²	1284.87	2124.15	663.25
ارتفاع بوته Plant height (PH)	cm	89.18	127.80	58.80
تعداد پنجه در کپه The number of tillers per hill (TTH)	-	14.73	8.38	6
طول برگ پرچم Flag leaf length (FLL)	cm	10.67	30.83	4.99
طول خروج غلاف The length of the exit of the panicle (LEP)	cm	2.34	17.88	0.28
قطر محور پانیکول Panicle axis diameter (PAD)	mm	2.21	3.82	1.32
طول پانیکول Panicle length (PL)	cm	20.02	27.33	14.03
وزن پانیکول در کپه Panicle weight per hill (PWH)	gr	19.73	33.98	7.31
وزن پانیکول اصلی The weight of the main panicle (WMP)	gr	1.64	3.14	0.66
وزن کل ساقه در کپه The total weight of stem per hill (TWSH)	gr	31.66	59.39	14.77
تعداد دانه پر در پانیکول اصلی The number of filled grains in the main panicle (NFGMP)	-	89.33	230.00	16
تعداد دانه پوک در پانیکول اصلی The number of unfilled grains in the main panicle	-	54.57	122.83	15.33
وزن دانه پر در پانیکول اصلی The filled grain weight in the main panicle (FGWMP)	gr	0.40	1.39	0.14
تعداد شاخه اولیه در پانیکول The number of primary branch per panicle (NPBP)	-	7.26	13.00	3.83
تعداد شاخه ثانویه در پانیکول The number of secondary branch per panicle (NSBP)	-	13.23	32.67	1.50
وزن صد دانه The weight of 100 grains (WHG)	gr	2.53	5.75	0.86
وزن دانه پر در کپه The filled grain weight per hill (FGWH)	gr	1.80	3.96	0.55
شاخص برداشت Harvest index (HI)	g/m ²	33.38	82.67	10.83
روز تا گلدهی Day to flowering (DF)	cm	66.15	90.83	52.50

و بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار

مشخصات صفات به صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر

نشان‌گر تنوع ژنتیکی است، که می‌توان به وسیله اصلاح و بهبود بخشیدن صفات مؤثر بر عملکرد باعث افزایش آن شد. این موضوع می‌تواند شرایطی را فراهم نماید تا بهترین رقم، با توجه به شرایط منطقه برای کشت تعیین گردد.

انتخاب مدل عملکرد

مدلی چهار متغیره به عنوان مدل نهایی عملکرد انتخاب گردید که عبارت است از:

$$Y = 10.4726 + 0.1957DWP + 0.2157 PWH + 0.9115WHG + 0.3106HI$$

که در اینجا Y، عملکرد بر حسب کیلوگرم دانه در هکتار؛ DWP، وزن بوته؛ PWH، وزن پانیکول در کپه؛ WHG، وزن صددانه و HI، شاخص برداشت هستند که این چهار متغیر بیش از ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کردند.

شکل ۱ ارتباط بین عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد واقعی را نشان می‌دهد. میزان $nRMSE$ ، $RMSE$ و R^2 نشان‌دهنده بالا بودن دقت این مدل است ($nRMSE = 5.36$ ، $RMSE = 22.14$ ، $R^2 = 0.97$) و می‌توان از آن در تخمین میزان عملکرد و تعیین سهم هر متغیر استفاده کرد. طبق نتایج حاصل شده می‌توان استنباط نمود که با دقت در آزمایش‌ها و مدیریت مناسب، تغییر قابل توجهی در عملکرد قابل مشاهده است به گونه‌ای که عملکرد واقعی به میزان پیش‌بینی شده آن نزدیک‌تر شود.

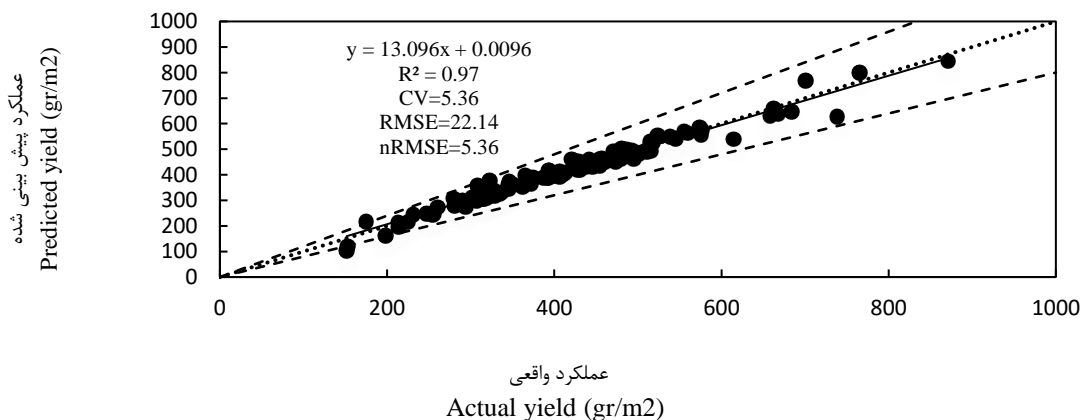
بگیرد وارد مدل چهار متغیره شد. بهترین حالت برای صفات با اثر مثبت شامل وزن بوته، وزن پانیکول، وزن صد دانه و شاخص برداشت، مقدار حداکثر آن‌ها بوده و برای صفات منفی شامل وزن کل بوته و شاخص برداشت بهترین حالت، مقدار حداقل آن‌ها است.

با توجه به مقادیر حداکثر و متوسط صفات وزن بوته، وزن پانیکول، وزن صد دانه و شاخص برداشت در ارقام و ضریب رگرسیونی این صفات در رابطه رگرسیونی، مقادیر عملکرد در حالت بهینه و متوسط محاسبه و مقدار افزایش عملکرد ناشی از این صفات برآورد گردید. برای وزن بوته با توجه به سه فرضیه مذکور مقدار افزایش عملکرد محاسبه شد. در پایان مقادیر صفات میزان افزایش عملکرد (درصد) ناشی از آن صفت نسبت به کل افزایش عملکرد، محاسبه و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Souza et al., 2018) انجام شد.

نتایج

صفات مورد مطالعه

مطابق با جدول ۲ در بین ژنوتیپ‌ها، اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد برای صفات مورد مطالعه وجود داشت. وجود مقادیر حداقل و حداکثر متنوع برای صفات مختلف در شرایط محیطی و زراعی اعمال شده یکسان بر روی ارقام،



شکل ۱- رابطه بین عملکرد پیش‌بینی شده و واقعی. خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می‌باشد.

Figure1- Relationship between predicted and actual yield. Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are 1:1.15 and 1:0.85, respectively.

صفات مؤثر بر عملکرد و ارتباط بین آنها

در این قسمت ابتدا به بررسی صفات مؤثر بر عملکرد که در مدل ۴ متغیره وارد شدند، پرداخته شد و سپس ارتباط بین این صفات با استفاده از تجزیه همبستگی مورد تحلیل قرار گرفت. مقدار میانگین، حداکثر و حداقل متغیرهای وارد شده در مدل عملکرد در جدول ۳ ارائه شده است.

ضرایب همبستگی بین صفات مدل رگرسیونی عملکرد دانه در جدول ۳ آورده شده است. طبق نتایج حاصل شده بین عملکرد دانه و چهار صفت مؤثری که طی رگرسیون گام به گام انتخاب شدند رابطه معنی داری وجود داشت. از میان چهار صفت، بین صفت DWP با HI در سطح ۵ درصد رابطه مثبت و

معنی داری وجود داشت.

بر اساس ضرایب همبستگی بین صفات مدل رگرسیونی عملکرد دانه (جدول ۳) بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنی داری بین وزن خوشه و وزن صد دانه در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد. با توجه به این نتایج به نظر می رسد می توان با اعمال گزینش مثبت بر وزن خوشه و وزن صد دانه باعث افزایش عملکرد کل گردید. بررسی صفات مورد ارزیابی نشان داد که اجزای عملکرد مستقل از یکدیگر نیستند و افزایش یا کاهش یک جزء باعث تغییر در اجزای دیگر خواهد شد. هر چند که همبستگی رابطه خطی بین صفات را نشان می دهد اما حدودی می توان به روابط بین اجزای عملکرد نیز پی برد.

جدول ۳- همبستگی بین صفات انتخاب شده مؤثر بر عملکرد در شرایط تنش خشکی

Table 3- The correlations between selected affecting the yield in conditions of drought stress

شاخص برداشت	وزن صد دانه	وزن پانیکول در کپه	وزن بوته	صفت
HI	WHG	PWH	DWP	Traite
			1	DWP
		1	0.56*	PWH
	1	0.49*	0.01	WHG
1	0.79**	0.26**	-0.44**	HI

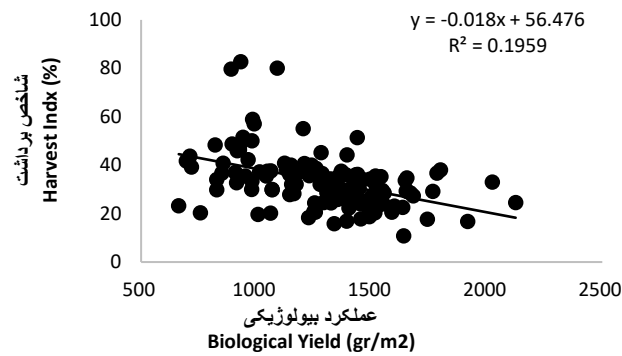
** و * به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد.

*and ** show the probability at 5 and 1 percent level, respectively.

به کارگیری مدل و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد

مشخصات صفات به صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین مقداری که می تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد در جداول ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. بهترین حالت برای صفات با اثر مثبت شامل وزن بوته (DWP)، وزن پانیکول (PWH)، وزن صد دانه (WHG) و شاخص برداشت (HI)، مقدار حداکثر آنها بوده و برای صفات منفی شامل DWP و HI بهترین حالت، مقدار حداقل آنها است. با توجه به مقادیر حداکثر و متوسط صفات DWP، PWH، WHG و HI در ارقام و ضریب رگرسیونی این صفات در رابطه یک، مقادیر عملکرد در حالت بهینه و متوسط محاسبه و مقدار افزایش عملکرد ناشی از این صفات برآورد گردید. برای DWP با توجه به سه فرضیه مقدار افزایش عملکرد محاسبه شد.

فرضیه اول: با توجه به همبستگی منفی معنی دار بین DWP و HI، همبستگی بین این دو صفت قابل شکستن نباشد: مقدار متوسط DWP ژنوتیپها ۱۲۸۵ گرم در متر مربع بود که در مدل رگرسیونی تولید به همراه ۳ صفت دیگر قرار گرفت. با توجه به وجود همبستگی منفی بین HI و DWP و همچنین فرض اینکه این همبستگی قابل شکستن نباشد، مقدار حداکثر DWP به عنوان بهترین حالت در معادله وارد نشد (جدول ۳). بنابراین یک رابطه رگرسیونی خطی بین DWP و HI با استفاده از معادله $y = -0.018x + 56.1959$ برقرار شد (شکل ۲). با استفاده از این معادله $x1$ در شرایط حداکثر HI محاسبه و در مدل عملکرد قرار داده شد (برابر با ۱۸/۲۴۴ درصد). با قرار گرفتن HI محاسبه شده در مدل رگرسیونی تولید، عملکرد به میزان ۱۱۷/۵۷۶ کیلوگرم کاهش یافت که معادل ۵۹/۶۶ درصد از کل عملکرد بود (جدول ۴)



شکل ۲- ارتباط بین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

Figure 2- Relationship between harvest index (%) and biological yield (gr/m2)

جدول ۴- مقدار عملکرد در حالت های متوسط و بهترین مقادیر صفات به همراه مقدار و درصد تغییر عملکرد ناشی از هر صفت با فرض اینکه ارتباط منفی حداکثر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت قابل شکستن نباشد.

Table 4- Yield in state of the mean and the best amount of each trait in addition to the amount and percentage of change (Assuming that the negative correlation between the biological yield and harvest index is not breakable).

صفات Traits	عملکرد Yield					میانگین Mean	بهترین Best	تغییرات Gap	درصد تغییرات Gap%
	ضریب در مدل Estimate	میانگین Mean	کمترین Min	بیشترین Max	بهترین Best				
Intercept وزن بوته	-261.83	1	1	1	1	-261.83	-261.83	0	-
DWP وزن کل خوشه	1958 3905.5	1285	663.25	2124	2124	251.60	415.88	164.28	83.36
PWH وزن صد دانه		19.73	7.31	33.98	33.98	106.35	183.17	76.81	38.98
WHG شاخص برداشت	22.77	2.52	0.86	5.75	5.75	57.38	130.93	73.55	37.32
HI	7.768	33.38	10.83	82.67	18.244	259.30	141.72	-117.56	-59.67
عملکرد Y	-	-	-	-	-	412.80	609.87	197.06	100

متوسط، نخواهد داشت. عدم وجود همبستگی بین دو صفت بدین معنی است که میتوان صفتی را بهبود بخشید، بدون اینکه هیچ اثری بر صفت دیگر داشته باشد (Faraji et al., 2012). در این حالت درصد سهم صفات وزن بوته، وزن خوشه و وزن ۱۰۰ دانه در افزایش عملکرد به ترتیب برابر ۵۲/۲۱، ۲۴/۴۱ و ۲۳/۳۷ درصد خواهد بود (جدول ۵). این فرض نشان می‌دهد که عملکرد در تیپ ایده آل نسبت به حالت متوسط به میزان ۳۱۴/۶۳ کیلوگرم در هکتار قابل افزایش خواهد بود (از عملکرد متوسط ۴۱۲/۸۰ به ۷۲۷/۴۴ کیلوگرم در هکتار).

با جمع‌بندی محاسبات فوق، در این فرض، عملکرد تیپ ایده‌آل، نسبت به عملکرد متوسط، به میزان ۱۹۷/۰۶۱ کیلوگرم افزایش (از عملکرد متوسط ۴۱۲/۸۰ به ۶۰۹/۸۶ کیلوگرم در هکتار) است.

فرضیه دوم: با فرض اینکه با افزایش حداکثر DWP،

HI در حد متوسط باقی بماند: با توجه به فرض در این حالت شاخص برداشت در تیپ ایده‌آل برابر با مقدار آن در حالت متوسط و معادل ۳۳/۹۸ درصد خواهد بود. بنابراین مقدار عددی این صفت در عملکرد مناسب و متوسط برابر خواهد بود و این صفت سهمی در افزایش عملکرد مناسب نسبت به عملکرد

جدول ۵- مقدار عملکرد در حالت های متوسط و بهترین مقادیر صفات به همراه مقدار و درصد تغییر عملکرد ناشی از هر صفت با فرض اینکه با افزایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در حد متوسط بماند.

Table 5- Yield in state of the mean and the best amount of each trait in addition to the amount and percentage of change (Assuming that with increasing biological yield, stay harvest index at moderate level).

	Traits صفات					Yield عملکرد			
	ضریب در مدل	میانگین	کمترین	بیشترین	بهترین	میانگین	بهترین	تغییرات	درصد تغییرات
	Estimate	Mean	Min	Max	Best	Mean	Best	Gap	Gap%
Intercept وزن بوته	-261.83	1	1	1	1	-261.83	-261.83	0	
DWP وزن کل خوشه	0.1958	1285	663.25	2124	2124	251.60	415.88	164.28	52.21
PWH وزن صد دانه	5.3905	19.73	7.31	33.98	33.98	106.35	183.17	76.82	24.41
WHG شاخص برداشت	22.77	2.52	0.86	5.75	5.75	57.38	130.93	73.55	23.38
HI عملکرد	77.7	33.38	10.83	82.67	18.24	259.30	259.30	0	0
Y	-	-	-	-	-	412.80	727.44	314.64	100

برداشت در تیپ ایده آل عملکرد نسبت به حالت متوسط میزان ۶۹۷/۵۲ کیلوگرم در هکتار (از عملکرد متوسط ۴۱۲/۸ به ۱۱۱۰/۳ کیلوگرم در هکتار) یعنی ۳۸۲/۹ کیلوگرم در هکتار نسبت به فرض پیشین، افزایش خواهد یافت (جدول ۶). سهم هر یک از صفات وزن بوته، وزن خوشه و وزن ۱۰۰ دانه در افزایش عملکرد به ترتیب ۱۱/۲۳، ۱۲۴/۵۵ و ۱۰/۵۴۴ درصد خواهد بود.

فرضیه سوم: با فرض اینکه همبستگی بین DWP و HI قابل شکستن باشد: چنانچه بتوان همبستگی منفی موجود بین دو صفت وزن بوته و شاخص برداشت را شکست، می توان میزان عملکرد را در حالت مناسب تا ۶۹۷/۵۲ کیلوگرم افزایش داد. متوسط شاخص برداشت معادل ۳۳/۳۸ و حداکثر شاخص برداشت ۸۲/۶۷ است. با قرار گرفتن بالاترین شاخص

جدول ۶- مقدار عملکرد در حالت های متوسط و بهترین مقادیر صفات به همراه مقدار و درصد تغییر عملکرد ناشی از هر صفت با فرض اینکه همبستگی بین حداکثر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشته شکسته شود.

Table 6- Yield in state of the mean and the best amount of each trait in addition to the amount and percentage of change (Assuming that the negative correlation between the biological yield and harvest index is breakable).

	s Trait صفات					Yield عملکرد			
	ضریب در مدل	میانگین	کمترین	بیشترین	بهترین	میانگین	بهترین	تغییرات	درصد تغییرات
	Estimate	Mean	Min	Max	Best	Mean	Best	Gap	Gap%
Intercept وزن بوته	83.-261	1	1	1	1	-261.83	-261.83	0	-
DWP وزن کل خوشه	1958.0	1285	25.663	2124	2124	251.603	415.87	164.2762	23.55138
PWH وزن صد دانه	3905.5	73.19	31.7	33.98	33.98	106.354	183.16	76.8146	11.0124
WHG شاخص برداشت	77.22	52.2	0.86	5.75	5.75	57.3804	130.92	73.5471	10.5440
HI عملکرد	768.7	38.33	10.83	82.67	82.67	259.295	642.18	382.8847	54.8920
Y	-	-	-	-	-	412.803	1110.3	697.5226	100

برخوردار است، زیرا میزان و نوع رابطه بین دو یا چند صفت را اندازه گیری می کند. این همبستگی ها بسته به اینکه مثبت یا

بحث
همبستگی بین صفات در اصلاح نباتات از اهمیت ویژه ای

نزدیک به همسان گیاهان صورت می‌گیرد و یا در روشی دیگر انتخاب در جهت گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفاتی صورت می‌گیرد که متخصص به صورت تجربی آنها را درک کرده باشد که در هر صورت به چندین سال کار آزمایشگاهی و مزرعه‌ای نیاز دارد و بسیار زمانبر است (Yadi *et al.*, 2022). استفاده از مدل‌های گیاهان زراعی زمانی قابل قبول است که مدل آزمون شده‌ای برای منطقه موجود باشد. روش‌های آماری مناسب و به طور خاص روش مورد استفاده در این تحقیق به علت اینکه به اختلافات ژنتیکی بین ارقام توجه دارد و در صورتی که با گستره‌ی مناسبی از ارقام اصلاح شده و غیر اصلاح شده در طی چندین سال انجام شود، می‌تواند راهگشای متخصصان اصلاح نباتات در جهت حرکت به سمت تیپ ایده‌آل گیاهان زراعی باشد.

مطالعات بر روی ارقام کلزا نشان داد که صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن بیشترین تأثیر بر عملکرد دانه را دارند (Biabani *et al.*, 2021). برخی محققان دریافتند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفت عملکرد دانه با صفات طول دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، طول بلال و تعداد ردیف در بلال وجود دارد (Shojaei *et al.*, 2022). در تحقیقی دیگر مشاهده کردند که صفات سطح تاج‌پوشش و کاروتنوئید بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد دارند (Golestani, 2022). همچنین طبق بررسی‌های پژوهشگران مشاهده شد که صفات وزن خشک خوشه، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، تعداد دانه در خوشه، فاصله گره اول تا گره دوم ساقه و فاصله طوقه تا اولین گره، را به‌عنوان صفات موثر بر عملکرد دانه معرفی کردند (Taghipour and Ashraf, 2021). در گزارشی دیگر محققان روز تا طویل شدن ساقه، طول برگ پرچم، تعداد پنجه در بوته، وزن بیولوژیک در مرحله گرده‌افشانی، حداکثر ماده‌ی خشک و شاخص برداشت را به عنوان مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده‌ی عملکرد دانه معرفی کردند (Haghshenas *et al.*, 2022).

عوامل زیادی بر تغییرات عملکرد در مزرعه در طول دوره رشد تأثیر می‌گذارند که اهمیت هر عامل در هر منطقه با نوع محصول تغییر می‌کند. در واقع، ایمن‌ترین و سریع‌ترین راه برای افزایش عملکرد در مزرعه، کاهش خلاء عملکرد از طریق به

منفی باشند بر مسیر گزینش تأثیر می‌گذارند. همبستگی‌های مثبت بین صفات مفید، به لحاظ اینکه شدت گزینش را محدود نمی‌کند، مناسب است اما در حالت همبستگی منفی گزینش صفات حول میانگین امری اجباری است. عدم وجود همبستگی بین دو صفت بدین معنی است که می‌توان صفاتی را بهبود بخشید، بدون اینکه هیچ اثری بر دیگری داشته باشد (Haghshenas *et al.*, 2022).

افزایش عملکرد، از طریق افزایش ماده خشک تولید شده در مزرعه یا افزایش سهم عملکرد اقتصادی (شاخص برداشت) و یا هر دو بالا می‌رود. در غلات دانه ریز، عمدتاً افزایش از طریق افزایش شاخص برداشت است به عبارتی گیاه قسمت زیادی از ماده خشک خود را به عملکرد اقتصادی یا دانه اختصاص می‌دهد (Rahemi *et al.*, 2020). شاخص برداشت معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه است (Dastan *et al.*, 2019). لذا همبستگی این صفات با سایر اجزای عملکرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین همبستگی منفی و معنی‌دار بین HI و DWP بدین معنی است که با افزایش هر کدام از این دو صفت، دیگری کاهش می‌یابد. یعنی چنانچه هدف افزایش HI باشد و برای این منظور انتخاب صورت گیرد، DWP کاهش خواهد یافت و بالعکس. لذا جمع کردن مقدار بالای این دو متغیر در یک ژنوتیپ مشکل است. به ویژه اگر این رابطه منفی، از نوع ژنتیکی و به دلیل پیوستگی ژنتیکی باشد. همبستگی صفات می‌تواند ناشی از پیوستگی ژنتیکی یا وجود یک اثر متقابل ژنتیکی با یک جزء محیطی باشد. در مطالعه‌ای بر روی ارقام جو مشخص شده است که شاخص برداشت با تمام اجزای عملکرد همبستگی منفی دارد (Ambula *et al.*, 2022). همچنین (Jain *et al.*, 2022) با بررسی لاین‌های پیشرفته در نخود بیان داشتند که بین زیست توده کل و شاخص برداشت همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد ($r=0.67^{**}$).

روش‌های مختلفی جهت رسیدن به تیپ ایده‌آل گیاهان زراعی وجود دارد که اکثراً برای دستیابی به تیپ‌ایده‌آل سه غله اصلی گندم، ذرت و برنج مورد استفاده قرار گرفتند (Haghshenas *et al.*, 2022)، اما به نظر می‌رسد روش استفاده در این تحقیق ساده و کاربردی باشد. به عنوان مثال در روش معمول برای ارزیابی صفات، مقایسه عملکرد لاین‌های همسان و

موجود بین صفات شاخص برداشت و وزن بوته قابل شکستن نباشد عملکرد تیپ ایده‌آل نسبت به متوسط عملکرد ۱۹۷/۶۱ (از ۴۱۲/۸۰ به ۶۰۹/۸۶) کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت. در صورتی که مقدار وزن بوته و شاخص برداشت در حد متوسط بماند، عملکرد تیپ ایده‌آل ۳۱۴/۶۴ (از ۴۱۲/۸۰ به ۷۲۷/۴۴) کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد و چنانچه همبستگی بین وزن بوته و شاخص برداشت شکسته شود، مقدار افزایش عملکرد ۶۹۷/۵۲ (از ۴۱۲/۸۰۳ به ۱۱۱۰/۳۲) کیلوگرم در هکتار خواهد بود. نتایج روش مورد استفاده در این تحقیق به علت اینکه به تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام توجه دارد، می‌تواند برای متخصصان اصلاح نباتات در جهت بهبود تیپ مطلوب گیاهان زراعی مورد استفاده قرار گیرد. در صورتی که هدف اصلی تحقیق تعیین تیپ مطلوب برنج برای منطقه گنبد باشد بهتر است تعداد بیش‌تری ژنوتیپ طی چند سال مورد بررسی و تحقیق قرار گیرند. نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد در صورتی که صفات مؤثر بر عملکرد در بهترین حالت خود باشند مؤثرترند.

کارگیری فناوری‌های جدید در مدیریت زراعی و اصلاح نباتات است. علاوه بر این، تحقیقات زراعی نقش اساسی در کاهش خلاء عملکرد دارند. بنابراین، استفاده از ارقام در شالیزارها به شدت به تناوب زراعی، به ویژه تاریخ کاشت در خزانه، سن نشاء، تاریخ نشاء‌کاری و دوره رشد ارقام برنج وابسته است (Dastan *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری کلی

هدف اصلی این مقاله ارزیابی مجدد روش استفاده از مدل‌های رگرسیونی در تعیین صفات مؤثر بر عملکرد در گیاهان زراعی است. در این مطالعه با استفاده از مدل رگرسیونی به تعیین تیپ ایده‌آل برنج پرداخته شد و چهار صفت وزن بوته، وزن خوشه، وزن ۱۰۰۰ دانه و شاخص برداشت در افزایش عملکرد بیشترین نقش را داشتند. با توجه به همبستگی منفی موجود بین دو متغیر شاخص برداشت و وزن بوته برای تعیین تیپ ایده‌آل فرضیاتی مطرح شد. نتایج نشان داد چنانچه ارتباط و همبستگی موجود بین برخی صفات دستخوش تغییرات قرار گیرد، می‌توان از آن به نفع عملکرد استفاده کرد. اگر همبستگی

References

- Ambula, K.V., James, O. and Charimbu, M.K., 2022. Evaluation of yield and yield components of advanced Kenyan barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *African Journal of Biological Sciences*, 4(2), pp.46-56. doi: 10.33472/afjbs.4.2.2022.46-56
- Ashworth, A.J., West, C.P., Allen, F.L., Keyser, P.D., Weiss, S.A., Tyler, D.D., Taylor, A.M., Warwick, K.L. and Beamer, K.P., 2015. Biologically Fixed Nitrogen in Legume Intercropped Systems: Comparison of Nitrogen-Difference and Nitrogen-15 Enrichment Techniques. *Agronomy, Soil and Environmental Quality*, 107(6), pp.2419-2430. doi: 10.2134/agronj14.0639
- Bagheri, N., Babaeian-Jelodar, N. and Pasha, A., 2011. Path coefficient analysis for yield and yield components in diverse rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Biharean Biologist*, pp.32-35. [In Persian].
- Biabani, A., Foroughi, A., Karizaki, A.R., Rassam, G.A., Hashemi, M. and Afshar, R.K., 2021. Physiological traits, yield, and yield components relationship in winter and spring canola. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(8), pp.3518-3528. [In Persian]. doi: 10.1002/jsfa.11094
- Dastan, S., Ghareyazie, B., Mohsenpor, M. and Abdollahi, S., 2019. Field trial evidence of non-transgenic and transgenic Bt. rice genotypes in north of Iran. *Journal Genetic Engineering Biotechnology*, 18(1), pp.1-14. [In Persian]. doi: 10.1186/s43141-020-00028-8
- FAO., 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nation. <http://apps.fao.org>.

- Faraji, A., Raisi, A., Hezarjeribi, S. and Mobasher, S., 2012. Oil Crops. Noruzi First edition. Seed and Plant, 541 pages. [In Persian].
- Ganghua, L., Zhang, J., Yang, C., Song, Y., Zheng, C.H., Wang, S.H., Liu, Z.H. and Ding, Y., 2014. Optimal yield-related attributes of irrigated rice for high yield potential based on path analysis and stability analysis. *The Crop Journal*, 2, pp.235-243. doi: **10.1016/j.cj.2014.03.006**
- Gebrie, G.M., Abebe, D., Atnaf, M., Wondifraw, D. and Dessie, A., 2022. An investigation of phenotypic and genotypic variations in 100 upland rice genotypes at Pawe, Northwestern Ethiopia. *Journal of Genetic Resources*, pp.111-116. doi: **10.22080/jgr.2022.22730.1289**
- Gerrano, A.S. and Thungo, Z.G., 2022. Phenotypic description of elite cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes grown in drought-prone environments using agronomic traits. *Heliyon*, e08855. doi: **10.1016/j.heliyon.2022.e08855**
- Golestani, M., 2022. Investigation the relationships among agronomic and physiological traits of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* ecotypes under salt stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(3), pp.261-271. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2020.304023.654723**
- Haghshenas, H., Soltani, A., Ghanbari Malidarreh, A., Ajam Norouzi, H. and Dastan, S.m., 2020. Selecting the ideotype of improved rice cultivars using multiple regression and multivariate models. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(8), pp.1134-1153. doi: **10.1080/03650340.2019.1658866**
- Iran's Agricultural Ministry. 2020. Annual statistics of agricultural production (available at: www.maj.ir)
- Jain, N., Babbar, A., Kumawat, S., Yadav, R.K. and Asati, R., 2022. Correlation and path coefficient analysis in the promising advance chickpea lines. *The Pharma Innovation Journal*, 11(5), 2124-2128
- Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S.S., Zaynali Nezhad, K. and Eskandari, A., 2018. Determination of the best selection indices in mutant lines of rice at different moisture conditions. *Journal of Crops Improvement*, 20(1), pp.173-189. [In Persian]. doi: **10.22059/jci.2018.233160.1733**
- Krisnawati, A., Sundari, T. and Adie, M.M., 2022. Variation in pod shattering resistance among black soybean genotypes associated with agronomic traits. In *AIP Conference Proceedings*, 2462(1), pp 020014. AIP Publishing LLC. doi: **10.1063/5.0075338**
- Kumar, A., Sengar, R.S., Pathak, R.K. and Singh, A.K., 2022. Integrated Approaches to Develop Drought-Tolerant Rice: Demand of Era for Global Food Security. *Journal of Plant Growth Regulation*, pp.1-25. doi: **10.1007/s00344-021-10561-6**
- Kumaria, J., Mahatmana, K.K., Sharma, S., Singhb, A.K., Adhikaric, S., Bansala, R. and Yadavb, M.C., 2022. Recent advances in different omics mechanism for drought stress tolerance in rice. *Russian Journal of Plant Physiology*, 69(18), pp.1-12. doi: **10.1134/s1021443722010095**
- Li, R., Yang, R., Zheng, W., Wu, L., Zhang, C. and Zhang, H., 2022. Melatonin promotes SGT1-Involved signals to ameliorate drought stress adaption in rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(2), pp.315
- Malhi, G.S., Kaur, M. and Kaushik, P., 2021. Impact of Climate change on agriculture and It's mitigation strategies: A review. *Sustainability*, pp.1312-1318. doi: **10.3390/su13031318**

- Mirzaee, M., Moieni, A. and Ghanati, F., 2013. Effect of drought stress on proline and soluble sugar content in canola (*Brassica napus* L.) seedlings. *Iranian Journal of Biology*, 26(1), pp.90-98. [In Persian].
- Pareek, A., Dhankher, O.P. and Foyer, C.H., 2020. Mitigating the Impact of Climate Change on Plant Productivity and Ecosystem Sustainability. *Journal of Experimental Botany*, 7, pp.451–456. **doi:org/10.1093/jxb/erz518**
- Parhizkari, A., 2019. Evaluate the Effects of Climate Change Impertinence on Agricultural Production and Farmer's Income Situation in Down Lands of Taleghan Dam. *Agricultural Economics Research*, 9(4), pp.125-152. [In Persian]. **doi:20.1001.1.20086407.1396.9.36.7.8.**
- Rahemi Karizaki, A., Rezaei, H., Gholizadeh, A., Nakhzari, A. and Naeemi, M., 2020. Study of the response of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in semi-arid and semi-humid regions of Golestan Province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(4), pp.579-590. **doi: 10.22067/gsc.V17I4.77484**
- Saberi-Riseh, R., Dashti, H. and Gholizadeh-Vazvani, M., 2022. Association between agronomic traits and molecular markers with take-all disease severity in bread wheat *Triticum aestivum*. *Journal of Crop Protection*, 11(1), pp.39-59. **doi:20.1001.1.22519041.2022.11.1.4.5**
- Sakoda, K., Taniyoshi, K., Yamori, W. and Tanaka, Y., 2022. Drought stress reduces crop carbon gain due to delayed photosynthetic induction under fluctuating light conditions. *Physiologia Plantarum*, 174(1), pp 13603.
- Shi, Y. and Jim, C.Y., 2022. Developing a thermal suitability index to assess artificial turf applications for various site-weather and user-activity scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 217, 104276. **doi:org/10.1016/j.landurbplan.2021.104276**
- Shojaei, H., Mostafavi, GH., Khosroshahli, M., Bihamta, M. and Ramshini, H., 2022. Study of quantitative traits related to grain yield stability in maize using multivariate statistical methods and graphical analysis. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(3), [In Persian]. **doi:10.22034/saps.2021.48063.2736**
- Sousa, D.P., Souza, P.J.O.P., Silva Farias, V.D., Caldas Nunes, H.G., Ferreira, D.P., Novoa, J.V.P. and Alves de Lima, M.J., 2018. Radiation use efficiency for Cowpea subjected to different irrigation depths under the climatic conditions of the Northeast of Para State. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(4), pp.579 587. **doi:org/ 10.1590/0102- 7786334001**
- Taghipour, Z. and Mehrabi, A., 2021. Evaluation of phenotypic diversity, transgressive segregation and agromorphological trait relations in generated populations from cross-breeding of Iranian rice cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), pp.33-45. [In Persian]. **doi:org/10.22059/ijfcs.2019.275504.654581**
- Vidal, A.K.F., Daher, R.F., Freitas, R.S., Stida, W.F., Léo, F.J.D.S., da Silva, V.B. and Farias, J.E., 2022. Growth curve in elephant grass genotypes based on morpho-agronomic traits for energy production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82, pp 1.
- Yeganehpour, F., Zehtab-Salmasi, S., ShafaghKolvanagh, J., Ghassemi-Golezani, K.A. and Dastborhan, S., 2017 Effect of some morphological traits and oil content of coriander seeds in response to bio-fertilizer and salicylic acid under water stress. *Journal.of. Biodiversity and Environmental Sciences*, 10(1), pp.140-149. **doi: 10.5281/zenodo.2634710**

Using a step-by-step regression model to identify plant traits related to yield in rice (*Oryza sativa*) under drought stress conditions

Hadiseh Faramarzi Kohsar¹, Ali Rahemi Karizaki^{2*}, Hossein Sabouri², Abbas Biabani², Masoomeh Naeimi²

¹ M. Sc. Student, Plant Production Department, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

² Plant Production Department, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

*Corresponding Author: alirahemi@yahoo.com

Received: 13 February 2023 Accepted: 15 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.384194.1319

Abstract

Introduction: In order to select their breeding goals among different physiological traits, plant breeders need to categorize the limitations as well as the capabilities of plants. This issue has led to the emergence of a concept called ideal type. Achieving the ideal type of agricultural plants requires the use of appropriate statistical methods. The aim of this study is to introduce the method of using regression modeling to determine the ideal type of crop plants on the rice plant. In breeding programs, it is very important to estimate the amount of yield based on the change in effective plant traits, which can be identified using regression modeling. In plant breeding, correlation between traits is of special importance, because it determines the amount and type of relationship between two or more traits. In plant breeding, correlation between traits is of particular importance, because it determines the degree and type of relationship between two or more traits. Correlation between different traits can help researchers in indirect selection using traits that are easier to measure in order to achieve self-sufficiency.

Materials and Methods: For this purpose, a study on 124 lines of the ninth generation of two varieties of rice (Ahlomi Tarom and Dorfak) was conducted at Gonbad Kavous University, Iran, using a randomized complete block design with three replications in two growing seasons of 2015 and 2016. Irrigation was done until the maximum stage of tillering in stress-free conditions (flooding). From this stage until the end of the growth period, irrigation was completely stopped. Among the measured traits, using stepwise regression, four traits of plant weight, panicle weight, 100-seed weight, and harvest index were identified that had the greatest role in increasing yield. Then the correlation between the selected traits and the rate of increase in performance was evaluated and the rate of increase in performance (percentage) resulting from that trait in relation to the total increase in performance was calculated. Regarding negative correlation between the harvest index and plant weight, three hypotheses were evaluated, that in each assumption the amount of increase in yield was estimated. Data analysis was carried out using SAS software.

Results and Discussion: Considering the existing negative correlation between the two variables of harvest index and plant weight, assumptions were made to determine the ideal type, The results indicated that if the correlation between the harvest index and plant weight, is not breakable, ideotype yield variation would have an increasing of 197.61 kg/ha. If with increasing plant weight, harvest index stay at moderate level, it would be an increasing of 314.64kg/ha and if correlation between plant weight and harvest index is breakable, it would be an increasing of 697.52 kg/ha. The method used in this study, due to the fact that the genetic differences between the lines are noticeable, can be a way for the breeders to move towards yield increasing in rice cultivars.

Conclusion: The main purpose of this article is to introduce the method of using regression modeling in determining the ideal type of crops. In this study, the ideal type of rice was determined using regression modeling. And the four characteristics of plant weight, cluster weight, 100 seed weight and harvest index had the greatest role in increasing the yield. Considering the existing negative

correlation between the two variables of harvest index and plant weight, assumptions were made to determine the ideal type. The results showed that if the relationship and correlation existing between some traits undergo changes, it can be used for the benefit of performance. If the main goal of the research is to determine the optimal type of rice for the Gonbad region, it is better to study and research more genotypes in a few years.

Keywords: Correlation, Plant breeding, Plant weight

ارزیابی ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت با روش تحلیل مقایسه کارکرد در اجزای عملکرد و مراحل فنولوژیکی نمو

سید علی طباطبایی^۱، امین آناقلی^{۲*}، حمید جباری^۳

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۲- مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳- بخش دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: anagholi@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.370984.1293

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی و مقایسه عملکرد ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت انجام شد. آزمایش در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و طی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا گردید. فاکتور اصلی تاریخ کاشت در سه سطح ۱۵ مهر، ۳۰ مهر و ۱۵ آبان در کرت‌های اصلی و ارقام کلزا در هشت سطح: هیولا ۴۸۱۵، زرقام، نفیس، نپتون، نیما، اس.ال.ام-۰۴۶، نیلوفر و آر.جی.اس-۰۰۳ در کرت‌های فرعی تعبیه شدند. بر اساس نتایج بدست آمده اثر تاریخ کاشت بر مراحل فنولوژیکی تأثیر معنی‌داری گذاشت و سبب کاهش روز تا گل‌دهی، خورجین‌دهی و رسیدگی گردید. زودرس‌ترین ارقام در این آزمایش ارقام هیولا ۴۸۱۵ و آر.جی.اس-۰۰۳ بودند. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و بالاترین عملکرد با میانگین ۵۰۶۶ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۱۵ مهر بدست آمد و در کشت ۳۰ مهر و ۱۵ آبان میانگین عملکرد دانه به ترتیب ۱۱/۳۴ و ۲۶/۶۶ درصد نسبت به ۱۵ مهر کاهش یافت. بین ارقام مورد بررسی، ارقام هیولا ۴۸۱۵ در تاریخ کاشت ۱۵ مهر، نپتون در تاریخ کاشت ۳۰ مهر و نپتون و نفیس در تاریخ کاشت ۱۵ آبان بیشترین عملکردها را داشتند و برای کشت در منطقه توصیه می‌شوند. بر اساس مدل‌های رگرسیونی تغییر در طول مراحل فنولوژیکی نمو متناسب با تغییر در اجزای عملکرد باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۵۰۰ تا ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌شود که این کار را می‌توان با تغییر در تاریخ کاشت و عملیات زراعی انجام داد.

واژه‌های کلیدی: خورجین‌دهی، زودرسی، کانولا، گل‌دهی، هیولا ۴۸۱۵

مقدمه

میزان و ترکیب آن عمدتاً به صورت ژنتیکی تعیین می‌شود (Fieldsend *et al.*, 1991)، ولی به مقدار قابل توجهی نیز تحت تأثیر شرایط محیطی مانند دما و رطوبت قرار می‌گیرد (Gunasekera *et al.*, 2006).

کلزا دارای صفات زراعی مناسبی مانند تحمل به تنش‌های سرمایی، کم‌آبی و شوری می‌باشد و به جهت دارا بودن ژنوتیپ‌های بهاره و پاییزه، استفاده بهینه از رطوبت و بارندگی، هزینه کم‌تر تولید و عملکرد بیشتر روغن در واحد سطح نسبت به دیگر دانه‌های روغنی کشت آن در اکثر نقاط کشور توصیه می‌شود (Aliari *et al.*, 2000; Gunasekera, 2006a). کلزا از جمله گیاهانی است که عملکرد آن بستگی زیادی به تاریخ کاشت مناسب دارد. به‌منظور رسیدن به حداکثر عملکرد دانه، کشت باید در تاریخ کاشت توصیه شده منطقه انجام شود. کاشت در زمان مناسب در مناطق سرد و معتدل سرد سبب

متغیرهای آب و هوایی بخصوص دما تأثیر بسزایی در افزایش عملکرد گیاهان دارند. در دست داشتن اطلاعات دقیق از زمان رسیدگی گیاه زراعی و مراحل مختلف نمو کمک شایانی به تصمیم‌گیری در خصوص عملیات زراعی و در نهایت تولید عملکرد می‌نماید. در کشور ایران حدود ۹۰ درصد روغن مصرفی از طریق واردات تأمین می‌شود در حالی‌که زمین‌های زراعی وسیعی برای کشت دانه‌های روغنی مساعد می‌باشد و می‌توان نیاز مصرف روغن را با کشت دانه‌های روغنی داخلی تا حدود زیادی برطرف کرد. در بین دانه‌های روغنی، کلزا (*Brassica napus L.*) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی در جهان می‌باشد و این اهمیت به‌واسطه کیفیت بالای روغن و کنجاله آن بوده که پتانسیل یک منبع تجدید شدنی سوخت‌های زیستی را نیز دارا می‌باشد. روغن با ارزش‌ترین جزء دانه کلزا است و اگرچه

بطوری که دماهای کمتر از آن باعث کاهش تعداد گل‌ها می‌شود. گیاه کلزا برای توسعه و گسترش خورجین‌ها به دماهای ۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیاز داشته و دماهای بالا روی تعداد خورجین تأثیر منفی می‌گذارد (Azizi et al., 2006).

هدف ما در این آزمایش تعیین بهترین تاریخ کاشت در ارقام مهم مورد کشت در کشور در شرایط اقلیمی استان یزد است که دارای مشکلات سرمزدگی و گرمای آخر فصل می‌باشد. این تنش‌ها طول مراحل فنولوژیکی نمو و اجزای عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعه حاضر تأثیر تاریخ کاشت بر این متغیرها را نیز بررسی کرده و با ارائه مدل‌های رگرسیونی، برآورد مناسبی از میزان تأثیر آنها بر عملکرد دانه ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و مقایسه عملکرد ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت در شرایط آب و هوایی یزد، این آزمایش بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و طی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ایستگاه مرکزی وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد انجام گردید. تیمار اصلی تاریخ کاشت در سه سطح ۱۵ مهر، ۳۰ مهر و ۱۵ آبان در کرت‌های اصلی و تیمار فرعی ارقام کلزا در هشت سطح شامل هیولا ۴۸۱۵، زرقام، نفیس، نپتون، نیما، اس.ال.ام-۰۴۶، نیلوفر و آر.جی.اس-۰۰۳ در کرت‌های فرعی قرار گرفت. عملیات تهیه زمین در شهریور انجام شد و قبل از کاشت از عمق‌های ۰-۳۰ و ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌گیری مرکب بصورت زیگزاگی و از چندین نقطه از مزرعه انجام شد (جدول ۱). هر واحد آزمایشی شامل ۱۴ خط کاشت به طول ۵ متر و فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود و بذور در عمق ۲-۱ سانتی‌متری کشت شدند.

مصرف کود بر اساس نتایج آزمایش تجزیه خاک و توصیه کودی صورت گرفت و در هر هکتار ۲۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم مصرف شد. کود نیتروژن در دو نوبت ۱۰۰ کیلوگرم پیش از کاشت و ۱۵۰ کیلوگرم بصورت سرک در مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی مصرف شد. به‌منظور تعیین تراکم مناسب در هر کرت، در مرحله ۴ تا ۶ برگی عملیات تنک کردن انجام شد تا تراکم مطلوب (۸۰ بوته در متر مربع) حاصل شود و کنترل علف‌های هرز به‌صورت

می‌شود بوته کلزا قبل از شروع سرما با روزت قوی وارد زمستان‌گذرانی شده و تحمل بسیار بالا به سرما و یخبندان پیدا نماید. کاشت در زمان مناسب در مناطق گرم سبب می‌شود گیاه کلزا به موقع با رشد رویشی مطلوب وارد مرحله زایشی شود و در مرحله بسیار حساس پر شدن دانه با گرماهای شدید آخر فصل مواجه نگردد. تأخیر کشت در مناطق گرم نیز اگر چه از نظر سرمزدگی مشکل چندانی ایجاد نمی‌کند، ولی به علت برخورد مرحله دانه‌بندی گیاه با گرمای شدید موجب کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود (Shiranirad et al., 2020). اصولاً طول دوره رشد گیاه و نیز طول هر مرحله فنولوژیک می‌تواند از طریق مصرف بیشتر منابع یا از طریق کاهش تنش‌های محیطی و کاهش طول هر دوره، عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد.

بر اساس مرور منابع انجام شده در ۳۰ سال اخیر بر روی کلزا، صفات طول دوره گل‌دهی، زودرسی، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، نقش قابل توجهی در بهبود عملکرد دانه کلزا به طور مستقیم و غیرمستقیم دارند (Diepenbrock, 2000). محققین گزارش نمودند که در مناطق نیمه‌خشک نیمه‌گرمسیر استرالیا، تأخیر در کاشت کلزای پاییزه در نتیجه افزایش دمای محیط سبب کاهش دوره گل‌دهی و در نتیجه برخورد گرمای انتهای فصل با دوره پر شدن دانه و موجب کاهش عملکرد دانه و روغن کلزا می‌گردد (Robertson and Holland, 2004). کاشت دیر هنگام کلزا با محدود کردن دوره رشد، باعث ایجاد بوته‌هایی با سطح سبز کم شده و در نهایت عملکرد دانه کاهش می‌یابد و در مواردی که به‌هنگام پاییز و اوایل بهار، شرایط آب و هوایی برای رشد و نمو مناسب باشد، کلزاهای حاصل از کشت‌های دیر هنگام پاییزه با تأمین رشد و نمو لازم همانند کلزاهای به موقع کشت شده، رشد کرده و عملکرد دانه‌ای معادل با آنها تولید می‌کنند (Faraji et al., 2008). در آزمایشی چهارساله در استرالیا برای بررسی تاریخ کاشت (اول سپتامبر و آخر سپتامبر) گزارش گردید که به‌طور متوسط در همه سال‌ها در کشت دیر هنگام، اندازه کانوپی پایین‌تر از حد مطلوب و بهینه بوده و در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Lunn et al., 2001). بطور کلی دمای مناسب برای جوانه زدن و سبز شدن بذر کلزا، ۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب برای گل‌دهی، ۱۸-۱۴ درجه سانتی‌گراد، دمای بحرانی برای گل‌دهی حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است

پس از رسیدگی فیزیولوژیکی در هر کرت آزمایشی با حذف دو خط کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت بر حسب کیلوگرم در هکتار برای هر کرت ثبت شد. برای تجزیه واریانس و تعیین ضرایب رگرسیون معادلات از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسات میانگین نیز بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

وجین دستی انجام شد. برای تعیین اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه از هر واحد آزمایشی تعداد ۱۰ بوته بصورت تصادفی انتخاب شد و صفات مورد نظر شمارش و اندازه‌گیری شد. مراحل فنولوژیکی نمو بر اساس مقیاس استاندارد شده در ایران انجام شد (Zavare and Emam, 2000). عملکرد دانه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خاک محل اجرای آزمایش در یزد

Table 1- Physical and chemical characteristics of water and soil of the experimental place in Yazd

بافت خاک (لومی شنی)			هدایت الکتریکی		نیترژن کل	کربن آلی	مواد خنثی شونده	واکنش گل اشباع		Electrical conductivity (dS/m)	
رس	لوم	شن	آب خاک	خاک				آب خاک	Soil	Water	Soil
Clay	Silt	Sand	Available potassium (ppm)	Available phosphor (ppm)	Total nitrogen (%)	Organic carbon (%)	TNV (%)	pH	pH	Soil	Water
14.0	15.1	70.9	198	14.55	0.029	0.25	36.63	7.55	7.23	4.25	3.74

جدول ۲- اطلاعات آب و هواشناسی در طی فصل رشد ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 2- Meteorological information during the growing season of 2019-2020 and 2020-2021

سال	رطوبت نسبی	بارندگی	دمای بیشینه	دمای کمینه
Year	Relative humidity (%)	Precipitation (mm)	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)
۱۳۹۹-۱۳۹۸				
2019-2020	38.5	72.4	21.3	8.8
۱۴۰۰-۱۳۹۹				
2020-2021	33.2	45.5	22.5	8.8

مراحل فنولوژیکی نمو در ارقام مختلف نشان می‌دهد که زودگل‌ترین ارقام در این بررسی ارقام هیولا و آر.جی.اس هستند و ارقام نیما و نپتون دیرگل‌ترین بودند (جدول ۶).

در تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰ مهر ارقام نپتون، نیما، نفیس، اس.ال.ام و نیلوفر بدون اختلاف معنی‌دار در یک گروه قرار داشتند و پس از این گروه رقم زرفام در گروه مجزای آماری قرار گرفت. کمترین تعداد روز تا گل‌دهی در این دو تاریخ کاشت مربوط به ارقام آر.جی.اس و هیولا بود که اختلاف بسیار زیادی با بقیه ارقام داشتند. در تاریخ کاشت ۱۵ آبان، بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی در رقم نپتون با ۱۴۴/۶۷ روز بود و ارقام نیما، نیلوفر و اس.ال.ام با آن اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی رقم نفیس بر خلاف دو تاریخ کشت قبلی در این گروه قرار نگرفت. ارقام زرفام، آر.جی.اس و هیولا نیز به ترتیب در گروه‌های آماری

نتایج و بحث

مراحل فنولوژیکی نمو

تعداد روز تا گل‌دهی

در صفت تعداد روز تا گل‌دهی اثر سال و اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر رقم، اثر متقابل تاریخ کاشت×رقم و سال×رقم در این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین تعداد روز تا گل‌دهی در سال دوم ۱۴۰/۷۹ روز بود که بطور معنی‌داری از سال اول با میانگین ۱۳۲/۵۶ روز بیشتر بود (جدول ۴). در بین تاریخ‌های مختلف کاشت، بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی در تاریخ کاشت اول (۱۵ مهر) با ۱۴۴/۷۱ روز بدست آمد و پس از آن تاریخ کاشت دوم (۳۰ مهر) و سوم (۱۵ آبان) به ترتیب با ۱۳۵/۵۶ و ۱۲۹/۷۵ روز قرار داشتند (جدول ۵). مقایسه میانگین

بدست آمد (Rahnama, 2010). در تحقیقی مشابه در منطقه دزفول با تاریخ کاشت ۱۰ آبان، رقم آرجی.اس.۰۰۳ دارای طول دوره گل‌دهی ۴۱/۶۶ روز بود و کمترین مقدار در تاریخ کاشت ۱۰ آذر در ارقام هیولا ۳۳۰ و هیولا ۴۰۱ بدست آمد (Kalantar Ahmadi et al., 2015). محققین عقیده دارند که دمای پایین در طول دوره گل‌دهی در اثر تأخیر در کاشت باعث عقیم شدن دانه‌های گرده و کاهش عملکرد می‌گردد (Kirkland and Jonson, 2000).

بعدی بودند (شکل ۱). بر اساس آزمایش انجام شده در منطقه ورامین، بین تاریخ کاشت‌های ۲۰ شهریور تا ۵ آبان با فاصله ۱۵ روز، دو تاریخ کاشت اول، طولانی‌ترین دوره روز تا گل‌دهی و آخرین تاریخ کاشت، کوتاه‌ترین دوره روز تا گل‌دهی را داشت (Ehteshami et al., 2015). تحقیق انجام شده بر روی رقم زودرس هیولا ۴۰۱ و رقم آزاد گرده‌افشان آرجی.اس.۰۰۳ در منطقه اهواز نیز نشان داد که تأخیر در کاشت باعث کاهش طول دوره گل‌دهی در هر دو رقم می‌گردد. بیشترین طول دوره گل‌دهی در رقم هیولا ۴۰۱ با ۲۴ روز در تاریخ کاشت اول آبان

جدول ۳- میانگین مربعات مراحل فنولوژیکی نمو در تجزیه واریانس

Table 3- The mean square of the phenological stages of development in variance analysis

منابع تغییر Source of variables	درجه آزادی Degree freedom	روز تا رسیدگی Days until maturity	روز تا خورجین‌دهی Days until podding	روز تا گل‌دهی Days until flowering
سال † Year (Y)	1	592.11 *	905.01 *	2442.01 *
تکرار×سال (خطای a) Rep×Year (E _a)	4	17.82	29.47	42.34
تاریخ کاشت † Planting date	2	7434.92 **	5120.08 *	2729.46 *
سال×تاریخ کاشت Year×Planting date	2	50.46 ^{ns}	65.53 ^{ns}	39.26 ^{ns}
تکرار×سال×تاریخ کاشت (خطای b) Planting date (E _b)×Year×Rep	8	10.82	19.27	72.37
رقم † Variety	7	1515.17 **	3225.72 **	7238.58 **
تاریخ کاشت×رقم Planting date×Variety	14	29.34 ^{ns}	45.79 *	110.01 **
سال×رقم Variety×Year	7	12.17 ^{ns}	103.37 **	134.20 **
سال×تاریخ کاشت×رقم Variety×Planting date×Year	14	19.50 **	21.06 *	27.66 ^{ns}
خطای کل Total error (E _c)	84	6.64	11.01	35.94
ضریب تغییرات Coefficient variable (%)		1.31	2.12	4.39

†: اثر سال تصادفی و اثر تاریخ کاشت و رقم بطور ثابت در نظر گرفته شده است.

‡: The effect of year is considered random and the effect of planting date and variety are considered fixed.

جدول ۴- مقایسه میانگین مراحل فنولوژیکی نمو در سال اول و دوم آزمایش بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد

Table 4- Comparison of the average phenological stages of development in the first and second year of the experiment based on the LSD test and a probability level of 5%

سال Year	روز تا رسیدگی Days until maturity	روز تا خورجین‌دهی Days until podding	روز تا گلدهی Days until flowering
اول First	194.86 b	154.22 b	132.56 b
دوم Second	198.92 a	159.24 a	140.79 a

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means that have common letters are not significantly different.

جدول ۵- مقایسه میانگین مراحل فنولوژیکی نمو در تاریخ‌های مختلف کاشت بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد

Table 5- Comparison of the average phenological stages of development in different planting dates based on LSD test and 5% probability level

تاریخ کاشت Planting date	روز تا رسیدگی Days until maturity	روز تا خورجین‌دهی Days until podding	روز تا گلدهی Days until flowering
۱۵ مهر 7 th Oct.	209.71 a	167.52 a	144.71 a
۳۰ مهر 22 th Oct.	196.10 b	155.73 b	135.56 b
۱۵ آبان 6 th Nov.	184.85 c	146.94 c	129.75 c

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means that have common letters are not significantly different.

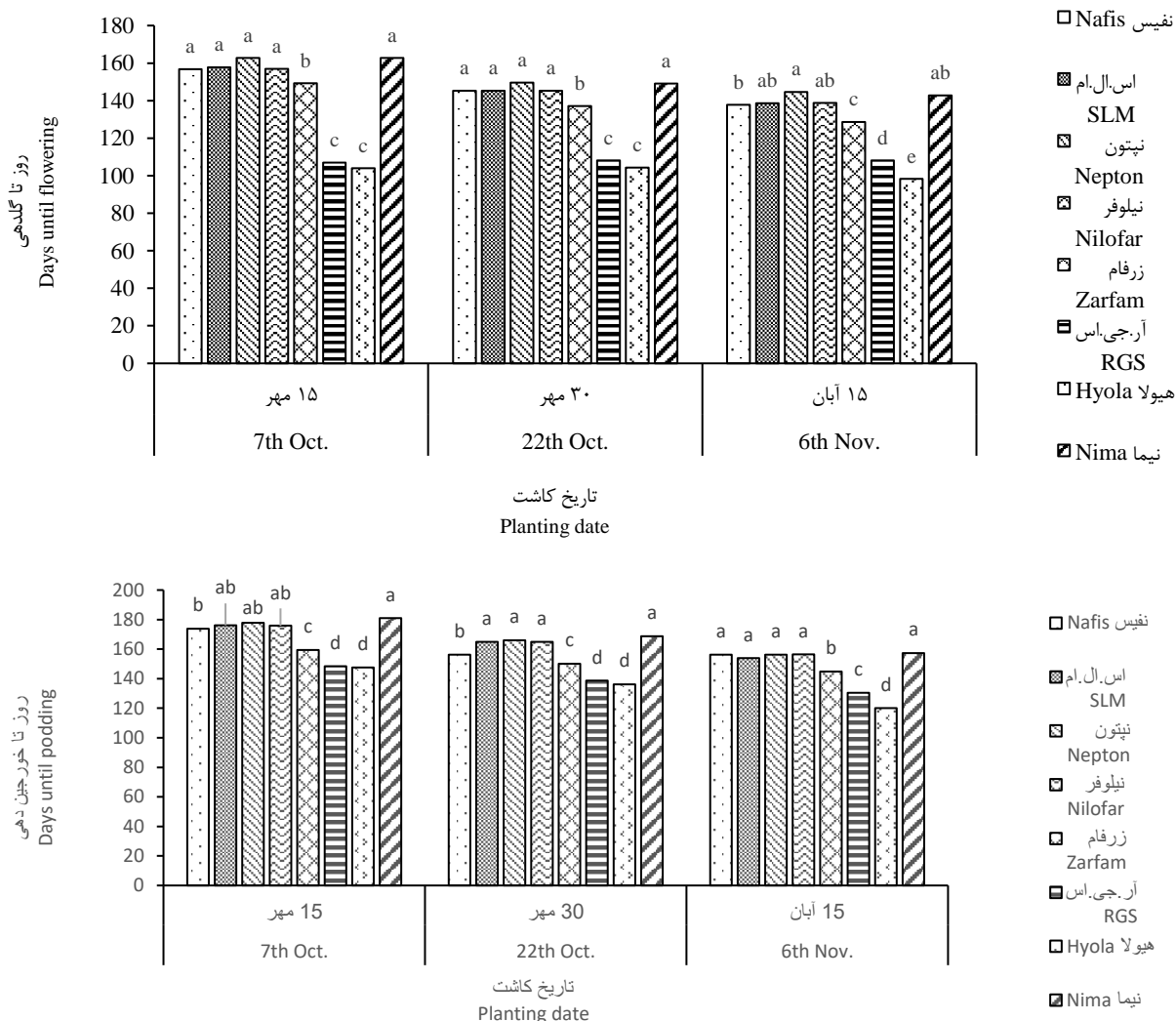
جدول ۶- مقایسه میانگین مراحل فنولوژیکی نمو در ارقام مختلف بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد

Table 6- Comparison of the average phenological stages of development in different varieties based on LSD test and 5% probability level

رقم Variety	روز تا رسیدگی Days until maturity	روز تا خورجین‌دهی Days until podding	روز تا گلدهی Days until flowering
نفیس Nafis	202.22 a	162.06 a	146.67 ab
اس.ال.ام-۰۴۶ SLM-046	203.72 a	165.00 a	147.28 ab
نپتون Nepton	202.50 a	166.72 a	152.39 a
نیلوفر Nilofar	202.61 a	165.72 a	147.06 ab
زرغام Zarfam	196.39 b	151.50 b	138.39 b
آر.جی.اس-۰۰۳ RGS-003	185.44 c	139.17 c	107.78 c
هیولا ۴۸۱۵ Hyola 4815	179.89 d	134.61 c	102.22 c
نیما Nima	202.33 a	169.06 a	151.61 a

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means that have common letters are not significantly different.



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد روز تا گلدهی و خورجین دهی در ارقام مختلف و در تاریخ های مختلف کاشت تذکر: مقایسه میانگین بین ارقام در هر سطح از تاریخ کاشت بطور جداگانه انجام شده است.

۱۵ آبان به ترتیب ۱۵۵/۷۳ و ۱۴۶/۹۴ روز بود. در تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰ مهر، ارقام هیولا و آر.جی.اس زودتر از بقیه ارقام وارد مرحله خورجین دهی شدند و با هم اختلاف معنی داری از این لحاظ نداشتند ولی در تاریخ کاشت ۱۵ آبان با وجودی که این دو رقم زودتر خورجین تشکیل دادند ولی رقم هیولا ۱۰ روز زودتر از رقم آر.جی.اس وارد این مرحله شد. در هر سه تاریخ کاشت، پس از ارقام هیولا و آر.جی.اس رقم زarfam زودتر از بقیه وارد خورجین دهی شد و رقم نیما از همه دیرتر تشکیل خورجین داد (شکل ۱).

بر اساس تحقیق انجام شده در استرالیا، تأخیر در کاشت

روز تا خورجین دهی

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) برای صفت روز تا خورجین دهی اثرات سال و تاریخ کاشت در سطح احتمال ۵ درصد و اثر رقم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. همچنین اثرات متقابل تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۵ درصد، سال×رقم در سطح احتمال ۱ درصد و سال×تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بودند. با تأخیر در کاشت، فرایندهای گل دهی و خورجین دهی زودتر انجام شد بطوری که تعداد روز تا خورجین دهی در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و ۱۶۷/۵۲ روز بود و این تعداد روز برای تاریخ کاشت ۳۰ مهر و

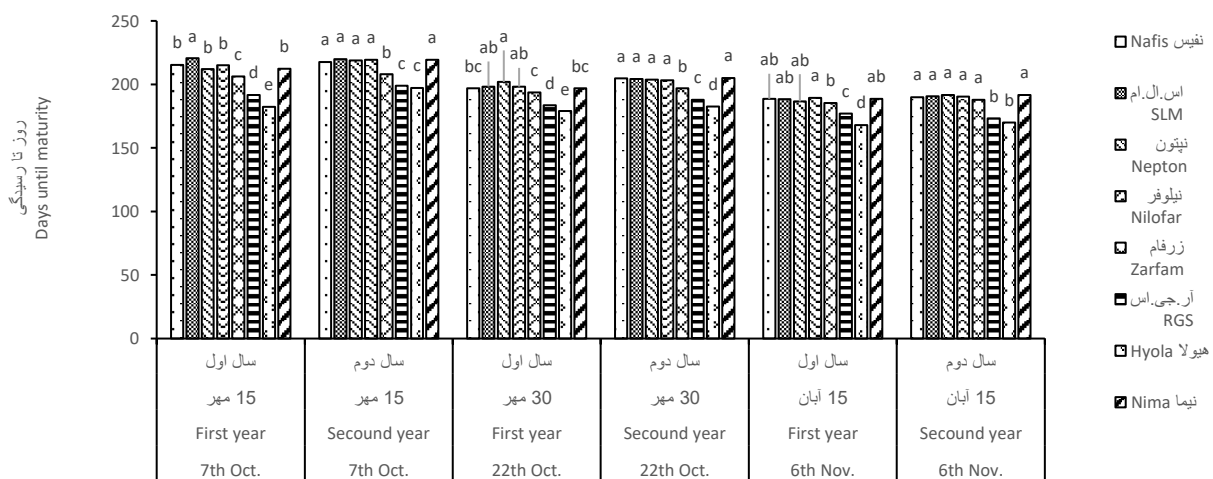
به ترتیب ۱۳/۶۱ و ۲۴/۸۶ روز بیشتر بود. در بین ارقام مورد بررسی رقم هیولا زودرس‌تر از بقیه ارقام بود و میانگین روز تا رسیدگی آن در طی دو سال آزمایش ۱۷۹/۸۹ روز بود. طول فصل رشد در ارقام آر.جی.اس و زرفام به ترتیب با ۵/۵۵ و ۱۶/۵۰ روز بیشتر از رقم هیولا بود و هر کدام در یک گروه آماری قرار داشتند. بقیه ارقام شامل نیما، نفیس، اس.ال.ام، نپتون و نیلوفر با رسیدگی یکسان در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۶). با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل سال×تاریخ کاشت×رقم، مقایسات میانگین در هر سال و تاریخ کاشت بین ارقام مختلف انجام شد (شکل ۲). بر این اساس در هر دو سال آزمایش و در هر سه تاریخ کاشت، رقم هیولا از بقیه ارقام زودرس‌تر بود و رقم آر.جی.اس از لحاظ زودرسی بعد از رقم هیولا بود. دیررس‌ترین ارقام نیز در تاریخ کاشت‌های مختلف و در طی این دو سال آزمایش، ارقام اس.ال.ام، نیما، نیلوفر، نپتون و نفیس بودند.

بر اساس تحقیقات انجام شده، تأخیر در کاشت باعث کاهش رشد رویشی و سطح برگ شده و مدت زمان رسیدگی را کاهش می‌دهد (Ozer, 2003). بطور کلی ارقامی که شاخص سطح برگ بالاتری دارند و تطابق شاخص سطح برگ بالا با تشعشع دریافتی بالا باشند، عملکردهای بالاتری دارند (Foroughi *et al.*, 2019).

باعث همزمانی دوره پر شدن خورجین‌ها با دوره گرمای آخر فصل شده و باعث ایجاد تنش در طول پر شدن دانه و کوتاه شدن این دوره در اثر مکانیسم فرار از تنش می‌گردد که نهایتاً عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Mendhame *et al.*, 1981; Mandat *et al.*, 1994). هرچه طول دوره گل‌دهی طولانی‌تر باشد، فرصت تشکیل خورجین‌های بیشتری وجود دارد و در نتیجه طول دوره تشکیل خورجین طولانی‌تر می‌شود (Ehteshami *et al.*, 2015). در آزمایشی در یاسوج، تأخیر در کاشت باعث کاهش ظرفیت فتوشیمیایی و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II گردید که منجر به کاهش رشد و عملکرد دانه گردید (Fallah Heki *et al.*, 2012).

روز تا رسیدگی

اثرات سال، تاریخ کاشت و رقم برای صفت روز تا رسیدگی به ترتیب در سطح احتمال ۵، ۱ و ۱ درصد معنی‌دار بود. در بین اثرات متقابل نیز فقط اثر متقابل سال×تاریخ کاشت×رقم معنی‌دار گردید (جدول ۳). در سال اول آزمایش ورود به مرحله زایشی و به دنبال آن رسیدگی محصول زودتر از سال دوم به وقوع پیوست. در سال اول گل‌دهی ۸/۲۳ روز، خورجین‌دهی ۵/۰۲ روز و رسیدگی ۴/۰۶ روز زودتر از سال دوم انجام شد. تعداد روز تا رسیدگی در تاریخ کاشت ۱۵ مهر، ۲۰۹/۷۱ روز بود که طول فصل رشد آن نسبت به تاریخ کاشت ۳۰ مهر و ۱۵



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد روز تا رسیدگی در اثر متقابل سال×تاریخ کاشت×رقم
تذکر: مقایسات میانگین بین ارقام در هر سال و تاریخ کاشت بطور جداگانه انجام شده است.

Figure 2- Comparison of the average of number of days until ripening in the interaction of year × planting date × variety
Note: Average comparisons among cultivars in each year and planting date have been done separately.

عملکرد و اجزای عملکرد

بین ارقام مورد بررسی رقم نفیس با ۷/۵۰ شاخه بیشترین تعداد را داشت و رقم نیما با ۶/۵۶ شاخه با آن اختلاف زیادی نداشت. ارقام هیولا، اس.ال.ام و آر.جی. اس نیز کمترین تعداد شاخه را داشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۱۰). در آزمایش انجام شده در کرج، با تأخیر در کاشت از ۲۰ شهریور تا ۱۹ مهر تعداد شاخه فرعی از ۵/۱ به ۴/۳ شاخه رسید ضمن اینکه بین ارقام و تاریخ کاشت اثر متقابل معنی داری مشاهده گردید (Roodi et al., 2010).

تعداد شاخه جانبی: در طی دو سال آزمایش، اثر تاریخ کاشت و رقم بر تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل سال×تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۷). تعداد شاخه جانبی در سال اول و دوم به ترتیب ۵/۸۵ و ۵/۹۹ بود که اختلاف معنی داری با هم نداشتند (جدول ۸). بین دو تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰ مهر اختلاف معنی داری مشاهده نشد ولی با تأخیر کاشت بیشتر تا ۱۵ آبان، تعداد شاخه جانبی بطور معنی داری کاهش پیدا کرد (جدول ۹).

جدول ۷- میانگین مربعات عملکرد و اجزای عملکرد در تجزیه واریانس

Table 7- The mean square of the yield and yield components in variance analysis

منابع تغییر Source of variables	درجه آزادی Degree freedom	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000 Seed weight	تعداد دانه در خورجین Seeds/pod	تعداد خورجین در بوته Pods/plant	تعداد شاخه جانبی Lateral branches
سال † Year (Y)	1	115770.0 *	6.64 *	559.91 *	22826.0 **	0.69 ns
تکرار×سال (خطای a) Rep×Year (E _a)	4	92.76	0.02	2.29	48.51	0.28
تاریخ کاشت † Planting date	2	220597.0 **	0.71 ns	5.25 ns	11927.0 ns	42.75 *
سال×تاریخ کاشت Year×Planting date	2	1090.3 ns	0.17 ns	13.03 ns	4112.7 ns	3.69 ns
تکرار×سال×تاریخ کاشت (خطای b) Planting date (E _b)×Year×Rep	8	233.0	0.03	0.78	89.8	0.25
رقم † Variety	7	41735.0 *	1.53 *	76.82 *	14037.0 ns	11.56 *
تاریخ کاشت×رقم Planting date×Variety	14	5633.3 *	0.15 ns	8.35 ns	2949.2 ns	3.69 ns
سال×رقم Year×Variety	7	21712.0 **	0.37 ns	17.27 ns	15203.0 **	2.36 ns
سال×تاریخ کاشت×رقم Year×Planting date×Variety	14	2057.7 **	0.18 **	11.47 **	3494.1 **	3.27 **
خطای کل Total error (E _c)	84	20.38	0.028	1.24	72.1	0.37
ضریب تغییرات Coefficient variable (%)		3.23	5.24	5.91	4.81	10.35

†: اثر سال تصادفی و اثر تاریخ کاشت و رقم بطور ثابت در نظر گرفته شده است.

‡: The effect of year is considered random and the effect of planting date and variety are considered fixed.

جدول ۸- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد در سال اول و دوم آزمایش بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد

Table 8- Comparison of the average yield and yield components in the first and second year of the experiment based on the LSD test and a probability level of 5%

سال Year	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	وزن هزار دانه 1000 Seed weight (g)	تعداد دانه در خورجین Seeds/pod	تعداد خورجین در بوته Pods/plant	تعداد شاخه جانبی Lateral branches
اول First	4708.19 a	3.42 a	20.83 a	189.19 a	5.85 a
دوم Second	4141.11 b	2.99 b	16.88 b	164.01 b	5.99 a

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی دار ندارند.

Means that have common letters are not significantly different.

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد در تاریخ‌های مختلف کاشت بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد

Table 9- Comparison of the average yield and yield components in different planting dates based on LSD test and 5% probability level

تاریخ کاشت	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	تعداد شاخه جانبی
Planting date	Grain yield (kg/ha)	1000 Seed weight (g)	Seeds/pod	Pods/plant	Lateral branches
۱۵ مهر 7 th Oct.	5066.64 a	3.33 a	19.19 a	189.35 a	6.79 a
۳۰ مهر 22 th Oct.	4491.88 b	3.21 a	18.53 a	181.48 a	6.04 ab
۱۵ آبان 6 th Nov.	3715.63 c	3.08 a	18.85 a	158.98 a	4.92 b

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means that have common letters are not significantly different.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام مختلف بر اساس آزمون LSD و سطح احتمال ۵ درصد

Table 10- Comparison of the average yield and yield components in different varieties based on LSD test and 5% probability level

رقم	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	تعداد شاخه جانبی
Variety	Grain yield (kg/ha)	1000 Seed weight (g)	Seeds/pod	Pods/plant	Lateral branches
نفیس Nafis	4797.78 ab	3.03 bc	19.05 a	193.67 a	7.50 a
اس.ال.ام-۰۴۶ SLM-046	4390.00 ab	3.21 bc	19.57 a	164.44 a	5.17 c
نپتون Nepton	5004.44 a	3.21 bc	19.31 a	194.56 a	6.00 bc
نیلوفر Nilofar	4439.44 ab	3.02 bc	20.30 a	183.61 a	5.94 bc
زرغام Zarfam	3821.11 b	3.25 b	20.77 a	148.06 a	5.72 bc
آر.جی.اس.۰۰۳ RGS-003	3848.89 ab	3.74 a	18.96 a	136.00 a	5.28 c
هیولا ۴۸۱۵ Hyola 4815	5006.11 a	3.43 ab	14.02 b	167.56 a	5.17 c
نیما Nima	4089.44 ab	2.77 c	18.86 a	222.94 a	6.56 ab

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means that have common letters are not significantly different.

معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱۰) ولی در سال اول رقم نیما

و در سال دوم رقم نپتون بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند. کمترین تعداد نیز در سال اول مربوط به رقم آر.جی.اس و در سال دوم ارقام هیولا و اس.ال.ام بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). کاهش تعداد خورجین در بوته با تأخیر در کاشت ارقام مختلف در آزمایشات متعددی مشاهده شد (Ehteshami *et al.*, 2015; Foroughi *et al.*, 2019; Kalantar Ahmadi *et al.*, 2015; Roodi *et al.*, 2010).

تعداد خورجین در بوته

اثر سال و اثرات متقابل سال×رقم و سال×تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۷). میانگین تعداد خورجین در بوته در سال اول ۱۸۸/۱۹ بود که در سال دوم ۱۳/۳۱ درصد نسبت به سال اول کاهش داشت (جدول ۸). با تأخیر در کاشت بخصوص در ۱۵ آبان، با وجودی که این صفت کاهش نشان داد ولی این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۹). بین ارقام مورد بررسی نیز اختلاف

تعداد دانه در خورجین

اثر سال و رقم در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل سال×تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار گردید. میانگین تعداد دانه در خورجین در سال اول ۲۰/۸۳ دانه بود که در سال دوم ۱۸/۹۶ درصد کاهش داشت. در سال دوم آزمایش در زمان گل‌دهی و پس از آن دمای بیشینه بیشتر از سال اول در این دوره بود که باعث کاهش گل‌دهی و باروری در خورجین گردید. بین تاریخ‌های مختلف کاشت در این صفت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بین ارقام مورد بررسی، رقم هیولا با ۱۴/۰۲ دانه در خورجین، کمترین تعداد را داشت و بقیه ارقام در یک گروه بودند (جدول ۱۰). در شمال خوزستان با تأخیر در کاشت ارقام دیررس هیولا ۶۰، آر.جی.اس ۰۰۳ و آپشن ۵۰۰ که از طول دوره رشد بیشتری برخوردار بودند، تعداد دانه در خورجین کاهش یافت که علت آن را مصادف شدن دوره گل‌دهی با شرایط نامساعد محیطی اعلام کردند (Kalantar Ahmadi et al., 2015).

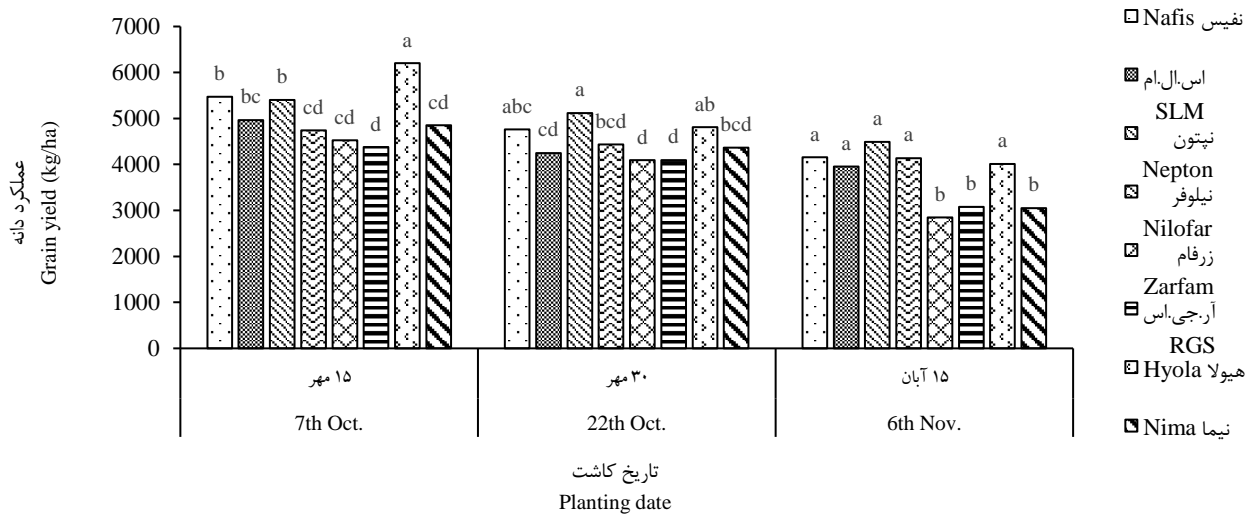
وزن هزار دانه

اثر سال و رقم در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل سال×تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۷). میانگین وزن هزار دانه در سال اول ۳/۴۲ گرم و در سال دوم ۲/۹۹ گرم بدست آمد. بین ارقام مورد بررسی رقم آر.جی.اس با وزن هزار دانه ۳/۷۴ گرم بیشترین وزن را داشت و رقم هیولا ۴۸۱۵ با ۳/۴۳ گرم تفاوت معنی‌داری با آن نداشت. کمترین وزن هزار دانه نیز در رقم نیما با ۲/۷۷ گرم بدست آمد (جدول ۱۰). در آزمایش تاریخ کاشت و ارقام کلزا در کرج، وزن هزار دانه در ۲۰ و ۳۰ شهریور اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی با تأخیر بیشتر در کاشت به ۹ و ۱۹ مهر، وزن هزار دانه کاهش معنی‌دار پیدا کرد. بین ارقام مورد بررسی نیز ارقام اورینت و اس.ال.ام ۰۴۶ دارای وزن هزار دانه کمتری از ارقام زرقام و کالورت بودند (Roodi et al., 2010).

عملکرد دانه

اثرات سال و رقم در سطح احتمال ۵ درصد و اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد.

اثر متقابل تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۵ درصد و اثرات متقابل سال×رقم و سال×تاریخ کاشت×رقم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۷). میانگین عملکرد دانه در سال اول ۴۷۰۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و در سال دوم با ۱۲/۰۴ درصد کاهش به ۴۱۴۱ کیلوگرم در هکتار رسید. با تأخیر در کاشت نیز عملکرد دانه کاهش یافت؛ بطوری‌که میانگین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۵ مهر به ۵۰۶۶ کیلوگرم در هکتار رسید و با تأخیر در کاشت به ۳۰ مهر و ۱۵ آبان به ترتیب ۱۱/۳۴ و ۲۶/۶۶ درصد کاهش در عملکرد حاصل شد. بین ارقام مورد بررسی ارقام هیولا ۴۸۱۵ و نپتون بیشترین و رقم زرقام کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۱۰). در سال اول ارقام نپتون و هیولا بیشترین عملکرد دانه را داشتند و در سال دوم رقم نفیس بالاترین عملکرد را تولید کرد. کمترین عملکرد دانه نیز در سال اول و دوم به ترتیب در ارقام زرقام و آر.جی.اس مشاهده شد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت×رقم در شکل ۳ نشان می‌دهد که رقم هیولا در تاریخ کاشت ۱۵ مهر دارای عملکرد به مراتب بیشتری از بقیه ارقام است. با تأخیر در کاشت، بطور محسوسی عملکرد ارقام کاهش یافت و در تاریخ کاشت ۳۰ مهر علاوه بر رقم هیولا، ارقام نپتون و نفیس نیز عملکردهای خوبی داشتند. تأخیر بیشتر تا ۱۵ آبان، باعث شد ارقام از لحاظ عملکرد به دو گروه تقسیم شوند بطوری‌که ارقام زرقام، آر.جی.اس و نیما دارای عملکرد کمتر و در یک گروه بودند و بقیه ارقام در گروه برتر قرار گرفتند (شکل ۳). در آزمایش انجام شده در منطقه یاسوج اثر رقم، تاریخ کاشت و اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، بطوری‌که در آن رقم زرقام با تیپ رشد بهاره-پاییزه در صورت کشت در پاییز دارای رشد رویشی بیش از حد شده و در برابر سرما حساس می‌شود ولی با تأخیر در کاشت در این رقم طول دوره روزت کاهش یافت؛ بطورکلی در این منطقه با تأخیر در کاشت در ارقام مختلف، کاهش عملکرد به مقادیر متفاوتی حادث شد؛ بطوری‌که در تاریخ کاشت ۲۰ مهر نسبت به ۲۱ شهریور در ارقام اس.ال.ام ۰۴۶، اکاپی، الایت و زرقام به ترتیب ۵۵، ۵۰ و ۴۳ درصد کاهش عملکرد ایجاد شد (Fallah Heki et al., 2012).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه در اثر متقابل تاریخ کاشت × رقم

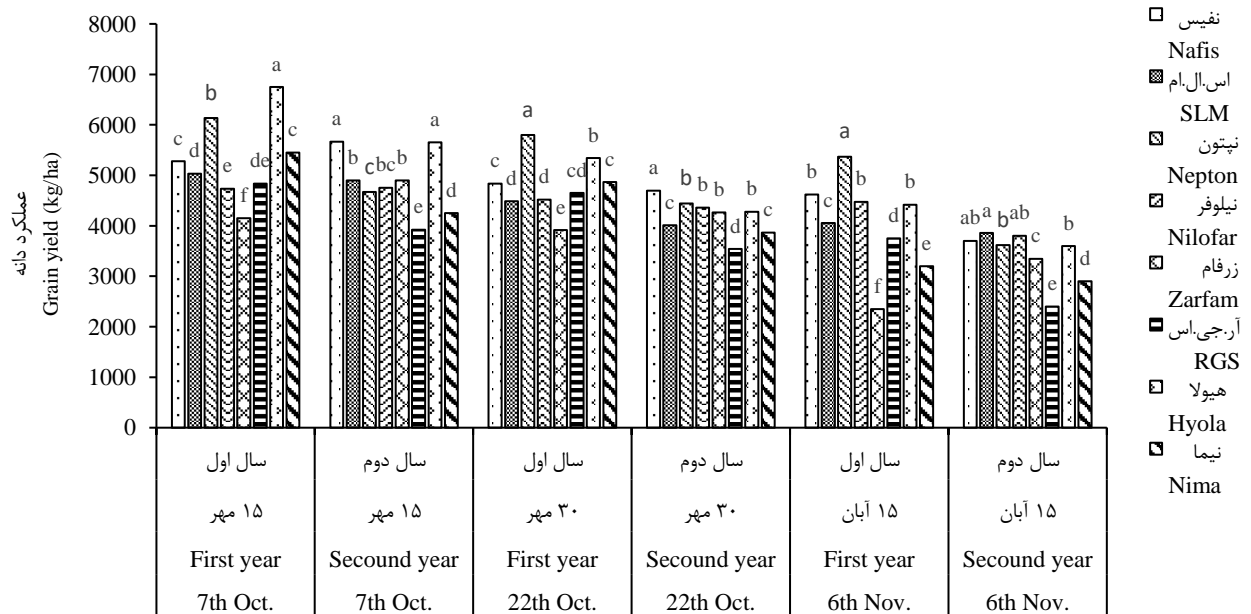
تذکر: مقایسه میانگین بین ارقام در هر تاریخ کاشت بطور جداگانه انجام شده است.

Figure 3- Comparison of the average grain yield in the interaction effect of planting date × variety

Note: The average comparison among the cultivars on each planting date has been done separately

در تاریخ کاشت آخر (۱۵ آبان) و در سال اول بالاترین عملکرد دانه مربوط به رقم نپتون بود و در سال دوم در همین تاریخ کاشت، رقم اس.ال.ام عملکرد بیشتری داشت و ارقام نفیس و نیلوفر با آن اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۴).

در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و در سال اول، رقم هیولا عملکرد بالاتری داشته و در سال دوم در همین تاریخ کاشت ارقام نفیس و هیولا بالاترین عملکرد را داشتند. در تاریخ کاشت ۳۰ مهر و سال اول، رقم نپتون عملکرد بالاتری تولید کرد ولی در سال دوم و همین تاریخ کاشت، رقم نفیس عملکرد بیشتری داشت.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × تاریخ کاشت × رقم بر عملکرد دانه

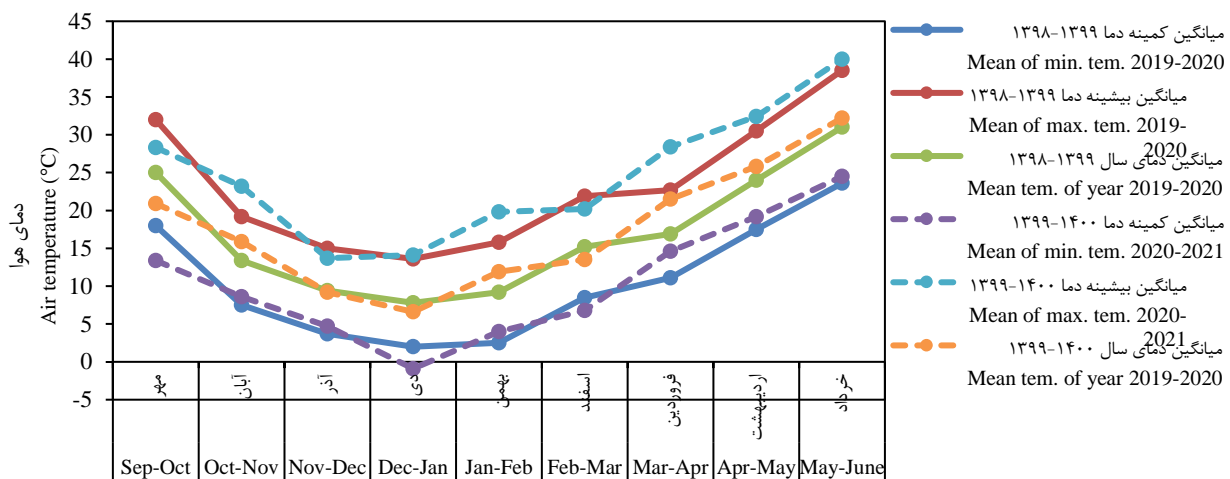
تذکر: مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام در هر سال و تاریخ کاشت بطور جداگانه انجام شده است.

Figure 4- Comparison of the average of grain yield in interaction of year × planting date × variety

Note: The comparison of the average grain yield of cultivars in each year and planting date has been done separately

گرمایی کمتری برخوردار کرده است. در بهمن ماه سال دوم آزمایش که زمان شروع گل‌دهی است، دمای بیشینه ۴/۰ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از سال اول آزمایش بود (شکل ۵). بنابراین مجموع این شرایط آب و هوایی باعث شد تا عملکرد در سال اول بیشتر از سال دوم آزمایش باشد.

در سال اول آزمایش، ماه مهر (شروع فصل رشد) بطور متوسط ۴/۱ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از مهر سال دوم آزمایش بود و ماه فروردین بطور متوسط ۴/۶ درجه خنک‌تر از فروردین سال دوم آزمایش بود؛ ضمن اینکه در اردیبهشت و خرداد نیز هوا خنک‌تر از سال دوم بود (شکل ۵). بنابراین در ابتدای فصل شرایط استقرار بهتری داشته و در انتهای فصل نیز با تنش



شکل ۵- تغییرات دمایی در طول فصل رشد و در سال‌های آزمایش (۱۳۹۸-۱۴۰۰)

Figure 5- Temperature changes during the growing season and in the experimental years (2019-2021)

رسیدن به این مقدار مطلوب لازم است تا مدیریت‌های زراعی لازم از قبیل آبیاری و کوددهی در زمان مناسب صورت گیرد. معادله بدست آمده برای رقم نپتون در تاریخ کاشت ۳۰ مهر بصورت $Y=11373+111.63x1-29.19x2-23.79x3-406.03x4$ است و عملکرد دانه با قرار دادن مقادیر میانگین x ، ۵۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بدست می‌آید که هیچ تفاوتی با عملکرد واقعی در این تیمار ندارد. بر اساس این معادله با افزایش مقدار $x1$ (تعداد شاخه جانبی) از ۶/۳۳ به ۷ و کاهش مقادیر $x2$ ، $x3$ و $x4$ عملکرد دانه ۴۹۷ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد (جدول ۱۲). در تاریخ کاشت ۱۵ آبان و رقم نفیس نیز معادله $Y=480.86-188.27x1-4.07x2+181.47x3+926.69x4$ بدست آمد و عملکرد بدست آمده با مدل (۴۱۵۸ کیلوگرم در هکتار) دقیقاً برابر عملکرد واقعی در این تیمار بود. در این تیمار کاهش وزن هزار دانه بسیار محسوس بود و افزایش آن از ۲/۶۱ به ۳/۰ گرم می‌تواند

تحلیل مقایسه کارکرد

در این آزمایش مناسب‌ترین رقم برای تاریخ کاشت ۱۵ مهر، هیولا ۴۸۱۵ بود و ارقام نپتون و نفیس برای تاریخ کاشت ۳۰ مهر و ۱۵ آبان مناسب‌تر بودند. بر اساس نتایج تحلیل مقایسه کارکرد و رگرسیون برازش داده شده، عملکرد رقم هیولا با استفاده از معادله $Y=5739.84+29.62x1-1.77x2+129.54x3-376.42x4$ برابر ۶۱۹۹ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که با عملکرد بدست آمده (۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) فرقی نداشت. در معادله فوق Y ، عملکرد دانه و $x1$ تا $x4$ به ترتیب تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه بود. در این معادله با افزایش تعداد شاخه جانبی از ۵/۳۳ به ۶/۰ و تعداد دانه در خورجین از ۱۴/۳۷ به ۱۹/۰ عملکرد دانه ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد (جدول ۱۱). البته با افزایش این دو جزء عملکرد، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه کاهش خواهد یافت. برای

عملکرد را ۶۵۵ کیلوگرم در هکتار افزایش دهد (جدول ۱۳).

جدول ۱۱- تأثیر اجزای عملکرد بر کاهش عملکرد در رقم هیولا و تاریخ کاشت ۱۵ مهر بر اساس نتایج رگرسیون

Table 11- The effect of yield components on yield reduction in the Hyola cultivar at the planting date of 7th Oct. based on the regression results

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقدار متغیر در مدل Variable value in model		عملکرد حاصل با مدل Yield by model		کاهش عملکرد Yield decrease	
		میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	مقدار Amount (kg/ha)	درصد Percent
عرض از مبدأ Intercept (Y)	5739.84	1	1	5739.84	5739.84	--	--
تعداد شاخه جانبی Lateral branches (x1)	29.62	5.33	6	157.87	177.72	19.84	2.65
تعداد خورجین در بوته Pods/plant (x2)	-1.77	174.33	170	-308.56	-300.9	7.66	1.02
تعداد دانه در خورجین Seeds/pod (x3)	129.54	14.37	19	1861.49	2461.26	599.77	80.01
وزن هزار دانه 1000 seeds weight (x4)	-376.42	3.32	3	-1251.6	-1129.26	122.33	16.32
مجموع Total	--	--	--	6199.04	6948.66	749.62	100

جدول ۱۲- تأثیر اجزای عملکرد بر کاهش عملکرد در رقم نپتون و تاریخ کاشت ۳۰ مهر بر اساس نتایج رگرسیون

Table 12- The effect of yield components on yield reduction in the Nepton cultivar at the planting date of 22th Oct. based on the regression results

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقدار متغیر در مدل Variable value in model		عملکرد حاصل با مدل Yield by model		کاهش عملکرد Yield decrease	
		میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	مقدار Amount (kg/ha)	درصد Percent
عرض از مبدأ Intercept (Y)	11373	1	1	11373	11373	--	--
تعداد شاخه جانبی Lateral branches (x1)	111.63	6.33	7	706.62	781.41	74.79	15.06
تعداد خورجین در بوته Pods/plant (x2)	-29.19	179.50	170	-5239.61	-4962.3	277.30	55.82
تعداد دانه در خورجین Seeds/pod (x3)	-23.79	17.53	15	-417.04	-356.85	60.19	12.12
وزن هزار دانه 1000 seeds weight (x4)	-406.03	3.21	3	-1302.54	-1218.09	84.45	17.00
مجموع Total	--	--	--	5120.43	5617.17	496.74	100

جدول ۱۳- تأثیر اجزای عملکرد بر کاهش عملکرد در رقم نفیس و تاریخ کاشت ۱۵ آبان بر اساس نتایج رگرسیون

Table 13- The effect of yield components on yield reduction in the Nafis cultivar at the planting date of 6th Nov. based on the regression results

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقدار متغیر در مدل Variable value in model		عملکرد حاصل با مدل Yield by model		کاهش عملکرد Yield decrease	
		میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	مقدار Amount (kg/ha)	درصد Percent
عرض از مبدأ Intercept (Y)	480.86	1	1	480.86	480.86	--	--
تعداد شاخه جانبی Lateral branches (x1)	-188.27	5.83	5	-1097.61	-941.35	156.26	23.86
تعداد خورجین در بوته Pods/plant (x2)	-4.07	197.83	190	-805.17	-773.30	31.87	4.87
تعداد دانه در خورجین Seeds/pod (x3)	181.47	17.43	18	3163.02	3266.46	103.44	15.80
وزن هزار دانه 1000 seeds weight (x4)	926.69	2.61	3	2416.81	2780.07	363.26	55.47
مجموع Total	--	--	--	4157.91	4812.74	654.83	100

و تاریخ کاشت ۳۰ مهر نیز گل‌دهی و رسیدگی زودتر و همچنین افزایش فاصله گل‌دهی تا غلاف‌دهی باعث افزایش ۵۱۹ کیلوگرم در هکتار گردید. مقدار افزایش عملکرد در این تیمار با افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در جدول ۱۲ معادل ۴۹۷ کیلوگرم در هکتار بود. بر اساس مدل رگرسیونی در رقم نفیس و تاریخ کشت ۱۵ آبان، افزایش فاصله غلاف‌دهی تا رسیدگی باعث افزایش ۶۴۸ کیلوگرم در هکتار شد که با افزایش وزن هزار دانه در جدول ۱۳ به میزان ۶۵۵ کیلوگرم در هکتار منطبق است.

بر اساس جدول ۱۴ با تغییر زمان گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی از طریق تغییر تاریخ کاشت و سایر مدیریت‌های زراعی مثل آبیاری و کوددهی، می‌توان عملکردها را تا حدودی بهبود بخشید. بر اساس مدل رگرسیونی در رقم هیولا و تاریخ کاشت ۱۵ مهر، ۹ روز افزایش فاصله غلاف‌دهی تا گل‌دهی عملکرد دانه را ۷۴۲ کیلوگرم در هکتار افزایش داد که متناسب با افزایش تعداد شاخه جانبی و تعداد دانه در خورجین در جدول ۱۱ است که باعث افزایش ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌گردد. در رقم نپتون

جدول ۱۴- طول مراحل فنولوژیکی نمو در تیمارهای منتخب

Table 14- Duration of the phenological stages of development in selected treatments

تیمار منتخب Desired treatment	کاشت تا گلدهی Planting until flowering (days)	گلدهی تا غلاف‌دهی Flowering until podding (days)	غلاف‌دهی تا رسیدگی Podding until maturity (days)	طول فصل رشد Growth season (days)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
هیولا- ۱۵ مهر Hyola-7 th Oct.	104.00	43.67	42.16	189.83	6200.96
هیولا- ۱۵ مهر (مدل) Hyola-7 th Oct.(model)	105.00	32.00	51.00	188.00	6943.39
نپتون-۳۰ مهر Nepton 22 th Oct.	149.67	16.33	36.83	202.83	5120.36
نپتون-۳۰ مهر (مدل) Nepton-22 th Oct. (model)	145.00	20.00	36.00	201.00	5639.90
نفیس-۱۵ آبان Nafis-6 th Nov.	137.83	18.34	33.16	189.33	4157.03
نفیس-۱۵ آبان (مدل) Nafis 6 th Nov.(model)	130.00	19.00	40.00	189.00	4805.08

نتیجه‌گیری کلی

کاشت مناسب و رقم زودرس در اینگونه مناطق بسیار حائز اهمیت است. بر اساس نتایج بدست آمده در این آزمایش بهتر است از ارقام زودرس با پتانسیل عملکرد بالا مثل هیولا ۴۸۱۵، نپتون و نفیس در تاریخ کاشت ۱۵ مهر استفاده شود و در صورت تأخیر در کاشت، ارقام نپتون و نفیس جایگزین مناسب‌تری هستند.

وابستگی عملکرد دانه در کلزا به تاریخ کاشت مناسب مورد تایید بسیاری از محققین است و بسته به شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت است. در مناطق گرم و خشک مانند یزد کاشت دیر هنگام باعث تنش آخر فصل می‌شود و کاشت زود نیز باعث سرمازدگی در طول فصل زمستان می‌گردد؛ لذا انتخاب تاریخ

References

- Alyari, H., Shekari, F. and Shekari, F., 2000. Oil seed crops: agronomy and physiology. Tabriz, Amidi press. [In Persian].
- Azizi, M., Soltani, A. and Khavari Khorasani, S., 2006. Rapeseed, Physiology, Agriculture, Breeding and Biotechnology. Mashhad Jahad Daneshgahi Press. 230p. [In Persian].
- Diepenbrock, W., 2000. Yield analysis of winter oilseed rape, a review. *Field Crop Research*, 67, pp.35-49.
- Ehteshami, S.M., Tehrani Aref, A. and Samadi, B., 2015. Effect of planting date on some phenological and morphological characteristics, yield and yield components of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 109, pp.111-120. [In Persian].
- Fallah Heki, M.H., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M. and Bonyadi, M., 2012. Effect of planting date on physiological and morphological characteristics of four canola cultivars in Yasouj. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(4), pp.53-66. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1391.2.4.5.1**
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., Shirani Rad, A.H. and Shariati, F., 2008. Effects of different temperature and moisture regimes on oil contents of two canola (*Brassica napus* L.) Cultivars. *Seed and Plant Journal*, 24(4), pp.707-722. [In Persian]. **doi: 10.22092/spij.2017.110818**
- Fieldsend, J.K., Murray, F.E., Bilsborrow, P.E., Milford, G.F.J. and Evans, E.J., 1991. Glucosinolate accumulation during seed development in winter sown oilseed rape (*Brassica. napus*). Proceeding of the 8th international rapeseed congress, Saskatoon. pp.686-694.
- Foroughi, A., Biabani, A., Rahemi karizaki, A. and Rassam, G.A., 2019. Investigation the physiological traits associated with canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield improvement. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), pp.53-73. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v17i1.63733**
- Gunasekera, C.P., Martin, L.D., Siddique, K.H.M. and Walton, G.H., 2006 a. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica. napus* L.) in Mediterranean-type environments: I. Crop growth and seed yield. *European Journal of Agronomy*, 25(1), pp.1-12. **doi: 10.1016/j.eja.2006.02.001**
- Gunasekera, C.P., Martin, L.D., Siddique, K.H.M. and Walton, G.H., 2006 b. Genotype environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica. napus* L.) in Mediterranean-type environments: II. Oil and protein percent in seed. *European Journal of Agronomy*, 25(1), pp.13-21. **doi: 10.1016/j.eja.2005.08.002**

- Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A. and Siadat, S.A., 2015. Canola cultivars' response to sowing date in northern Khuzestan conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(14), pp.123-132. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1393.4.14.11.1**
- Lunn, G.D., Spink, J.H., Stokes, D.T., Wade, A., Clare, R.W. and Scott, R.K., 2001. Canopy management in winter oil seed rape. HGCA Project report No. OS 49 Home. Grown Cereals Authority, London.
- Kirkland, K.J. and Jonson, E.N., 2000. Alternative seeding dates (Fall and April) affect *Brassica napus* canola yield and quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 80, pp.713-719. **doi: 10.4141/P00-016**
- Mandal, S.M.A., Mishra, B.K. and Patra, A.K., 1994. Yield loss in rapeseed and mustard due to aphid infestation in respect of different varieties and dates of sowing. *Orissa Journal of Agricultural Research*, 7, pp.58-62.
- Mendhame, N.J., Shipway, P.A. and Scott, R.K., 1981. The effect of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil seed rape. *Journal of Agricultural Science*, 96(2), pp.389-416.
- Ozer, H., 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield components of two summer rapeseed cultivars. *European Journal of Agronomy*, 19(3), pp.453-463. **doi: 10.1016/S1161-0301(02)00136-3**
- Rahnama, A., 2010. Effect of planting date on yield and yield components of two rapeseed cultivars in Khuzestan region. *The Quarterly Journal of New Knowledge of Sustainable Agriculture*, 6(20), pp.13-22. [In Persian].
- Robertson, M.J. and Holland, J.F., 2004. Production risk of canola in the semi-arid sub-tropics of Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(5), pp.525-538. **doi: 10.1071/AR03219**
- Roodi, D., Amiri-Oghan, H. and Alizadeh, B., 2010. Evaluation of seed yield and related components of rapeseed winter cultivars under different sowing dates in Karaj area-Iran. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 20(1), pp.143-151. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.24764310.1389.20.1.12.3**
- Shiranirad, A.H., Alizade, B., Amiri Ogan, H., Jabbari, H., Rodi, D. and Kihanian, A., 2020. Technical guidelines for rapeseed production in the country. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Seed and Plant Improvement Institute. 30p. [In Persian].
- Toriyama, K. and Hinata, K., 1984. Anther respiratory activity and chilling resistance in rice. *Plant Cell Physiology*, 25(7), pp.1215-1221. **doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076829**
- Zavare, M. and Emam, Y., 2000. An identification guide for rapeseed (*Brassica napus*. L.) developmental stages. *Iranian Journal of Crop Science*, 2(1), pp.1-14. [In Persian].

Evaluation of rapeseed cultivars in different planting dates using comparative performance analysis method in yield components and phenological stages of development

Seyed Ali Tabatabaei¹, Amin Anagholi^{2*}, Hamid Jabbari³

¹ Field and Horticultural Crops Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran

² National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

³ Oil Seed Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran

*Corresponding Author: anagholi@yahoo.com

Received: 22 November 2022 Accepted: 1 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.370984.1293

Abstract

Introduction: Climatic parameters, especially temperature, have a significant effect on increasing the yield of plants. Rapeseed has suitable agricultural characteristics such as tolerance to cold, drought and salinity stresses and it is recommended to grow it in most parts of the country due to its higher yield of oil per unit area than other oil seeds. Rapeseed is one of the plants whose performance depends on the right planting date so one of the important issues is determining the appropriate planting date for the important cultivars cultivated in each region. This experiment was conducted in order to investigation and comparison of the yield of rapeseed cultivars in different planting dates. This area has frost stress during winter and heat stress at the end of the season. These stresses affect the length of the phenological stages of development and yield components. The present study also examines the effect of planting date on these variables and by providing regression models, provides a suitable estimate of their effect on seed yield.

Materials and Methods: The experiment was carried out in split plot design in the form of randomized complete block in three replications during two crop years 2019-2020 and 2020-2021 at the central station affiliated to the Agriculture and Natural Resources Research Center of Yazd province. The main factor of planting date was placed in the main plots in three levels: the 7th of October, the 22th of October and the 6th of November and rapeseed cultivars were planted in sub-plots in eight levels including Hayola4815, Zarfam, Nafis, Nepton, Nima, SLM046, Nilofar and RGS003. To determine the yield components including the number of lateral branches, the number of pods per plant, the number of seeds per pod and 1000 seed weight, 10 plants were randomly selected from each experimental unit and the desired traits were counted and measured. The phenological stages of development were performed based on the scale of Zavareh and Imam (2000). SAS software was used to analyze the variance and determine the regression coefficients of the equations. Mean comparisons were also done based on LSD test and 5% probability level.

Results and Discussion: Based on the obtained results, the effect of planting date had a significant effect on the phenological stages and caused a decrease in the number of days until flowering, podding and ripening. The earliest maturity cultivars in this experiment were Hyola4815 and RGS-003. The effect of planting date on grain yield was significant and the highest yield was obtained with 5066.46 kg / ha on 7th October and the sowing dates of the 22th of October and the 6th of November were 11.34 and 26.66% lower than the sowing date of 7th October, respectively. Among the investigated cultivars, Heyola on the planting date of 7th Oct., Neptune on the planting date on 22th Oct., and Neptune & Nafis on the planting date of 6th Nov., had higher yields than the others and recommended for cultivation in the region.

Conclusion: The dependence of seed yield in rapeseed on the appropriate planting date is confirmed by many researchers and it varies on different weather conditions. In hot and dry areas such as Yazd, late planting causes stress at the end of the season, and early planting also causes frost during the

winter season, so it is very important to choose the appropriate planting date and early maturity varieties in such areas. According to the regression models, the change in the phenological growth stages coordinated by change in the yield components cause increase the seed yield by 500 to 750 kg/hectare, which can be done by changing the planting date and agricultural operations.

Keywords: Canola, Early maturity, Flowering, Hyola4815, Podding

بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژرم پلاسماهای داخلی و خارجی کنجد

مروارید رضائی نیا^۱، نفیسه مهدی نژاد^{۲*}، فاطمه ابراهیمی^۳، احمد آیین^۴، براتعلی فاخری^۲، عباسعلی امام جمعه^۲

۱- دانش آموخته دکتری اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۴- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.380822.1312

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

بررسی پایداری و انتخاب ارقام پرمحصول در محیط‌های مختلف یکی از اهداف مهم برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در این مطالعه ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در دو شرایط آب و هوایی مختلف شامل کرمان و جیرفت و دو رژیم رطوبتی (تنش و عدم تنش) در سال ۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات ژنوتیپ، محیط، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط خطی معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط هفت آماره پایداری شامل واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون فیئلی و ویلکینسون (ضریب رگرسیون ابرهات راسل)، واریانس انحرافات از خط رگرسیون (روش ابرهات راسل) و ضریب تبیین برای تجزیه پایداری مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس معیارهای مورد مطالعه و عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، ژنوتیپ‌های محلی جیرفت، محلی دزفول، TN78-84، SG90154-137، JL18(82)، SG90154-71 و TN78-369 و هلیل به عنوان ارقام پایدار و بهترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای پایداری، تنش خشکی، روش ابرهات و راسل، عملکرد دانه

مقدمه

ژنوتیپ زمانی به‌عنوان سازگارترین یا پایدارترین ژنوتیپ در نظر گرفته می‌شود که با دارا بودن میانگین عملکرد بالا، اثرات متقابل کم‌تری داشته باشد (Arshad et al., 2003; Dashtaki et al., 2004). تجزیه‌های آماری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط که موسوم به تجزیه پایداری و با هدف انتخاب ژنوتیپ برتر هستند، یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌های به‌نژادی به‌شمار می‌روند؛ زیرا اصلاح برای افزایش عملکرد تا حد زیادی بر انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های مورد نظر استوار است (Raffi et al., 2004; Ceccarelli et al., 2006).

روش‌های متعددی برای مطالعه پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارائه گردیده‌اند که به‌طور کلی شامل روش‌های تجزیه واریانس، تجزیه رگرسیون، چند متغیره و غیر پارامتری می‌باشند. روش‌های مبتنی بر تجزیه واریانس شامل واریانس محیطی (S_i^2)، ضریب تغییرات محیطی (C.V)، اکووالانس ریک (W_i^2) و واریانس پایداری شوکلا (σ^2_i) می‌باشند. بر مبنای واریانس محیطی، ژنوتیپی پایدار است که

از مهم‌ترین منابع تأمین انرژی، دانه‌های روغنی می‌باشند که از نظر اهمیت بعد از غلات قرار دارند. کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از این دانه‌های روغنی است که به‌عنوان یک گیاه مهم روغنی، صنعتی و دارویی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌طور وسیعی کشت می‌شود. کنجد گیاهی روزکوتاه به‌شمار می‌رود و به‌نور، گرما و تنش‌های رطوبتی حساس می‌باشد، از نظر عملکرد پایدار نبوده و دارای تغییرات گسترده‌ای در مناطق مختلف می‌باشد (Gauch, 2006).

به تغییرات در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از شرایط محیطی مختلف، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌گویند (Ceccarelli et al., 2006). ارزیابی ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به متخصصین ژنتیک و به‌نژادی کمک می‌نماید تا بتوانند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب نمایند (Abate, 2015; Akter et al., 2015). به‌طور معمول یک وارته یا

انجام گرفته است که نتایج حاکی از معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی عملکرد دانه در کنجد بودند. در بررسی پایداری عملکرد دانه ۱۶ ژنوتیپ کنجد بر اساس پارامترهای پایداری میانگین عملکرد دانه، ضرایب رگرسیون، انحراف از رگرسیون، مقادیر خط رگرسیون و مقادیر ضریب تعیین انجام گرفت، رقم Boydak برای عملکرد بالا در شرایط جغرافیایی متنوع ترکیه معرفی شد (Oz, 2018). در پژوهشی پایداری عملکرد ۳۶ توده بومی کنجد در سه منطقه به مدت دو سال زراعی انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از پارامترهای مختلف از جمله اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون و واریانس انحراف از خط رگرسیون مشخص گردید که ژنوتیپ TN78-230 دارای پایداری می باشد (Masoudi *et al.*, 2021).

هر یک از روش‌های آماری جنبه‌های مختلفی از پایداری ارقام را نشان می‌دهند و یک روش به تنهایی نمی‌تواند عملکرد یک ژنوتیپ را در محیط‌های مختلف از جنبه‌های مختلف پایداری بررسی کند (Barati *et al.*, 2020). از طرفی در میان تنش‌های غیرزنده، خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی رشد و تولید گیاهان زراعی در ایران و دنیا به حساب می‌آید. به‌طور کلی با مقایسه مقدار میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر پنجاه‌ساله کشور در مقایسه با مقدار میانگین بارندگی ۸۵۰ میلی‌متر جهانی به‌خوبی قابل‌درک است که ایران به‌طور طبیعی در دسته کشورهای کم‌بارش است و در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Sharifi Alhoseini and Taherian, 2018).

بنابراین به علت کمبود آب، تنش خشکی امروزه بخش وسیعی از مطالعات به‌نژادی را به خود اختصاص داده است. وجود خشکسالی‌های پایایی و بالا رفتن اهمیت آب می‌طلبد که ارقامی معرفی گردند که ضمن پایداری عملکرد دانه، سازگاری قابل قبولی در این مناطق برخوردار باشند.

با توجه به پراکنش این گیاه در گستره‌ای از مناطق دنیا، مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌تواند به ارزیابی موفقیت‌آمیز ارقام کنجد بیانجامد. در این راستا هدف از تحقیق حاضر شناسایی سازگارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط مناطق هدف، به منظور استفاده از آن‌ها در برنامه توسعه کشت کنجد در

عملکرد آن تغییرات کمتری در بین محیط‌ها نشان دهد و واریانس کوچک‌تری داشته باشد. برای رفع مشکل همبستگی بین شاخص‌های پایداری و عملکرد کم، شاخص ضریب تنوع (C.V) به‌عنوان معیار پایداری معرفی شد (Francis and Kannenberg, 1978).

بر اساس این معیار ژنوتیپ‌های پایداری که انتخاب می‌گردند دارای عملکرد بالایی نیز می‌باشند. روش پایداری اکووالانس نیز یکی از روش‌های پایداری بود که بر اساس این روش سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به‌عنوان یک معیار پایداری مناسب در نظر گرفته شد (Wricke, 1972)؛ بنابراین، ژنوتیپی پایدار است که کمترین مقدار این پارامتر را داشته باشد. برآورد واریانس ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بر اساس اثر باقیمانده حاصل از طبقه‌بندی دو طرفه پیشنهاد شد و واریانس پایداری نام گرفت (Shukla, 1972). با توجه به اینکه واریانس پایداری تفاوت بین دو مجموع مربعات است، لذا می‌تواند منفی باشد، ولی برآوردهای منفی (σ^2_i) را می‌توان برابر صفر در نظر گرفت. بر اساس واریانس پایداری شوکلا ژنوتیپی پایدارتر است که کم‌ترین مقدار (σ^2_i) را داشته باشد.

از روش‌های رگرسیونی می‌توان به روش فیملی و بیلکینسون، پرکینز و جینکز و روش ابرهات راسل اشاره نمود. مطابق با نظر ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966)، ژنوتیپ‌های ایده‌آل و سازگار، ژنوتیپ‌های هستند که شیب خط رگرسیون آن‌ها معادل یک، میانگین مربعات انحراف از خط رگرسیون نزدیک به صفر، میانگین عملکرد آن‌ها از میانگین کل آزمایش بیشتر باشد. در همین راستا، مشخص گردید که مطلوبیت روش رگرسیون، مستلزم ضریب تبیین بیشتر از ۷۰ درصد می‌باشد (Lin *et al.*, 1986). همچنین نظریه‌ای مطرح شد که برای سومند بودن تجزیه پایداری با استفاده از روش رگرسیون، بایستی نسبت مجموع مربعات ژنوتیپ × محیط خطی (یکنواختی ضرایب رگرسیون) به مجموع مربعات ژنوتیپ در محیط حداقل ۵۰ درصد باشد (Hayward *et al.*, 1993). بر طبق نظریه دیگری، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر روی شاخص محیطی را نیز بایستی به دقت برآورد نمود (Perkins and Jinks, 1986).

مطالعات متعددی در خصوص پایداری ژنوتیپ‌های کنجد

کشور و نیز استفاده در برنامه‌های به‌نژادی می‌باشد.

۱۳۹۸ کشت گردید. مشخصات مناطق مورد آزمایش در جدول ۲ موجود می‌باشد. ژنوتیپ‌ها در هر منطقه تحت شرایط غیر تنش و تنش خشکی به‌صورت طرح آلفا لاتیس در دو تکرار کشت شدند. قبل از اجرای طرح به‌منظور شناخت، تعیین بافت و خصوصیات شیمیایی خاک اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه گردید (جدول ۲).

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰۴ ژنوتیپ داخلی و خارجی کنجد (جدول ۱) که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان تهیه شده بود، در دو منطقه جیرفت و کرمان در سال

جدول ۱- شماره و اسامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1- Number and name of the studied genotypes

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ
Genotype NO.	Genotype name	Genotype NO.	Genotype name	Genotype NO.	Genotype name	Genotype NO.	Genotype name
1	Karaj 1	28	Punjab (85)89	55	SG90154-24	82	JL2
2	Yekta	29	TC-25	56	SG90154-27	83	JL5 (82)
3	Naz Tak Shakheh	30	J-1	57	SG90154-35	84	JL-6
4	Naz Chand Shakheh	31	Co- 1(85)	58	SG90154-39	85	JL- 14(82)
5	Yellow White	32	RT54	59	SG90154-40	86	JL- 29
6	Varamin 2822	33	TKG-21	60	SG90154-42	87	Behbahan 2 Local Cultivar
7	Darab 14	34	Hindi 1	61	SG90154-44	88	Dezful 2 Local Cultivar
8	Oltan	35	TN78-415	62	SG90154-45	89	JL- 15(82)
9	Moghan Local Cultivar	36	TN78-384	63	SG90154-48	90	Borazjan 5 (85)
10	Iranshahr Local Cultivar	37	TN78-195	64	SG90154-50	91	rt- 50 (85)
11	Varamin 37	38	Dashtestan 2	65	SG90154-51	92	JL- 28(84)
12	Hendijan Local Cultivar	39	TN78-714	66	SG90154-53	93	JL- 9(82)
13	Behbahan 1 Local Cultivar	40	Darab 1	67	SG90154-66	94	Varamin 237 (85)
14	Jiroft Local Cultivar	41	TN78-446	68	SG90154-68	95	JL- 16
15	Ahvaz Local Cultivar	42	TN78-84	69	SG90154-71	96	Hindi 14
16	Bam Local Cultivar	43	TN78-369	70	SG90154-73	97	Borazjan (2) 82
17	Kashmar Local Cultivar	44	Halil	71	SG90154-74	98	JH-23(82)
18	Kalat Local Cultivar	45	TN78-41	72	SG90154-76	99	Nashkofa
19	Dezfol Local Cultivar	46	JL18(82)	73	SG90154-79	100	Tks- 21(84)
20	Sistan Local Cultivar	47	TN78-23	74	SG90154-81	101	Karaj 632
21	Taram Local Cultivar	48	TN78-164	75	SG90154-83	102	Hindi 12
22	Zodras IS	49	TN78-390	76	SG90154-110	103	jM- 32
23	Hindi	50	TN78-229	77	SG90154-116	104	JL- 12
24	Chinese	51	TN78-572	78	SG90154-122		
25	Baku closed capsule	52	TN78-440	79	SG90154-124		
26	Iraqi 1	53	SG90154-4	80	SG90154-137		
27	Ts- 3(85)	54	SG90154-5	81	SG90154-145		

جدول ۲- خصوصیات زراعی اقلیمی و انواع خاک در محیط‌های آزمایشی

Table 2- Agro-climatic characteristics and soil types of experimental environments

کد	موقعیت	شرایط	طول	عرض	ارتفاع از	دمای سالانه	میانگین بارندگی	نوع خاک
Code	Location	Condition	جغرافیایی	جغرافیایی	سطح دریا	The annual range	سالانه	Soil Characteristics
			Longitude	Latitude	Altitude	of temperature	Mean annual precipitation (mm)	
			(E)	(N)	(m)	(C)		
محیط اول E1	جیرفت Jiroft	عادی Normal	57 44	28 40	630	-4 to 48	220.2	شنی لوم Sandy loam
محیط دوم E2	جیرفت Jiroft	تنش خشکی Drought stress	57 44	28 40	630	-4 to 48	220.2	شنی لوم Sandy loam
محیط سوم E3	کرمان Kerman	عادی Normal	56 58	30 15	2044	8 to 15	149.1	لوم رسی سیلتی Silty clay loam
محیط چهارم E4	کرمان Kerman	تنش خشکی Drought stress	56 58	30 15	2044	8 to 15	149.1	لوم رسی سیلتی Silty clay loam

آبیاری زمانی بود که $\sum ET_{act}$ به عمق تخلیه مجاز آب (D) (irrig) می‌رسید. عمق تخلیه مجاز آب به صورت رابطه شماره ۲ محاسبه شد:

$$D_{irrig} = (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times MAD \times D \quad (2)$$

جایی که θ_{FC} و θ_{PWP} به ترتیب محتوای آب حجمی خاک در ظرفیت مزرعه (%) و نقطه پژمردگی (%) هستند. MAD حداکثر تخلیه مجاز و D عمق ناحیه ریشه است. حجم آب برای هر تیمار با اختصاص یک شمارنده حجمی محاسبه شد.

در انتهای فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد دانه هر ژنوتیپ برآورد و بر اساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد. بعد از جمع‌آوری داده‌های مربوطه تمامی محیط‌های مورد آزمایش و قبل از تجزیه واریانس مرکب جهت بررسی همگنی واریانس خطاها، آزمون بارتلت انجام شد. از آزمون F در تجزیه مرکب با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات با فرض ثابت بودن اثر ژنوتیپ و تصادفی بودن اثر محیط و تکرار برای آزمایش‌ها استفاده شد. سپس از آماره‌های تک متغیره ضریب رگرسیون خطی فیملی و ویلکینسون (معادل ضریب رگرسیون خطی ابرهات راسل)، واریانس انحراف از رگرسیون، واریانس و ضریب تغییرات محیطی، ضریب تبیین، واریانس پایداری شوکلا و اکووالانس ریک برای ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها استفاده گردید. در این تحقیق از

بدور ژنوتیپ‌های مورد آزمایش پس از ضدعفونی به‌وسیله قارچ‌کش کربوکسین تیرام^۱، در عمق سه سانتی‌متر خاک به‌صورت دستی کشت گردیدند. هر تیمار شامل دو ردیف به طول یک متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. بعد از مرحله‌ی سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها به‌منظور دستیابی به تراکم مورد نظر، تنک بوته‌های اضافی در دو نوبت هنگامی که گیاهان در مرحله دو تا چهار برگی بودند، انجام گرفت. برای مبارزه با علف‌های هرز پس از مرحله سبز شدن، عملیات وجین به‌صورت دستی انجام شد.

در شرایط غیر تنش، زمانی که ۵۰ درصد آب موجود از ناحیه ریشه تخلیه شد، محصولات آبیاری شدند. محیط‌های تحت شرایط تنش خشکی زمانی آبیاری شدند که ۸۵ درصد از آب قابل دسترس از ریشه تخلیه شده بود (Allen et al., 1998). تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_o)، تبخیر- تعرق گیاه در شرایط مزرعه است و بر اساس معادله پنمن-مانتیث فائو-۵۶ اندازه‌گیری می‌شود (Allen et al., 1998). تبخیر- تعرق گیاه در حالت ظرفیت (ET_{act}) به‌صورت رابطه ۱ محاسبه شد:

$$ET_{act} = ET_o \times K_{MC} \quad (1)$$

که در آن K_{MC} ضریب گیاهی با در نظر گرفتن ۱/۲ است (Gheysari et al., 2009). زمان آبیاری برای همه شرایط

¹ Carboxin Thiram

محیطها مختلف متغیر می‌باشد. ۴۴/۳۸ درصد از کل مجموع مربعات به اثرات ژنوتیپی مربوط بود، در حالی که اثرات محیطی و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱۸/۲۸ و ۳۷/۳۴ درصد از تغییرات را بر عهده داشتند. گزارش‌هایی مطابق با نتایج حاضر برای معنی‌داری اثرات محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در عملکرد دانه کنجد ارائه شده است (Farrokhi and Ahmadi, 1997; Baraki *et al.*, 2016; Baraki and Gebremariam, 2018; Gebeyehu *et al.*, 2019; Movahedi *et al.*, 2020; Masoudi *et al.*, 2021).

نرم‌افزار SAS (۹/۴) به منظور تجزیه واریانس ساده و مرکب، جهت رسم نمودارها (XLSTAT (۲۰۱۹) و از نرم‌افزار (۲۰۱۲) S116 و Excel (۲۰۱۶) جهت تجزیه و تحلیل‌های پایداری استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه، حاکی از معنی‌دار بودن اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بود (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مشخص گردید که عملکرد ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها و

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد مورد ارزیابی شده در ۴ محیط

Table 3- Combined analysis of variance for grain yield of sesame genotypes across four environments.

منابع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of Square
محیط Environment	3	12554572.58**
تکرار (محیط) Rep (Env)	4	459435.80**
بلوک (تکرار*محیط) Blk (Env*Rep)	56	59388.39*
ژنوتیپ Genotype	103	589511.34**
ژنوتیپ * محیط Genotype*Environment	309	228370.61**
اشتباه Error	356	42243.2
ضریب تغییرات (%) CV (%)	19.04	

**، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ درصد

**، * significance at 0.01 and 0.05 of probability level

نشان می‌داد و بیان‌گر وجود شیب خط رگرسیون متفاوت برای ژنوتیپ‌ها است (جدول ۴). سهم هر ژنوتیپ و محیط به وسیله متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص محیطی توضیح داده می‌شود (Eberhart and Russell, 1966). این جدول هم‌چنین نشان داد که واریانس انحراف از رگرسیون کل نیز معنی‌دار بود و نشان داد که نقاط مربوط به عملکرد ژنوتیپ‌ها کاملاً در اطراف خط رگرسیون قرار ندارند و واکنش یک ژنوتیپ در طول تغییرات خطی با محیط ممکن است متغیر باشد.

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به روش ابرهات و راسل (Eberhart and Russell, 1966) نشان داد که واریانس محیط (خطی) معنی‌دار بود (جدول ۴) که بیان‌گر آن است که بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی رابطه خطی وجود دارد به این گونه که بهبود شرایط کشت (افزایش شاخص محیطی) منجر به افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها خواهد شد. تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بین ژنوتیپ‌ها از نظر توان تولید محصول مشهود است. میانگین مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط (خطی) معنی‌دار بود که واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شرایط محیطی را

جدول ۴- تجزیه واریانس پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کنجد به روش ابرهات و راسل

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
Source of Variation	df	SS	MS
کل	415	178472233.20	430053.57
Total			
ژنوتیپ	103	63869531.42	620092.53**
Genotype			
محیط + (ژنوتیپ × محیط)	312	114602701.78	367316.35**
ENV + (GEN × ENV)			
محیط (خطی)	1	37661660.25	37661660.25**
Environment (linear)			
ژنوتیپ × محیط (خطی)	103	30501538.68	296131.44**
Gen × Env(linear)			
انحراف از رگرسیون	208	46439502.84	223266.84**
Pooled deviation			
خطای ادغام شده	412	18364289.47	44573.51
Pooled error			

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** : Significant at 0.01 probability levels

متوسط). ژنوتیپ G61 در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها با ضریب رگرسیون بیشتر از یک ($bi=1.82$) و میانگین عملکرد ($g = 991$) کمتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها ($X=1079$)، ژنوتیپی دارای پایداری کمتر از متوسط و سازگاری خصوصی به محیط‌های مساعد تشخیص داده شد. علت این امر به خاطر پتانسیل بالای ژنوتیپ SG90154-44 (G61) در شرایط مساعد می‌باشد، در واقع این ژنوتیپ در محیط‌های با آبیاری کامل و حاصلخیزی بالا می‌تواند پتانسیل بالای عملکرد خود را بروز دهد.

مقادیر رگرسیونی پایین‌تر از یک توصیفی از مقاومت بیشتر به تغییرات محیطی می‌باشند (بالای پایداری متوسط) و بنابراین سازگاری اختصاصی به محیط‌های نامساعد افزایش می‌یابد (Fasahat et al., 2015, 2016). ژنوتیپ G46، دارای ضریب رگرسیون کمتر از یک ($bi=0.76$) و میانگین عملکرد ($g = 1923$) بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها ($X=1079$) بود، بنابراین پایداری آن بیشتر از متوسط بود، ولی به محیط‌های مساعد واکنش ضعیف نشان می‌داد. استفاده از ضریب رگرسیون جهت مقایسه نسبی پایداری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، به‌عنوان معیار مناسب معرفی می‌گردد (Lin et al., 1986).

سهم هر ژنوتیپ و محیط به‌وسیله متوسط مربعات انحرافات یا انحراف از رگرسیون میانگین ژنوتیپ‌ها بر روی شاخص

ژنوتیپ‌هایی که ضریب تغییرات پایین‌تری از خود نشان دهند، پایدار محسوب می‌شوند (Francis and Kannenberg, 1978). مقایسه پایداری ژنوتیپ‌ها با روش‌های پایداری واریانس و ضریب تغییرات محیطی نشان داد که ژنوتیپ‌های G101، G46، G19، G76، G27، G34، G98، G6، G83، G102، G57، G80، G30، G88، G32، G59 و G44 با کم‌ترین مقدار واریانس و ضریب تغییرات محیطی، بیشترین پایداری عملکرد دلنه را دارا هستند (جدول ۵). لازم به ذکر است که یکی از معایب این دو روش این است که معمولاً ارقام کم محصول که تغییرات کمتری نشان می‌دهند به‌عنوان رقم پایدار معرفی می‌گردند (Francis and Kannenberg, 1978).

در مدل پایداری ابرهات راسل، ضریب رگرسیون برابر یک همراه با انحراف از رگرسیون برابر صفر و میانگین عملکرد بالا نشان‌دهنده پایداری و سازگاری عمومی مطلوب می‌باشد (Eberhart and Russell, 1966). در مقابل زمانی که با عملکرد دانه پایین همراه باشند ژنوتیپ‌ها سازگاری ضعیفی به‌تمامی محیط‌ها دارند. در این تحقیق دامنه نوسانات ضرایب رگرسیونی از -0.81 تا 3.21 متغیر بود که بیانگر تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی می‌باشد (جدول ۵).

ضرایب رگرسیونی بیش از یک تخمین‌کننده ژنوتیپ‌هایی با حساسیت بالا به تغییرات محیطی می‌باشند (زیر پایداری

Mohammadi *et al.*,) گلرنگ (Mostafavi *et al.*, 2018)، باقلا (Sheikh *et al.*, 2021) گزارش شده است. بنابراین از ژنوتیپ‌های منتخب این آزمایش می‌توان در مطالعات تکمیلی و در نهایت برای کشت در مناطق هدف استفاده کرد. با استفاده از شش عامل میانگین عملکرد، واریانس و ضریب تغییرات محیطی، ضریب رگرسیون، واریانس انحراف از خط رگرسیون و ضریب تبیین، ژنوتیپ‌های G14، G19، G42، G80، G46، G69، G44 و G43 با میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، ضریب رگرسیون نزدیک به یک، واریانس و ضریب تغییرات محیطی پایین، واریانس انحراف از خط رگرسیون کم‌تر و ضریب تبیین بالا، از ژنوتیپ‌های پر محصول با عملکرد پایدار بودند.

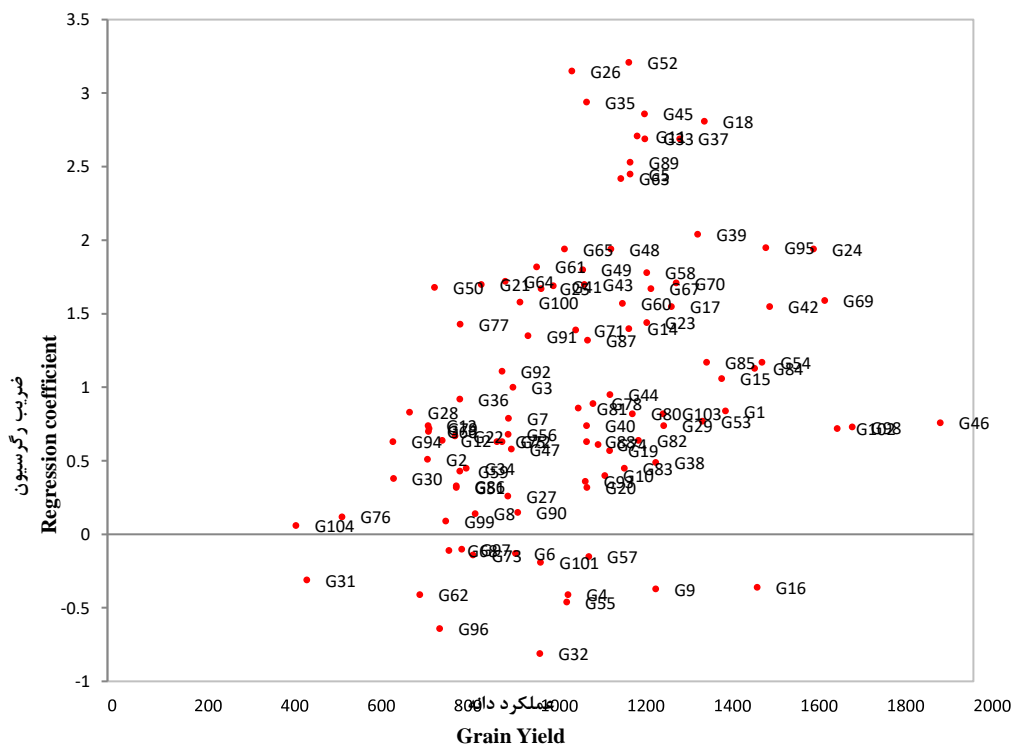
اکووالانس ریک، سهم هر ژنوتیپ در مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ \times محیط (GE) را نشان می‌دهد و مقدار پایین این آماره، بیان‌گر پایدار بودن آن ژنوتیپ است (Wricke, 1962). بر اساس روش پیشنهادی شوکلا، هرچه مقدار واریانس پایداری شوکلا کم‌تر باشد، رقم یا ارقام پایدارتر هستند (Shukla, 1972). ژنوتیپ‌های G3، G28، G80، G92، G44، G14، G19، G46، G13، G22، G12، G85، G42، G36، G34، G23، G30، G69، G66، G88، G64، G59 و G43 دارای کم‌ترین مقدار اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا می‌باشند و در نتیجه پایدارترین ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شوند و از طرفی این ژنوتیپ‌ها به‌جز G3، G12، G13، G22، G28، G30، G34، G36، G59، G64، G66 و G92 دارای عملکردی بالاتر از میانگین هستند که می‌توان گفت نسبت به محیط‌های مختلف سازگاری عمومی دارند و برای اکثر مناطق توصیه می‌شوند (جدول ۵). ژنوتیپ‌های G9، G26، G39، G52، G55، G35، G71، G16، G45، G48 و G18 با بالاترین مقدار اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی ناپایدارتر بودند. نتایج حاصل از بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها بر پایه واریانس برهمکنش شوکلا و اکووالانس ریک کاملاً یکسان بوده و بیان‌گر تشابه این دو پارامتر در تعیین ژنوتیپ‌های پایدار می‌باشد. همان‌طور که در تحقیقات دیگر مشابه بودن نتایج دو آماره اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا بیان گردید، مشابه بودن آماره‌های درون یک گروه مورد انتظار می‌بود (Lin *et al.*, 1986; Karimizadeh *et al.*, 2006). مطالعه‌ای که در جهت برآورد پارامترهای پایداری برای

محیطی توضیح داده می‌شود. بر اساس روش واریانس انحراف از خط رگرسیون، هرچه مقدار واریانس انحراف نزدیک به صفر یا حداقل باشد ژنوتیپ‌ها پایدارتر هستند. ژنوتیپ‌های G39، G71، G9، G93، G70، G55، G48، G29، G54، G1، G16 و G15 بالاترین انحراف از خط رگرسیون را داشتند که حاکی از ناپایدار بودن عملکرد آن‌ها در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بود (جدول ۵). ژنوتیپ‌های G14، G19، G42، G32، G65، G64، G101، G28، G34، G76، G80، G30، G3، G92، G58، G46، G69، G44، G13، G43، G12، G22، G21 و G31 کمترین انحراف از خط رگرسیون را دارا بودند که بیانگر پایداری عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها می‌باشد (طبق پارامتر انحراف از خط رگرسیون). در بررسی پایداری عملکرد دانه ۳۶ ژنوتیپ کنجد، ژنوتیپ شماره ۱۰ (توده بومی از منطقه حاجی آباد هرمزگان) با ضریب رگرسیون معادل یک، کم‌ترین واریانس انحراف از خط رگرسیون و میانگین عملکرد مطلوب به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار گرفت و می‌توان از پتانسیل آن در برنامه‌های اصلاحی آتی استفاده نمود (Masoudi *et al.*, 2020). در بررسی پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا به روش ابره‌ارت و راسل، ژنوتیپ‌های SW103، HW101، Karaj1، SW101، L183 و Karaj2 با داشتن میانگین عملکرد بیشتر، ضریب رگرسیون معادل یک و واریانس انحراف از خط رگرسیون غیرمعنی دار، به‌عنوان لاین‌های پر محصول و پایدار معرفی شدند (Jafari *et al.*, 2015).

میزان ضریب تبیین در دامنه ۰/۰۱ در ژنوتیپ‌های G8، G68، G73، G90، G97، G99 و G104 تا یک در ژنوتیپ‌های G14 و G42 قرار داشت که در آن میانگین عملکرد دانه با واکنش ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها بیان می‌شود (جدول ۵)؛ بنابراین از نظر این شاخص، ژنوتیپ G14، G42، G19، G65، G64، G58، G37، G43، G69، G32، G21، G11، G28، G52، G92، G3، G33، G23، G25، G80، G24، G26 و G45 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ‌های G8، G68، G73، G90، G97، G99، G104، G93، G57 و G9 کم‌ترین پایداری عملکرد را در محیط‌های آزمایشی داشتند. مفید بودن این معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های پایدار کنجد (Daba *et al.*, 2014; Mekonnen *et al.*, 2015; Raikwar, 2016;

عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا می‌باشند (Daba *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای روی تعدادی از لاین‌های گلرنگ اثر معنی‌دار ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط خطی را مشاهده شد و لاین LRV.51.51 به‌عنوان یک ژنوتیپ پایدار معرفی گردید (Sharrifmoghaddasi and Omiditabrizi, 2010). در بررسی که به‌منظور پایداری عملکرد شکر در هیبریدهای چغندرند انجام گرفت مشخص شد که بر اساس روش ضریب رگرسیونی، انحراف از رگرسیون، واریانس برهمکنش شوکلا، اکووالانس ریک، واریانس درون مکانی، ضریب تغییرات، روش ضریب تبیین و رگرسیون تای، ژنوتیپ G2 مناسب‌ترین ژنوتیپ از نظر پایداری عملکرد شکر است (Fasahat *et al.*, 2020). تحقیق دیگری که جهت تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ با توجه به ۷ آماره پایداری شامل واریانس محیطی، ضریب تغییرات محیطی، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا، ضریب رگرسیون فینلی و ویلکینسون و انحراف معیار انحراف از خط رگرسیون انجام پذیرفت. ژنوتیپ‌های ۳ (PI251268) به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار برای مناطق مورد مطالعه معرفی شدند (Mohammadi *et al.*, 2015).

انتخاب ارقام برتر انجام گرفت، گزارش شد روش ریک و شوکلا برای معرفی ارقام پایدار و پر محصول به‌عنوان معیارهای پایداری مخصوصاً در شرایط دیم مناسب‌تر می‌باشند (Roostaei *et al.*, 2014). به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا با استفاده از ضریب رگرسیون، موقعیت ژنوتیپ‌ها برحسب میانگین عملکرد دانه (محور افقی) و ضریب رگرسیون خطی (محور عمودی) در محورهای دوبعدی ترسیم گردید (شکل ۱). با توجه به شکل ۱، ژنوتیپ‌هایی که روی خط $b=1$ قرار گرفته‌اند بالاترین سازگاری عمومی را دارند؛ بنابراین ژنوتیپ‌های G85, G84, G1, G103, G80, G15, G44, G78, G81, G3 و G54 به‌خاطر داشتن عملکرد بالاتر از متوسط کل و ضریب رگرسیون معادل یک مورد توجه قرار گرفتند و می‌توان گفت سازگاری عمومی مطلوبی دارند. تحقیقات مشابهی در مورد بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه با استفاده از روش‌های مختلف پایداری تک متغیره در گیاهان صورت گرفته و منجر به شناسایی و معرفی ارقام جدید شده است. در این راستا، با بررسی ۱۰ ژنوتیپ کنگد در چهار منطقه اتیوپی به مدت دو سال با استفاده از پارامترهای پایداری مشخص گردید که ژنوتیپ‌های EW002 و BG006 پایدارترین و بهترین



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های کنگد برحسب عملکرد دانه و ضریب رگرسیون

Figure 1- Sesame genotypes distribution based on grain yield and coefficient of regression

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری اندازه‌گیری شده برای ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد در ۴ محیط

Table 5- Mean grain yield and stability parameters estimated for 104 sesame genotypes across four environments

شماره ژنوتیپ Genotype No.	میانگین Mean	واریانس محیطی (S_i^2)	ضریب تغییرات محیطی (CV)	اکووالانس ریک (Wi^2)	واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2)	ضریب رگرسیون (b_i)	ضریب تبیین (R^2)	واریانس انحراف از خط رگرسیون (Sd_i^2)
G1	1427	236076.6	34.05	585309.90	197667.72	0.84	0.18	268034.1
G2	739	62975.0	33.94	185909.78	61951.55	0.51	0.25	48782.49
G3	936	66659.5	27.58	19931.97	5552.29	1.00	0.90	-12321.5
G4	1063	110405.7	31.25	661825.51	223667.72	-0.41	0.09	127883.2
G5	1207	511090.7	59.25	827184.22	279856.61	2.45	0.71	201009.5
G6	942	23435.5	16.24	299070.91	100403.71	-0.13	0.04	11295.78
G7	926	169332.4	44.42	404278.49	136153.24	0.79	0.22	175722.4
G8	849	93125.2	35.96	409166.17	137814.08	0.14	0.01	115586
G9	1266	256211.1	39.98	1084590.67	367323.32	-0.37	0.03	349468.4
G10	1148	165596.4	35.45	531969.33	179542.59	0.40	0.06	211415.2
G11	1223	478564.3	56.58	636364.53	215016.08	2.71	0.92	32007.2
G12	773	35084.2	24.23	54528.13	17308.07	0.64	0.70	-6751.06
G13	740	43280.7	28.13	41379.65	12840.22	0.74	0.77	-7516.98
G14	1204	117889.4	28.53	28785.37	8560.68	1.40	1.00	-22173
G15	1418	245142.7	34.91	531414.02	179353.89	1.06	0.28	243056.7
G16	1500	190005.6	29.06	880760.80	298061.93	-0.36	0.04	251112.2
G17	1302	241050.7	37.70	342738.77	115242.05	1.55	0.60	121648.2
G18	1378	555455.1	54.08	829245.68	280557.09	2.81	0.86	95201.73
G19	1159	19605.0	12.08	34478.45	10495.19	0.57	0.99	-22005.5
G20	1107	83824.3	26.15	317551.62	106683.45	0.32	0.07	94321.83
G21	863	187878.9	50.21	127448.94	42086.56	1.70	0.93	-3495.72
G22	802	38288.1	24.38	52707.69	16689.48	0.67	0.71	-5694.13
G23	1245	141173.3	30.19	81399.95	26439.11	1.44	0.89	506.382
G24	1630	261901.5	31.39	264181.30	88548.22	1.94	0.87	29783.7
G25	1001	189935.5	43.54	147410.37	48869.45	1.67	0.88	11211.7
G26	1072	689735.8	77.46	1110320.98	376066.48	3.15	0.87	115204.2
G27	924	19525.6	15.12	147134.56	48775.73	0.26	0.20	1093.736
G28	697	45734.8	30.68	16538.76	4399.28	0.83	0.92	-16535.9
G29	1284	245376.1	38.58	647505.00	218801.61	0.74	0.14	295566.2
G30	660	14395.0	18.17	85081.34	27690.05	0.38	0.62	-14065.2
G31	460	18510.3	29.61	349421.41	117512.81	-0.31	0.32	-3309.11
G32	998	42294.5	20.60	602566.41	203531.48	-0.81	0.94	-18767.5
G33	1241	487457.4	56.28	667509.96	225599.29	2.69	0.90	51378.74
G34	828	16608.7	15.56	68234.10	21965.36	0.45	0.73	-15638.9
G35	1106	622879.2	71.35	986415.58	333963.42	2.94	0.84	131527.5
G36	813	71573.3	32.92	60989.85	19503.76	0.92	0.72	7692.307
G37	1321	461651.3	51.42	591570.19	199794.96	2.69	0.95	14660.3
G38	1266	115065.0	26.79	347121.11	116731.16	0.49	0.13	128156.5
G39	1363	565247.0	55.17	1139376.79	385939.65	2.04	0.44	450165.4
G40	1106	152188.3	35.26	370057.91	124525.09	0.74	0.22	156569.5
G41	1029	255258.2	49.10	333604.29	112138.15	1.69	0.68	100985.9
G42	1529	145601.2	24.95	56767.11	18068.87	1.55	1.00	-21234.1
G43	1101	185063.1	39.08	119742.58	39467.94	1.70	0.95	-7088.34
G44	1160	63967.3	21.80	28012.95	8298.21	0.95	0.86	-8483.96
G45	1240	569312.9	60.83	853445.63	288780.24	2.86	0.87	91355.95
G46	1923	43359.6	10.83	34829.22	10614.38	0.76	0.81	-9956.22
G47	932	75899.1	29.55	198170.22	66117.65	0.58	0.27	60945.02
G48	1162	452687.3	57.92	835682.45	282744.31	1.94	0.50	315131.3
G49	1097	240901.4	44.74	251706.27	84309.20	1.80	0.81	45534.48
G50	755	268587.4	68.61	376990.80	126880.89	1.68	0.64	123849.7

ادامه جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و پارامترهای پایداری اندازه‌گیری شده برای ۱۰۴ ژنوتیپ کنجد در ۴ محیط

114074.7	0.06	0.32	119659.01	355737.48	38.72	97200.1	805	G51
73211.72	0.91	3.21	365412.94	1078968.59	68.88	687328.3	1204	G52
177391	0.21	0.77	137723.17	408898.63	29.91	168942.4	1374	G53
292033.7	0.28	1.17	214108.81	633694.52	35.75	291753.2	1511	G54
317094.1	0.05	-0.46	359922.57	1062810.95	46.10	238825.0	1060	G55
180684.6	0.17	0.68	143092.08	424698.84	43.66	163070.9	925	G56
31941.02	0.03	-0.15	116433.96	346246.47	17.41	37438.2	1111	G57
-10410	0.96	1.78	44574.62	134771.08	35.91	199798.7	1245	G58
7775.093	0.35	0.43	39451.84	119695.20	21.66	31015.4	813	G59
30492.41	0.81	1.57	54973.21	165373.15	36.18	184859.1	1189	G60
152789.1	0.63	1.82	159117.39	471859.86	56.78	316608.0	991	G61
21434.77	0.26	-0.41	151145.34	448398.84	27.52	39388.5	721	G62
84104.31	0.83	2.42	195660.63	579403.23	55.02	425255.0	1185	G63
-18155.5	0.98	1.72	33749.52	102913.80	46.45	181934.9	918	G64
-18749.8	0.99	1.94	55224.68	166113.20	45.34	228856.6	1055	G65
17911.76	0.53	0.70	31503.93	96305.25	32.13	56677.2	741	G66
66290.6	0.74	1.67	86650.74	258597.21	38.00	227510.9	1255	G67
110925.4	0.01	-0.11	164793.98	488565.54	37.95	89507.3	788	G68
-9887.02	0.95	1.59	28617.38	87810.37	24.21	160834.3	1656	G69
321332.9	0.43	1.71	263125.05	777944.79	48.48	405106.7	1313	G70
432393.8	0.28	1.39	317135.22	936891.72	59.92	419721.3	1081	G71
222932.7	0.13	0.63	173667.29	514678.86	47.58	187748.5	911	G72
111742.5	0.01	-0.14	169149.10	501382.24	35.63	90455.6	844	G73
40386.54	0.35	0.61	50720.86	152858.89	22.38	64254.9	1133	G74
196155.7	0.14	0.63	155760.74	461981.56	45.78	169409.0	899	G75
-15262.5	0.15	0.12	51446.08	154993.14	13.72	5519.2	541	G76
114030.7	0.57	1.43	102579.44	305473.89	56.76	213586.7	814	G77
100654.7	0.37	0.89	83063.15	248039.26	32.16	129862.0	1121	G78
136881	0.23	0.72	111631.44	332113.08	50.05	137762.0	742	G79
-14075.4	0.88	0.82	6384.11	22379.93	17.67	45920.1	1212	G80
86199.52	0.38	0.86	73678.68	220421.63	31.48	117169.0	1087	G81
196369.7	0.15	0.64	155183.24	460282.00	33.70	170789.5	1226	G82
20834.43	0.30	0.45	46561.47	140618.18	16.99	41078.0	1193	G83
70608.7	0.55	1.13	62956.05	188865.93	24.96	139041.3	1494	G84
3164.519	0.83	1.17	17834.70	56077.96	22.80	99455.8	1383	G85
74109.03	0.09	0.33	92207.21	274949.37	33.01	70693.7	805	G86
110135.2	0.55	1.32	95222.84	283824.09	39.75	194045.4	1108	G87
14704.98	0.50	0.63	32145.42	98193.09	20.00	48947.4	1106	G88
90427.88	0.84	2.53	219391.03	649239.60	56.29	461445.3	1207	G89
144020.1	0.01	0.15	155802.36	462104.03	35.39	112308.8	947	G90
43258.64	0.71	1.35	50744.93	152929.72	40.34	153253.8	971	G91
-11424.4	0.91	1.11	6912.95	23936.25	31.37	81674.8	911	G92
324654.4	0.03	0.36	259445.49	767116.19	44.35	239292.1	1103	G93
70856.81	0.28	0.63	70467.04	210970.06	44.53	86110.4	659	G94
84252.35	0.76	1.95	126507.72	375892.62	36.05	300117.9	1520	G95
72202.28	0.28	-0.64	228631.58	676433.68	38.61	87774.2	767	G96
45034.26	0.01	-0.10	118989.83	353768.14	26.08	45485.3	818	G97
38621.68	0.44	0.73	44590.53	134817.89	15.70	72948.9	1720	G98
57863.79	0.01	0.09	103897.45	309352.68	29.74	53952.4	781	G99
14220.87	0.86	1.58	44242.66	133794.15	43.92	174889.7	952	G100
-16779.7	0.38	-0.19	90244.50	269173.30	7.71	5944.3	1000	G101
58783.69	0.37	0.72	58607.41	176068.27	17.36	85566.5	1685	G102
130552.5	0.28	0.82	104728.59	311798.64	29.37	142095.7	1283	G103
18430.52	0.01	0.06	80965.50	241866.05	38.01	27352.8	435	G104
450165.4	1	3.21	385939.7	1139377	77.46	689735.8	1923	حداکثر
-22173	0.01	-0.81	4399.28	16538.76	7.71	5519.2	435	حداقل

نتیجه گیری کلی

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها حاکی از اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بود که بیانگر واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و از این‌رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. بر اساس پارامترهای اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایین‌تر، ضریب رگرسیون معادل یک، کمترین واریانس لحنراف از خط رگرسیون، ضریب تبیین بالا و کم‌ترین میزان واریانس و ضریب تغییرات محیطی به همراه عملکرد بیش‌تر از میانگین کل، ارقام محلی جیرفت، محلی دزفول، TN78-84، SG90154-137، JL18(82)، SG90154-71 و TN78-369 و هلیل به‌عنوان ارقام پایدار انتخاب گردیدند. برخی از این ژنوتیپ‌ها، توده‌های بومی بوده و نوسانات کم‌تری را در محیط‌های مورد آزمون نشان دادند و از نظر میانگین عملکرد نیز در جایگاه مناسبی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار دارند و می‌توان از پتانسیل آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی آتی بهره برد. همچنین پیشنهاد می‌گردد جهت بدست آوردن اطلاعات جامع‌تر و کامل‌تر در زمینه پایداری ژنوتیپ‌ها، آزمایشات در سال‌ها و مکان‌های مختلف

انجام شود و در صورت ایجاد شرایط تنش‌های مختلف دیگری نتایج مطلوب‌تری با صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها هم‌چون مطالعه حال حاضر بدست خواهد آمد.

سپاس‌گزاری

از بنیاد ملی علوم ایران (INSF) به جهت تأمین هزینه‌های اجرایی تحقیق در قالب پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۴۰۰۰۸۷۷ تشکر و قدردانی می‌گردد. هم‌چنین، این تحقیق توسط کمک‌هزینه پژوهشی (UOZ-GR-3014) دانشگاه زابل حمایت شده است. نویسنده اول از مدیر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان و کارشناسان مراکز تحقیقاتی محل اجرای پروژه که در اجرای این پژوهش با مجری همکاری و مساعدت لازم را مبذول داشته‌اند، سپاس‌گزاری می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

- Abate, M., 2015. Genotype × Environment analysis for seed yield and its components in sesame (*Sesamum indicum* L.) evaluated across diverse agroecology's of the awash valleys in Ethiopia. *Journal of Advanced Studies in Agricultural, Biological and Environmental Sciences (JABE)*, 2, pp.14.
- Akter, A., Hasan, M.J., Kulsum, M.U., Rahman, M.H., Paul, A.K., Lipi, L.F. and Akter, S., 2015. Genotype × environment interaction and yield stability analysis in hybrid rice (*Oryza sativa* L.) by AMMI biplot. *Bangladesh Rice Journal*, 19, pp.83-90. doi: 10.3329/brj.v19i2.28168
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *Fao, Rome*, 300-309.
- Arshad, M., Bakhsh, A., Haggani, A.M. and Bashier, M., 2003. Genotype x Environment Interaction for grain yield in chick pea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 35(22), pp.181-186.
- Baraki, F. and Gebremariam, G., 2018. Genotype × environment Interaction and Stability of Oil Content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes in Northern Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Genetics*, 6, pp.57-65. doi: 10.5897/jco2018.0183
- Baraki, F., Tsehaye, Y. and Abay, F., 2016. Analysis of genotype x environment interaction and seed yield stability of sesame in Northern Ethiopia. *Journal Plant Breeding and Crop Science*, 8(11), pp.240-249. doi: 10.5897/jpbcs2016.0568

- Barati, A., Lakzadeh, I., Jabbari, M., Poudineh, O., Alt, J.J., Khanzadeh, G.A.H. and Kheirgoo, M., 2020. Selection of barley genotypes for warm regions of Iran using stability statistics and AMMI analysis. *Seed and Plant Journal*, 36(2), pp.223-240. [In Persian]. doi: **10.22092/sppi.2020.123206**
- Ceccarelli, S., Grando, S. and Booth, R.H., 2006. International Breeding program and resource-poor farmers. *Crop Improvement in Difficult Environments*, 4, pp.26-29.
- Daba, C., Ayana, A., Zeleke, H. and Wakjira, A., 2014. Association of stability parameters and yield stability of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Western Ethiopia. *East African Journal Science*, 8(2), pp.125-134.
- Dashtaki, M., Yazdan Sepas, A., Najafi Mirak, T., Ghanadha, M.R., Jokar, R., Eslampour, M., Moaiedi, A., Kochaki, A., Nazeri, M., Abedi Oskoie, M. and Aminzadeh, Gh., 2004. Stability of grain yield and harvest index in winter and facultative bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal*, 20, pp.263-279. [In Persian].
- Eberhart, S.A. and Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, pp.36-40.
- Farrokhi, A. and Ahmadi, M.R., 1998. Comparison of different of stability parameters on sesame varieties of north of Iran. *Iranian Journal Agriculture Science*, 29(2), pp.275-283. [In Persian].
- Fasahat, P., Khayamim, S., Soltani Idliki, J., Darabi, S., Pedram, A., Hasani, M., Jalilian, A. and Babaei, B., 2020. Stability analysis of genotype \times environment interaction effect on sugar yield in sugar beet hybrids. *Journal of Crop Breeding*, 32(11), pp.33-40. [In Persian]. doi: **I:10.29252/jcb.11.32.33**
- Fasahat, P., Rajabi, A., Rad, J.M. and Derera, J., 2016. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 4(1), pp.1-24. doi: **10.15406/bbij.2016.04.00085**
- Fasahat, P., Rajabi, A., Mahmoudi, S.B., Noghabi, M.A. and Rad, J.M., 2015. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 2(5), pp.1-11. doi: **10.15406/bbij.2015.02.00043**
- Francis, T.R. and Kannenberg, L.W., 1978. Yield stability studies in short-season maize. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, pp.1029-1034.
- Gauch, H.G., 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46(4), pp.1488-1500.
- Gebeyehu, C., Bulti, T., Dagnachew, L. and Kebede, D., 2019. Additive Main Effect and Multiplicative Interactions (AMMI) and Regression Analysis in Sorghum Varieties. *Journal Applied Bioscience*, 136, pp.13868-13877. doi: **10.4314/jab.v136i1.4**
- Gheysari, M., Mirlatifi, S.M. and Homaei, M., 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management*, 96, pp.946-954.
- Hayward, A.D., Bosemark, N.O. and Romagosa, I., 1993. Plant Breeding. *Chapman and Hall*, U.K. 576 pp.
- Jafari, M., Zakarya, R.A., Alizadeh, B., Sofalyan, O. and Zare, N., 2015. Study of seed yield stability in winter rapeseed (*Brassica napus*) genotypes using Eberhart and Russell's method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(4), pp.220-231. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2014.53568**
- Karimizadeh, R., Dehghani, H. and Dehghanpour, Z., 2006. Using cluster analysis for stability of maize hybrids. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 10(3), pp.337-348. [In Persian].

- Lin, C.S., Binns, M.R. and Lefkovitch, L.P., 1986. Stability analysis where do we stand. *Crop Science*, 26, pp.894-899.
- Masoudi, B., Abbasali, M., Aien, A. and Saif Amiri, S., 2021. Evaluation of sesame yield stability using statistical parameters and GGE biplot graphical methods. *Crop Production*, 3(13), pp.71-84. doi: **10.22069/ejcp.2021.17753.2306**
- Mekonnen, M., Mekbib, F. and Wakjira, A., 2015. Genotype \times environment interaction on sesame (*Sesamum indicum* L.) seed yield. *African Journal of Agricultural Research*, 10, pp.2226-2239.
- Mohammadi, M., Sharifi, P. and Karimizadeh, R.A., 2015. Stability analysis of seed yield of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crop Breeding*, 16(7), pp.323-335.
- Mostafavi, M.J., Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A.R., 2018. Regression and path analysis of the relationship between seed yield and the most important yield components of sesame. *Plant Products Technology*, 18(2), pp.145-156. [In Persian].
- Movahedi, H., Mostafavi, K., Shams, M. and Golparvar, A.R., 2020. AMMI analysis of genotype \times environment interaction on grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Iran. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 34, pp.1013-1018. doi: **10.1080/13102818.2020.1816216**
- Oz, M., 2018. Yield and stability analysis of some sesame (*Sesamum indicum*) genotypes in Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(4), pp.821-825. doi: **10.17957/ijab/15.0569**
- Perkins, J.M. and Jinks, J.L., 1968. Environment and genotype-environment components of variability. *Heredity*, 23, pp.339-356.
- Raffi, S.A., Newaz, M.A. and Khan, N., 2004. Stability analysis for pod and seed production in dry bean. *Asian Journal of Plant Science*, 3, pp.239-242.
- Raikwar, R.S., 2016. Stability for grain yield and its contributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 7, pp.1033-1039.
- Roostaei, M., Mohammadi, R. and Amri, A., 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. *The Crop Journal*, 2, pp.154-163. doi: **10.1016/j.cj.2014.02.002**
- Sharifi-Alhosseini, M. and Taherian, M., 2018. Identification of drought tolerant barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using drought tolerance indices. *Applied Field Crops Research*, 31(4), pp.90-105. [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2019.121794.1293**
- Sharrifmoghaddasi, M. and Omidtabrizi, A.H., 2010. Stability analysis of seven Iranian winter safflower cultivars. *World Applied Sciences Journal*, 8, pp.1366-1369.
- Sheikh, F., Sharifi, P., Asteraki, H., Miri, K. and Sekhavat, R., 2021. Evaluation stability of seed yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by parametric and non-parametric methods. *Journal of Crop Production*, 14(3), pp.125-144. doi: **10.22069/ejcp.2022.18908.2411**
- Shukla, G.H., 1972. Some statistical aspects for partitioning genotype-environment component of variability. *Heredity*, 29, pp.237-245.
- Wricke, C., 1962. Uber eine method Zur Er fassung der Ologischen sterubreite in feld versuchen. *Pflanzuecht*, 47, pp.92-96.

Investigation of compatibility of internal and external sesame germplasm

Morvarid Rezaei Nia¹, Nafiseh Mahdi Nezhad^{2*}, Fatemeh Ebrahimi³, Ahmad Aien⁴, Barat Ali Fakheri², Abbasali Emamjomeh²

¹ Ph.D Graduate in Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

³ Research & Technology Institute of Plant Production, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

⁴ South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran

*Corresponding Author: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

Received: 12 January 2023

Accepted: 11 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.380822.1312

Abstract

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an important oilseed crop belonging to the Pedaliaceae family with high quality yield, which can be said to have originated in some developing countries in the world due to the need for labor, and high rural harvest. Sesame is an edible plant that contains odorless oil. In addition, it is also a good source of protein and fat for humans and pets.

Crops are grown underwater in dry and semi-arid regions where water pressure is great. Furthermore, it is sensitive to the dry season, mainly in the vegetative stage in all growing districts, and its production potential is low in semi-arid areas due to water stress. Since much of Iran's land is located in arid and semi-arid areas, this has led breeders to enhance water or drought tolerance traits, which is one of the main goals of the program crop improvement. However, genotype \times environment interaction poses a major challenge in studying quantitative traits because it reduces yield stability across different environments and also complicates the interpretation of genetic experiments, and makes prediction difficult. A stable genotype has performance that remains constant or little changed regardless of any changes in environmental conditions. Several stability analyzes have been proposed to determine the linear relationship between genotype and environment performance. Among these, Eberhart and Russell (1966) proposed a method in which the environmental index is the average performance of all inputs in an environment. Therefore, further research into sesame's genetic differences and breeding is needed to progress and stabilize its yield under different environments. These findings may be applicable in detecting how sesame genetic resources may be used to develop novel cultivars suited to dry settings or enhance remaining cultivars.

Materials and Methods: In this regard to analyze genotype \times environment interaction and determine the grain yield stability of 104 sesame genotypes in the tropics and subtropical climates of Iran, an alpha lattice design with two replications during 2019 in two stations, including Kerman and Jiroft were evaluated under two conditions, normal irrigation, and drought stress at the end of the season (irrigation interruption in 50% of flowering). Then, the univariate statistics of regression coefficient (bi), mean squares of deviation from regression (Sdi²), Shukla's stability variance (σ_i^2), Wricke's ecovalence (Wi²), Environmental variance (Si²), determination coefficient values (R²) and coefficient of variability (C.V) were used to evaluate the stability of the grain yield of genotypes.

Results and Discussion: Combined analysis of variance showed that the effects of genotype, environment \times genotype and genotype \times environment linear on grain yield were significant, suggesting that genotypes differ in response to changes in environment. In order to study the interactions of genotype \times environment more precisely and to determine genotypes with stable and high yields, different stability parameters were calculated for each genotype. Calculating stability parameters showed that genotypes G14, G19, G42, G80, G46, G69, G44, and G43 were recognized as genotypes with stable yield and suitable adaptation, respectively.

Conclusion: Different parametric and non-parametric stabilization procedures can be proposed to select drought-tolerant genotypes under different environmental conditions; these procedures can be used to identify the best genotypes under drought conditions. Therefore, yield stability analysis can

be used in combination with parametric and non-parametric methods to evaluate and identify drought-tolerant genotypes. In this research, the studied genotypes indicated various environmental responses and proved a high genetic ability to adapt to water-deficient stress conditions. According to the findings of this research, the genotypes Jiroft local cultivar, Dezful local cultivar, TN78-84, SG90154-137, JL18 (82), SG90154-71, TN78-369, and, Halil had the best at adapting to environments with water stress. Therefore, according to the above analysis results, these genotypes can be introduced to low-water areas of Iran.

Keywords: Eberhart and Russel method, Drought stress, Grain yield, Stability parameters

ارزیابی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و انبارمانی خربزه دیررس (*Cucumis melon L.*) تحت آبیاری با آب شور

سودابه عین افشار^{۱*}، سید فاضل فاضلی کاخکی^۱، جواد باغانی^۱، شهرام ریاحی نیا^۲

۱- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، مشهد، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: soodabeheyn@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.407488.1360

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

چکیده

تأثیر آبیاری با آب شور بر صفات کمی خربزه دیررس سبزواری تازه و انبارشده و نیز محتوای سدیم و پتاسیم در زیست توده گیاه، با آزمایشی در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مقابل تیمار شاهد، بررسی شد. تیمارهای آبیاری: T₁: شاهد (آب غیرشور ۰/۶ dS.m⁻¹)، T₂: شوری ۳ dS.m⁻¹، T₃: شوری ۶ dS.m⁻¹، T₄: شوری ۳ dS.m⁻¹ از ۴۰ روز بعد از جوانه‌زنی تا برداشت، T₅: شوری ۳ dS.m⁻¹ از ۲۰ روز بعد از جوانه‌زنی تا برداشت، T₆: شوری ۶ dS.m⁻¹ از ۴۰ روز بعد از جوانه‌زنی تا برداشت، T₇: شوری ۳ dS.m⁻¹ از ۲۰ روز بعد از جوانه‌زنی تا برداشت بودند. نتایج نشان‌دادند تیمار T₃ سبب افزایش سدیم برگ، ساقه و ریشه به ترتیب ۵۲، ۱۴۰ و ۴۷ درصد شد. افزایش شوری، محتوای پتاسیم و سدیم اندام‌های گیاه را تغییر داد به طوری که بیشترین کاهش در اثر اعمال تیمار T₃ در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب ۴۰/۲۸، ۶۵/۳۲ و ۲۷/۶۸ درصد بود. در کلیه تیمارها مقدار پتاسیم ساقه و ریشه به ترتیب ۲/۶۵ و ۲/۰۱ درصد افزایش یافتند. T₆ کمترین وزن گوشت به کل میوه و T₅ بیشترین بریکس بخش‌های مختلف میوه را داشت. بیشترین تعداد خربزه (۹۵۵۲ عدد) و عملکرد کل (۱۹/۲۲T/hr) از T₁ حاصل شد. نگهداری در سردخانه موجب کاهش سفتی متوسط بافت میوه تا ۲۱ درصد و افزایش میانگین بریکس تا ۴/۳ درصد شد. آبیاری با شور ۳ dS.m⁻¹ سبب بهبود برخی صفات در مراحل ابتدایی شد که با افزایش شوری صفات عملکردی کاهش یافت در این شرایط طی انبارمانی سفتی میوه کاهش و بریکس آن افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بریکس، سفتی بافت میوه، نسبت پتاسیم به سدیم، نگهداری میوه

مقدمه

خود را نشان خواهد داد. از طرفی افزایش روز افزون جمعیت و نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی، توسعه صنایع، افزایش سطح زیر کشت و بالاخره کاهش نزولات آسمانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، استفاده از آب‌های شور در کشاورزی را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. وجود املاح زیاد در خاک یا آب آبیاری می‌تواند گیاه را با تنش شوری مواجه سازد. این املاح در درجه اول به وجود کاتیون سدیم و آنیون کلر و در مرحله بعد، به نمک‌های بی‌کربنات‌ها، سولفات‌ها، کلسیم، منیزیم، بر و به ندرت نیترات‌ها می‌باشند. وجود این ترکیبات به دو صورت باعث بروز خسارت در گیاهان می‌شود. تجمع بیش از حد نمک در محلول خاک، فشار اسمزی محلول خاک را افزایش داده و گیاه در جذب آب با مشکل مواجه شده و دچار نوعی خشکی فیزیولوژیکی یا تنش اسمزی می‌شود. از سوی دیگر به دلیل وجود یون‌های سمی در محلول خاک، گیاه با سمیت این گونه یون‌ها نیز مواجه می‌گردد (Munns and tester, 2008).

ایران از لحاظ آب و هوایی در منطقه کم باران جهان و جزء کشورهای خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید (Rostami et al., 2022). در حال حاضر منابع آب تجدید پذیر، به واسطه بروز تغییرات اقلیمی کاهش چشم‌گیری یافته است. بر طبق برآوردهای اولیه، حدود ۱۷ درصد از منابع آب تجدید پذیر کشور را منابع آب‌های شور و لب‌شور تشکیل می‌دهد، ضمن اینکه دریاچه‌های آب‌شور داخلی و آب‌های شور شمال و جنوب کشور نیز قابلیت‌های آبی آینده کشور محسوب می‌شوند. از سوی دیگر منابع آب شیرین نیز به تدریج در اثر گردش در چرخه مصرف، کیفیت خود را از دست داده و شوری آن‌ها افزایش می‌یابد، به‌ویژه این پدیده در آب‌های زهکشی شده از اراضی حاوی خاک‌های شور با شدت بیشتری صورت می‌گیرد (Shafiee et al., 2019). در نتیجه محدودیت منابع آب شیرین یک محدودیت مهم در رشد و نمو گیاه بوده که در آینده نیز بیشتر

نشان داد که با افزایش شوری آب، درصد قند در برخی ارقام کاهش و در برخی دیگر افزایش یافته است (Mendlinger, 1994). در پژوهشی دیگر، تیمار شوری غلظت سدیم را در همه ژنوتیپ‌های خربزه مورد مطالعه افزایش داد (Botia et al., 2009; Dasgan, and Koc, 2005). در آبیاری با آب شور در دو رقم خربزه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای بریکس با شوری آب آبیاری وجود داشت به طوری که هر چه آب شورتر بود، محیط ریشه شورتر و در نتیجه گیاه برای غلبه بر این شوری و جذب آب، مجبور به شکستن پلی‌ساکاریدها و تبدیل آن‌ها به منوساکاریدها شده که باعث می‌شود محصول تولیدی در آب‌ها و خاک‌های شور، شیرین‌تر باشد (Naseer et al., 2011). کاهش عملکرد در دو گونه خربزه آبیاری شده با آب با هدایت الکتریکی (EC) $(\text{dS}\cdot\text{m}^{-1})$ ۳/۱ و ۶/۱ از مرحله نشاء‌کاری تا برداشت مشاهده شد. کاربرد آب شور از مرحله گل‌دهی به بعد، عملکرد قابل ارائه به بازار را کاهش نداد و کیفیت میوه افزایش یافت. به‌طور کلی آب شور باعث افزایش کیفیت میوه شد. زیرا سدیم و کلر در ساقه‌ها جمع و از تجمع آنها در برگ‌ها ممانعت شد (Baghani et al., 2014). بررسی اثرات شوری آب بر عملکرد کمی و کیفی خربزه نشان داد هرچند اعمال تیمارهای شوری مقدار سدیم تجمعی در برگ‌ها و ساقه‌ها را افزایش داد، با این حال وجود پتاسیم در محیط رشد گیاه، برگ و ساقه موجب افزایش کیفیت میوه شد (Sharayei, 2009). نتایج پژوهشی نشان داد رقم خربزه در تحمل نسبت به شوری اهمیت بسزایی دارد (Dasgan, and Koc, 2009). در تنش شوری (۶ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر $(\text{dS}\cdot\text{m}^{-1})$) رقم خربزه AF682، تحمل کمتری نسبت به توده‌های بومی گائوچو و سانچو داشت (Baghani et al., 2013). با افزایش شوری آب آبیاری، یون سدیم در همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خربزه افزایش یافت. در این پژوهش همچنین تفاوت زیادی بین ژنوتیپ‌های خربزه از نظر تحمل به شوری وجود داشت. با توجه به تغییرات اقلیم حادث شده، کاهش نزولات جوی، افزایش تبخیر و ترقق، کاهش آب‌های متعارف در بخش کشاورزی و استفاده از آب‌های شور و لب شور برای رشد و عملکرد گیاهان زراعی، لذا این پژوهش با هدف بررسی اعمال مدیریت بر مصرف آب شور و متعارف در زراعت خربزه دیررس و اثرات آن بر مقدار سدیم و پتاسیم اندام‌های

گیاهان زراعی در محیط‌های شور، دچار کاهش رشد و بروز برخی صدمات متابولیکی می‌شوند و به‌نظر می‌رسد خشکی فیزیولوژیکی یا کاهش آب ناشی از شوری، عامل کاهش رشد و سمیت یون‌ها و بروز برخی خسارت‌های متابولیکی در گیاهان می‌باشد (Maathuis, 2006). گیاهان زراعی از نظر تحمل به غلظت نمک‌های محلول در منطقه ریشه متفاوت هستند، انتخاب گیاه برای پیشینه تولید تحت شرایط شور، یکی از روش‌های اساسی و مفید می‌باشد (Keshavars and Sadeghzadeh, 2001). بسیاری از محصولات کشاورزی نسبت به افزایش شوری حساس بوده و در شرایط شوری بالا از بین می‌روند. عدم تعادل تغذیه‌ای و یا ترکیبی از همه این عوامل (اسمزی و سمیت یونی)، همگی اثرات سوئی بر روی رشد گیاه و سطوح توسعه فیزیولوژیکی و بیولوژیکی دارد (Botia et al., 2005). تنش شوری باعث کاهش معنی‌داری در ارتفاع و وزن اندام‌های هوایی و ریشه می‌گردد. با افزایش غلظت کلرید سدیم، رشد قسمت‌های هوایی بیشتر از ریشه تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد. در نتیجه رشد و متوسط تولید ماده خشک ریشه نسبت به ساقه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Nabbati et al., 2011). در پژوهشی نشان داده شد که غلظت یون سدیم در داخل بذر خربزه در شرایط شوری به‌طور معنی‌داری افزایش و میزان یون پتاسیم کاهش می‌یابد (Mohammadzadeh, 2011).

خربزه یک گیاه نیمه متحمل به شوری است و ارقام مختلف از این نظر با یکدیگر تفاوت دارند و در شوری‌های زیاد این تفاوت بارزتر می‌شود (Nastari et al., 2012). اما تحمل به شوری بسته به محیط کاشت، نوع شوری و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Tedeschi et al., 2011). نتایج پژوهشی نشان داد که تعداد بذرهای سبز شده خربزه محولاتی در آبیاری با آب شور واکنش معنی‌داری را نشان ندادند ولی شوری باعث تأخیر در سبزشدن بذرها شد. تغییر شوری آب آبیاری در مرحله گل‌دهی باعث اختلال در ظهور گل‌ها شد، به طوری که متوسط تعداد گل‌های نر و ماده و نسبت گل‌های ماده به نر در همه تیمارها به جز نمونه شاهد کاهش یافت. آبیاری با آب شور تأثیر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و کارایی مصرف آب داشت (Baghani et al., 2013). بررسی اثرات شوری آب آبیاری بر رشد، عملکرد و ویژگی‌های کیفی، نه ژنوتیپ تجاری خربزه

محصول، T۶ آبیاری با شوری 6 dS.m^{-1} از ۴۰ روز بعد از سبز شدن تا برداشت محصول و T۷: آبیاری با شوری 3 dS.m^{-1} از ۲۰ روز بعد از سبز شدن تا برداشت محصول. قبل از انجام شخم یک نمونه از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر بعد از لحاظ استاندارد نمونه‌گیری تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه تعیین شد (جدول ۱). سپس مقدار ۲۰ تن بر هکتار کود دامی با ویژگی‌های ارائه داده شده در جدول ۲ قبل از انجام عملیات شخم به زمین داده شد. سپس عملیات آماده‌سازی زمین انجام شد. کودهای شیمیایی ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و اوره ۱۵ کیلوگرم بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز برای همه تیمارها یکسان و در مسیر کاشت بوته‌های خربزه ریخته و با خاک مخلوط شد. باقی‌مانده کود اوره در دو بخش ۱۵ کیلوگرم اواسط رشد رویشی و ۱۵ کیلوگرم در اوایل گل‌دهی به مزرعه داده شد.

گیاه، ویژگی‌های فیزیکی میوه تولیدی و قابلیت انبارمانی آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر شوری آب آبیاری و تلفیق آب شور با آب آبیاری بر ویژگی‌های کمی و کیفی و ماندگاری خربزه دیررس سبزواری، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل: T۱: تیمار شاهد، آبیاری با شوری $0/6 \text{ (dS.m}^{-1})$ از ابتدای کاشت تا پایان برداشت محصول، T۲: آبیاری با شوری 3 dS.m^{-1} از ابتدای کاشت تا برداشت محصول، T۳: آبیاری با شوری 6 dS.m^{-1} از ابتدای کاشت تا پایان برداشت محصول، T۴: آبیاری با شوری 3 dS.m^{-1} از ۴۰ روز بعد از سبز شدن تا برداشت محصول، T۵: آبیاری با شوری 3 dS.m^{-1} از ۲۰ روز بعد از سبز شدن تا برداشت

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک مکان اجرای پژوهش

Table 1- Physicochemical characteristics of the soil of the place where the research was carried out

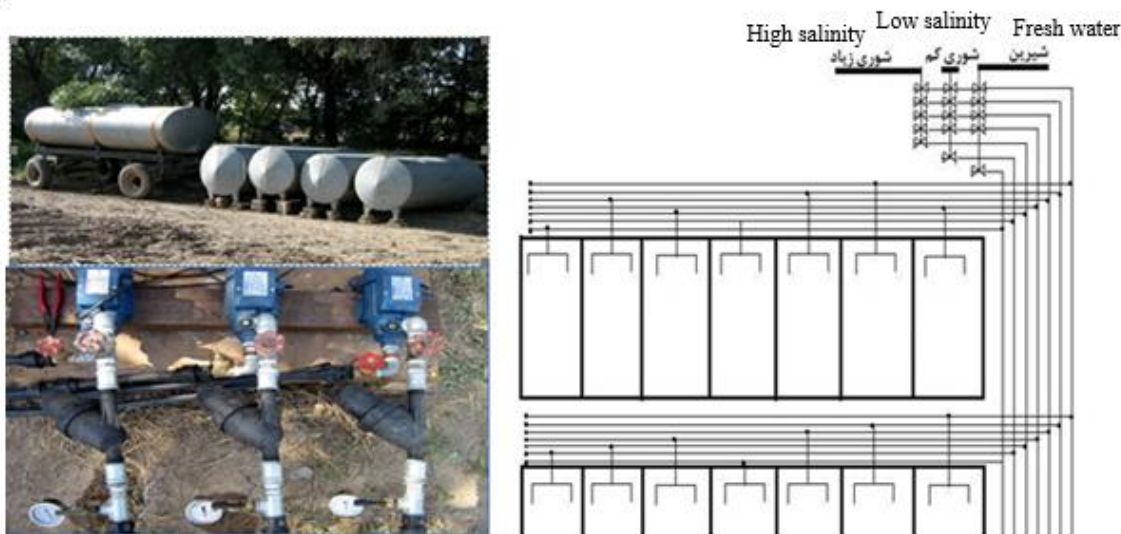
سال آزمایش	بافت خاک	چگالی ظاهری	هدایت الکتریکی	نسبت کربن به نیتروژن	کربن آلی	نیتروژن	پتاسیم	فسفر
Year	Soil texture	Apparent density	EC ⁶	(C/N ⁵)	(OC ⁴)	N ³	K ² (mg.kg ⁻¹)	P ¹ (mg.kg ⁻¹)
اول	لوم-شنی	1.2	1.5	10	0.98	0.14	168	10
1 st	Sandy loam							
دوم	لوم-شنی	1.6	2.67	8.75	0.76	0.12	157	6.75
2 nd	Sandy loam							

(۱).

برای تهیه آب با EC برابر با ۳ ابتدا در سطح آزمایشگاه مقدار اختلاط محاسبه شد و سپس با استفاده از کنتور حجمی مقدار آب مورد نظر از هر EC محاسبه و در تانکری مجزا آماده گردید (جدول ۳) و در تمام طول دوره داشت و انجام آبیاری‌ها، هدایت الکتریکی آب آبیاری با هدایت سنج دستی (BBC Kent Industrial Measurement Limited S/3/000/3799) اندازه‌گیری شد. آبیاری در مدار شش روز برای تمامی تیمارها انجام شد.

بذرهای خربزه دیررس سبزواری از بخش تحقیقات نهال و بذر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مشهد تهیه و در آرایش کاشت فاصله روی ردیف ۶۰ سانتی‌متر، بین ردیف سه متری به طول ۶ متر و در دو ردیف در اوایل خرداد ماه، با دست کاشته شدند. تیمارهای آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای (نواری) با قطره‌چکان‌های با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و آبدهی ۶ لیتر بر ساعت در متر طول لوله اعمال شد. آب مورد استفاده از چاهی با شوری 6 dS.m^{-1} تهیه، به محل منتقل و سطح شوری دوم 3 dS.m^{-1} ، از اختلاط آب شور با آب موجود در محل اجرای آزمایش با شوری $0/6 \text{ dS.m}^{-1}$ تهیه شد (شکل

¹ -Phosphorous, 2- Potassium, 3- Nitrogen, 4- Organic Carbon, 5- Carbon to Nitrogen ratio, 6- Electric Conductivity



شکل ۱- نقشه طرح و چگونگی اختلاط و تامین شوری‌های مورد نظر برای آبیاری

Figure 1- Plan and how to mix and supply desired salinities for irrigation

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی کود دامی و ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Physicochemical characteristics of animal manure and vermicompost used in the experiment

نمونه Sample	هدایت الکتریکی EC ⁹ (dS.m ⁻¹)	نسبت کربن به نیتروژن ⁸ C/N ⁸	کربن الی OC ⁷ (%)	نیتروژن (%N ⁶)	پتاسیم ⁵ K (%)	گوگرد ⁴ S (%)	فسفر ³ P (%)	سولفات ¹ SO ₄ ² (%)	کلسیم ¹ Ca (%)
کود دامی (گاو) Cattle manure	2.7	10	4.7	0.42	0.25	-	0.58	0.08	1.2
ورمی کمپوست Vermicompost	3.5	28	38.01	2.4	2.7	-	1.8	-	-

اصلی طرح بود، آبیاری در محدوده گنجایش مزرعه‌ای انجام شد. برای کنترل شوری خاک در طول دوره رشد، با نمونه‌گیری از عمق توسعه ریشه‌ها، مقدار شوری عصاره اشباع خاک نیز اندازه‌گیری شد به طوری که از ۱/۵ برابر حداکثر شوری آب آبیاری بیشتر نشود. مقدار آبی که به هر تیمار داده شد، در سال اول و دوم به ترتیب، معادل ۴۵۷۰ و ۴۵۳۰ مترمکعب بر هکتار بود.

تاریخ اولین و آخرین آبیاری در سال اول ۵ خرداد تا ۲۰ شهریور و در سال دوم اول خرداد تا ۱۵ شهریور بود. در کل تیمارهای آبیاری در سال اول حدود ۲۵ درصد و در سال دوم حدود ۳۰ درصد آب اضافی به عنوان آبشویی اعمال شد. حجم آب داده شده به تیمارها بوسیله کنتور کنترل شد. چون هدف ایجاد تنش آبی به گیاه نبود و صرفاً اعمال تنش شوری هدف

جدول ۳- نحوه تهیه EC های مورد نیاز برای تیمارهای شوری

Table 3- How to prepare ECs required for salinity treatments

هدایت الکتریکی EC (dS.m-1)	آب چاه Well water EC = 0.6 %	آب چاه Well water EC = 0.6 %
0.6	0	100
3	10	85
6	100	0

¹ - Calcium, ³- Sulphate, ³- Phosphorous, ⁴- Sulphur, ⁵- Potassium, ⁶- Nitrogen, ⁷- Organic Carbon, ⁸- Carbon to Nitrogen ratio, ⁹- Electric Conductivity

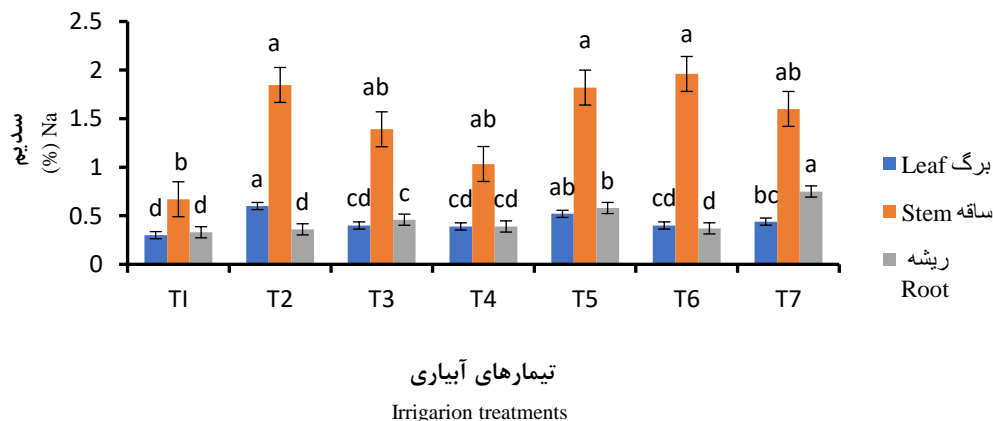
همگنی آنها، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

سدیم موجود در برگ، ساقه و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها تیمارهای شوری آب آبیاری بر مقدار سدیم موجود برگ، ساقه و ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). در برگ تیمارهای شاهد T۱ که آبیاری با شوری 0.6 dS.m^{-1} انجام شده بود، کمترین مقدار سدیم را داشت و آبیاری با آب شور در تمامی تیمارهای شوری سبب تجمع سدیم در برگ شد (شکل ۲). مقدار افزایش سدیم در اثر آبیاری با آب شور در تیمار T۳ در برگ در مقایسه با شاهد در حدود $52/70$ درصد و در ساقه و ریشه به ترتیب $140/04$ و $46/96$ درصد بود. این مطلب نشان می‌دهد که گیاه مقدار سدیم اضافه خود را به ساقه منتقل و در آنجا ذخیره نموده است. این عمل باعث می‌شود که گیاه از صدمات ناشی از اثرات سمیت سدیم به دور بماند (Guzman and Olave, 2006). در ریشه نیز در مقایسه با شاهد مقدار سدیم با افزایش شوری افزایش یافت. نتایج نشان داد که آبیاری با تیمار T۷ بیشترین تجمع سدیم در ریشه را داشت. اما تیمارهای T۲، T۶ و T۴ که با آب با شوری کمتری آبیاری شده بودند یا زمان بیشتری آب شیرین دریافت کرده بودند، حاوی مقدار سدیمی کمتری بودند.

یک هفته بعد از اعمال تیمارها و در مرحله رسیدگی میوه مقدار سدیم و پتاسیم ریشه، برگ و ساقه اندازه‌گیری شد. برای این منظور یک گرم از نمونه‌های ریشه، ساقه و برگ، که در 40 درجه سانتی‌گراد خشک شده، در دمای 550 درجه سانتی‌گراد به مدت 4 ساعت درون کوره الکتریکی به خاکستر تبدیل شدند، استفاده گردید (Food and Agriculture Organization, 1961). مقدار سدیم و پتاسیم نمونه‌های گیاه با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل PFP7 JENWAY) اندازه‌گیری شد (Ghasemnejad *et al.*, 2013; Dasgan *et al.*, 2012). برداشت خربزه‌ها زمانی که اطراف محل اتصال دم به خربزه، ترک ایجاد شده و یا خط می‌افتاد و پیچک کنار برگ نزدیک به خربزه خشک می‌شد انجام شد (Saltveit, 1997). پس از برداشت، تمام خربزه‌ها شمارش، وزن و ویژگی‌های ظاهری پنج نمونه تصادفی از خربزه‌ها ثبت شد. میوه‌ها به مدت دو هفته در دمای شش درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 95 درصد نگهداری شد (Porto Filho *et al.*, 2009). پس از دو هفته اندازه‌گیری ضخامت گوشت و پوست (از ابزار کولیس)، نسبت ضخامت پوست به گوشت، وزن پوست به گوشت (از ترازوی با دقت 0.01 برای اندازه‌گیری وزن استفاده شد)، وزن پوست به کل میوه، وزن گوشت به کل میوه، وزن بذر به کل میوه، بافت (از برش‌های عرضی نوک، وسط و انتهای خربزه بوسیله بافت‌سنج دستی) و بریکس (سه قسمت نوک، وسط و انتهای میوه با استفاده از رفاکتومتر رومیزی آزمایشگاهی) انجام شد. برای بررسی همگنی واریانس‌های صفات در دو سال آزمایش از آزمون پارتنل استفاده گردید و پس از اطمینان از



شکل ۲- مقایسه میانگین مقدار (درصد) سدیم برگ، ساقه و ریشه خربزه

Figure 2- Means comparison of Na^+ (%) contents in leaf stem and root of melon

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مقدار سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم در برگ، ساقه و ریشه خربزه در شوری‌های مختلف آب آبیاری

Table 4- The analysis of variation (means of squares) amount of sodium, potassium, sodium/potassium ratio in melon leaves, stems and roots in different irrigation with saline water

منابع تغییر	درجه آزادی df	ریشه			ساقه			برگ		
		K/Na	K	Na	K/Na	K	Na	K/Na	K	Na
بلوک	2	0.009**	0.011**	0.001**	0.114**	0.108**	0.001*	0.047**	0.019*	0.001*
Block										
سال	1	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.000 ^{ns}	1.184 ^{ns}	0.128 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Year										
خطای سال	2	0.002	0.004	0.007	1.011	0.198	0.187	0.155	0.011	0.004
Year error										
شوری آب	6	0.155**	0.03**	.070**	2.932*	0.203 ^{ns}	0.679*	0.679*	0.009 ^{ns}	0.028**
Salinity										
شوری در سال	6	0.134 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.097 ^{ns}	1.296 ^{ns}	0.528 ^{ns}	0.311 ^{ns}	0.147 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.012 ^{ns}
Salinity*Year										
خطای کل	12	0.001	0.001	0.002	1.215	0.238	0.253	0.253	0.015	0.003
Error										
ضریب تغییرات		3.86	7.19	9.70	16.4	13.9	14.1	13.1	12.71	11.86
CV										

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

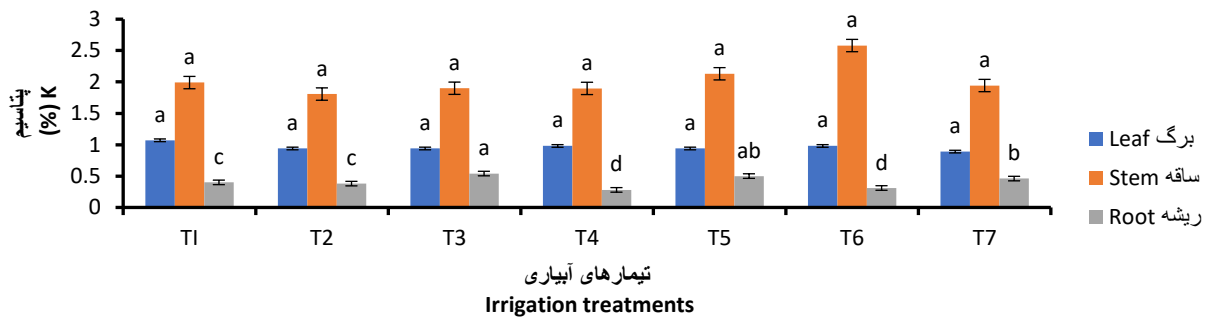
** and * represent significant difference at $P < 0.01$, $P < 0.05$, respectively.

ریشه داشت (جدول ۴). با اعمال تیمارهای آبیاری در طول دوره رشد گیاه، افزایشی در درصد پتاسیم تجمع یافته در ریشه مشاهده شد. در تیمارهایی که گیاه پس از آبیاری با آب شیرین، آب شور و یا لب شور دریافت داشته بودند (تیمارهای T۶، T۵ و T۷)، هرچند اختلافها معنی‌دار نبود، با این حال، درصد پتاسیم در ساقه افزایش نشان داد و در مقایسه با برگ، ساقه، مقدار پتاسیم جمعی در ریشه از ساقه و برگ کمتر بود (شکل ۳). به‌طور کلی نگهداری انتخابی پتاسیم در هر دو قسمت برگ و ساقه گیاه، یک استراتژی برای افزایش کیفیت میوه می‌باشد. زیرا وجود پتاسیم بیشتر در این اندام‌ها به تسهیل انتقال قند به میوه کمک کرده و باعث شیرینی و افزایش بریکس میوه می‌شود (Sharayei, 2009). گزارش شده است در همه ژنوتیپ‌های خربزه با افزایش شوری مقدار پتاسیم به طور معنی‌داری کاهش یافت (Guzman and Olave, 2006). این گزارش‌ها با یافته‌های آزمایش حاضر مخالف بود و این نشان می‌دهد، واکنش ارقام خربزه به شوری نیز تفاوت دارد. به نظر می‌رسد نگهداری انتخابی پتاسیم در هر دو قسمت برگ و ساقه گیاه، یک استراتژی برای افزایش کیفیت میوه باشد.

یکی از مهم‌ترین علل کاهش رشد در ژنوتیپ‌های مختلف خربزه تجمع یون سدیم، بیشتر از حد مسمومیت، در پیکره گیاه است و گیاهان دارای قدرت تحمل شوری با ممانعت از تجمع سدیم در برگ و ریشه از مسموم شدن گیاه جلوگیری می‌کنند (Botia *et al.*, 2005). تجمع سدیم و کلر در ساقه‌ها و اجتناب از تجمع آن در برگ‌ها در دو گونه از خربزه آبیاری شده با آب شور در دو سطح $1/3$ و $1/1$ dS.m⁻¹ در مراحل مختلف رشد گزارش شد (Baghani *et al.*, 2014). افزایش شوری، باعث شد که مقدار عنصر سدیم در بافت‌های برگ و ساقه افزایش بیشتری از ریشه داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برخی ارقام مانند رقم تاشکندی، مقدار سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم موجود در برگ کمتر از ریشه بود. به عبارت دیگر واکنش ارقام خربزه به شوری متفاوت بود (Guzman and Olave, 2006).

پتاسیم موجود در برگ، ساقه و ریشه

تأثیر سال، تیمارهای شوری آب آبیاری و برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم برگ، ساقه نداشت، اما تیمارهای شوری آب آبیاری تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم



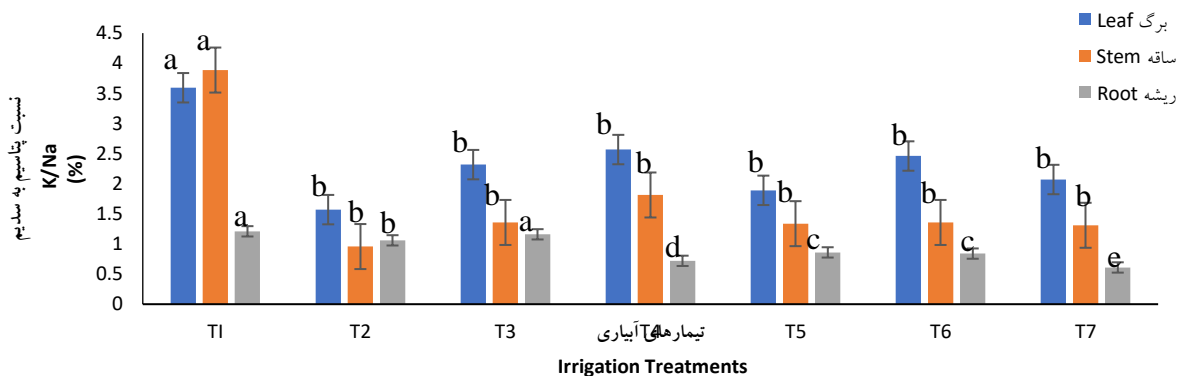
شکل ۳- مقایسه میانگین مقدار (درصد) پتاسیم برگ، ساقه و ریشه خربزه

Figure 3- Means comparison of K⁺ (%) contents in leaf, stem and root of melon

(حدود ۶۰ درصد) نسبت به شاهد مشاهده شد این کاهش در اثر اعمال تیمار T۳ در برگ، ساقه و ریشه به ترتیب ۴۰/۲۸، ۶۵/۳۲ و ۲۷/۶۸ درصد نسبت به شاهد بود. اعمال تیمار شاهد سبب شد تا نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه بسیار کمتر از برگ و ساقه بود، در سایر تیمارها، این نسبت در برگ بیشتر از ساقه و ریشه بود. به عبارتی، بدون در نظر گرفتن مقدار هر کدام از عناصر سدیم و پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه کمترین مقدار را داشت. گزارش شده است با افزایش شوری، مقادیر عناصر سدیم، کلر، و نسبت سدیم به پتاسیم در بافت‌های برگ و ریشه کلیه ارقام خربزه، افزایش ولی مقادیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم در بافت‌ها کاهش یافت. مقدار عناصر کلر (به جر رقم تاشکندی)، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ تمام ارقام بیشتر از ریشه ولی مقدار سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم موجود در برگ کمتر از ریشه بود (Javanmardi *et al.*, 2001) که نتیجه اخیر مانند یافته‌های پژوهش حاضر است.

نسبت پتاسیم به سدیم در برگ، ساقه و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها تیمارهای شوری آب آبیاری بر نسبت پتاسیم به سدیم در سه اندام برگ، ساقه و ریشه معنی‌دار بود. اما کشت در دو سال مختلف تأثیر معنی‌داری بر صفت مذکور نداشت (جدول ۴). یک رابطه مخالف بین غلظت یون سدیم و یون پتاسیم در ریشه و برگ بسیاری از گیاهان وجود دارد. جذب انتخابی پتاسیم (K⁺) به عنوان مخالفت با سدیم (Na⁺)، به عنوان یکی از مکانیزم‌های مهم فیزیولوژیکی مؤثر در مقاومت به شوری در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2010). همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، افزایش شوری آب آبیاری، باعث بهم خوردن نسبت تعادل یونی در ریشه، ساقه و برگ خربزه می‌شود و اعمال تیمار شوری در مقایسه با شاهد، موجب کاهش نسبت پتاسیم به سدیم شد. اعمال شوری‌های مختلف آب آبیاری سبب تغییر در محتوای سدیم و پتاسیم برگ، ساقه و ریشه شد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در ساقه



شکل ۴- مقایسه میانگین نسبت پتاسیم/سدیم برگ، ساقه و ریشه خربزه

Figure 4- Means comparison of K/Na ratio in leaf, stem and root of melon

ویژگی‌های کیفی و انبارمانی خربزه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای شوری آب آبیاری فقط بر پارامترهای نسبت وزن بذر به کل میوه و بریکس میوه خربزه معنی‌دار بود و بر سایر پارامترهای ذکر شده اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۵). تیمار اثر سال فقط بر صفتهای نسبت وزن پوست به کل میوه و بریکس انتهای میوه و وزن بذر به کل میوه معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمار آبیاری با آب شور و سال انجام آزمایش بر کلیه ویژگی‌های فیزیکی میوه خربزه به جز نسبت ضخامت و وزن پوست به گوشت و سفتی وسط خربزه، معنی‌داری بود (جدول ۵). میانگین بریکس اندازه‌گیری شده از سر، وسط، انتهای خربزه و همچنین بریکس متوسط کل خربزه در تیمارهای شماره T۲ و T۳ (تیمارهایی که از ابتدا تا انتهای دوره فقط با آب لب‌شور و شور آبیاری شده بودند) نیز از

تیمارهای آبیاری که با دو نوع آب آبیاری شده بودند (تیمارهای T۴، T۵، T۶ و T۷)، کمتر بود (جدول ۶ و ۷). نتایج نشان داد هر چه آب شورتر شود، محیط ریشه شورتر و در نتیجه گیاه برای غلبه بر این شوری و جذب آب، مجبور به شکستن پلی‌ساکاریدها و تبدیل آن‌ها به منوساکاریدها شده که این امر موجب شیرین‌تر شدن محصول می‌شود (Medeiros *et al.*, 2001; Naseer *et al.*, 2006). در برخی گزارش‌ها عدم تأثیر یکسان شوری آب آبیاری بر درصد قند خربزه گزارش شده است (Baghani *et al.*, 2014) برای مثال در خربزه‌های رقم درگری، جعفرآبادی، بندی و آناناس درصد قند با افزایش شوری آب کاهش و در رقم‌های خاقانی، قصری، چاه پالیز، هانیدو و عباس افزایش یافت (Mohammadzadeh, 2011).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی خربزه در شوری‌های مختلف آب آبیاری

Table 5- The results of combined variance analysis of evaluated melon traits in different irrigation water salinities															
درجه منابع	df	Mean square			میانگین مربعات										
		Ave brix	Tip brix	Mid brix	سفتی نوک	سفتی وسط	سفتی انتها	تعداد عملکرد کل	نسبت وزن بذر به کل میوه	وزن گوشت به کل میوه	وزن پوست به کل میوه	وزن گوشت پوست	ضخامت پوست به گوشت		
تغییر SOV		Tip	Mid	End	Tip	Mid	End	Total	در هکتار	Seed	Flesh weight/fruit	Skin weight/fruit	Skin weight	thicknes /flesh	
تکرار Rep	2	2.75	0.94	1.97	0.04	0.03	0.04	17.2	75636	3.19	1.79	5.83	18.78	38.85	
سال Year	1	0.34 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.08*	0.27 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.51 ^{ns}	91320 ^{ns}	113.83 ^{**}	7.18 ^{ns}	61.86*	109.16 ^{ns}	14.36 ^{ns}
خطای سال Error year	4	1.68	3.55	1.08	3.11	0.11	0.08	0.121	3.75	87254	4.16	2.57	11.9	21.5	44.8
شوری Salinity × سال	6	6.18 ^{**}	6.50 ^{**}	5.70 ^{**}	6.62 ^{**}	0.07 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.06 ^{ns}	41.0 ^{**}	91376 ^{**}	4.48 ^{**}	4.11 ^{ns}	2.49 ^{ns}	11.46 ^{ns}	25.55 ^{ns}
شوری Year* salinity	6	0.12 ^{ns}	0.08 ^{**}	0.60 ^{**}	0.06 ^{**}	0.04 ^{**}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{**}	0.42 ^{ns}	73027 ^{ns}	2.37 ^{**}	7.20 ^{**}	4.64 ^{**}	19.93 ^{ns}	27.76 ^{ns}
خطا کل Total error	24	0.89	1.52	0.83	0.84	0.05	0.04	0.04	2.03	27083	1.77	4.51	5.82	20.89	31.99
ضریب تغییرات CV		5.99	7.76	5.81	5.82	12.44	11.92	11.31	9.82	10.55	12.67	3.19	10.58	13.32	20.13

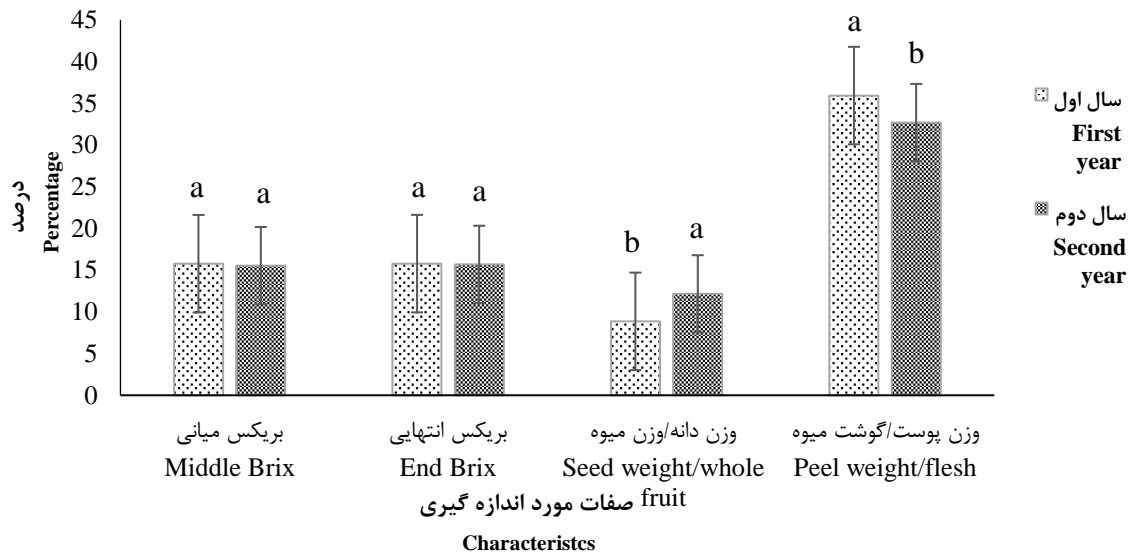
ns, ** و * به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and * are nonsignificant and significant in 1 and 5 % probability level

۵). نسبت وزن دانه و پوست خربزه نسبت به کل میوه در سال دوم کاهش یافت لذا آبیاری با آب شور در دو سال پیاپی تأثیر بر کیفیت میوه نداشت (شکل ۵).

اثر سال بر صفات مورد ارزیابی خربزه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اکثر صفات کیفی طی دو سال انجام آزمایش اختلاف معنی داری با هم نداشتند (جدول



شکل ۵- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های کیفی خربزه در دو سال انجام آزمون

Figure 5- Means comparison of some melon characteristics during 2 years of experiment

محققین متعدد گزارش کردند که شوری باعث کاهش عملکرد ارقام مختلف خربزه شد. همچنین کاهش عملکرد را در شرایط شور به کوچک شدن و یا کم شدن تعداد خربزه دانستند (Naseer *et al.*, 2001) که نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های نامبردگان موافقت دارد.

ویژگی‌های فیزیکی میوه خربزه

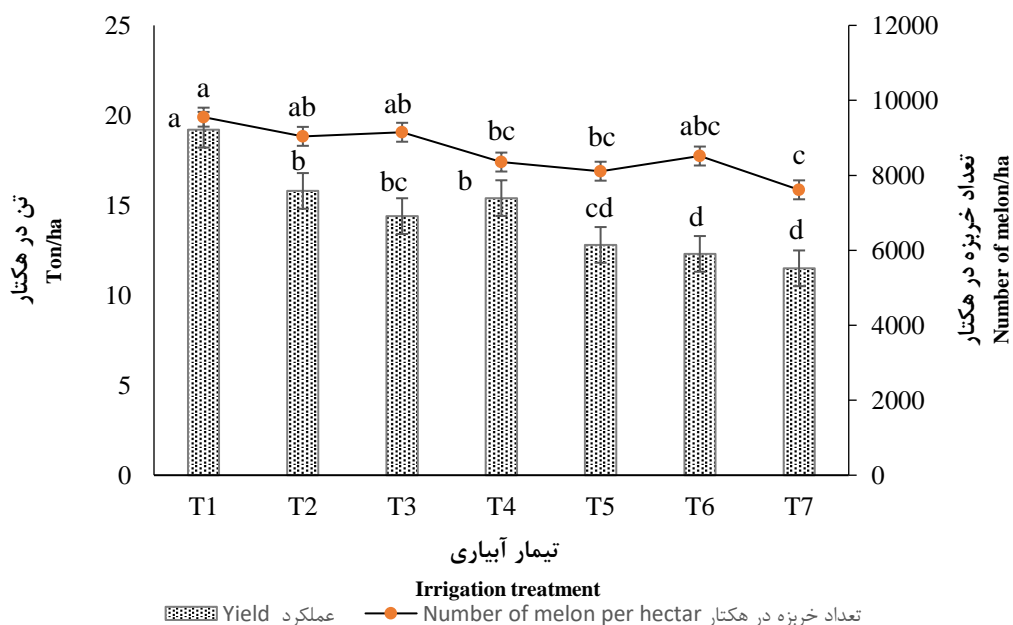
اثر متقابل تیمار آبیاری با آب شور و سال انجام آزمایش تأثیر معنی داری بر کلیه ویژگی‌های فیزیکی میوه خربزه به جز نسبت ضخامت و وزن پوست به گوشت و سفتی وسط خربزه، نداشت (جدول ۵). سفتی بافت نوک و انتهای خربزه در سال دوم نسبت به سال اول مقدار بیشتری را داشت و درصد بریکس در سال اول در تیمار T5 به طور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد (T1) بود (جدول ۶). شوری در خاک سه اثر دارد، اثر اول مربوط به کل املاح محلول در خاک است که کاهش پتانسیل اسمزی را به دنبال دارد که اصطلاحاً اثر اسمزی گویند، اثر دوم مربوط به وجود یون‌های خاص در محلول خاک می‌باشد. نمک‌هایی نظیر کلرید سدیم که به تنهایی می‌تواند موجب بروز سمیت در گیاه شده و در مکانیسم جذب گیاه اختلال ایجاد

تعداد و عملکرد خربزه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تنها تیمارهای شوری آب آبیاری تأثیر معنی داری ($P \leq 0.01$) بر تعداد و عملکرد خربزه داشت و این دو صفت تحت تأثیر سال و تأثیر متقابل سال در تیمارهای شوری آب آبیاری قرار نگرفت (جدول ۵). بیشترین تعداد خربزه بر هکتار (۹۵۵۲ عدد) از تیمار T1 و کمترین آن از تیمار T7 به تعداد ۷۶۱۳ عدد دست آمد (شکل ۶). نتایج نیز نشان داد که، تیمارهای آبیاری T1، T2 و T3 (تیمارهایی که از ابتدا تا انتهای آزمایش با یک نوع آب آبیاری شده بودند و تلفیق آب شور با آب با شوری 0.16 dS.m^{-1} نداشتند) تعداد خربزه بالایی را تولید کردند. از نظر آماری نیز بین تیمارهای مذکور تفاوت معنی داری مشاهده نشد ولی تفاوت آنها با سایر تیمارها معنی دار بود. در خصوص عملکرد کل خربزه نیز همین روند مشاهده شد. به طوری که تیمار T1 با $19/20$ تن بر هکتار بیشترین مقدار را داشت. تیمار T7 با ۴۰ درصد کاهش نسبت به تیمار T1 کمترین عملکرد کل را داشت. همچنین نتایج نشان داد که آبیاری با آب شور پس از رشد با آب با شوری 0.16 dS.m^{-1} می‌تواند باعث ناسازگاری یا عدم تطابق با شرایط جدید را در گیاه فراهم کند و منجر به کاهش عملکرد گردد.

یون‌ها در ساقه و افزایش قند میوه، افزایش بریکس محلول مدیریت نمود و اثرات سمی تجمع یون‌ها در ریشه و برگ را کاهش داد لذا اثرات منفی بر کیفیت محصول تولیدی کاهش یافت.

نماید که به این اثر، اثر ویژه یونی گویند و اثر نوع سوم در حقیقت زلیده اثر نوع دوم می‌باشد که موجب بروز عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شود (Munns and tester, 2008). در این تحقیق گیاه خربزه آبیاری شده با آب شور این عدم تعادل را با تجمع



شکل ۶- نتایج تأثیر تیمارهای مدیریت آبیاری بر تعداد خربزه و عملکرد کل در هکتار

Figure 6- Results of the effect of irrigation management treatment on the number of melons and total yield per hectare

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری‌های مختلف آب آبیاری و سال بر صفات فیزیکی مورد ارزیابی خربزه

Table 6- The comparison means of different water salinity and year on the melon physical characterizations

سال Year	آبیاری Irrigation	ویژگی‌ها Characteristics							
		بریکس متوسط Brix average	بریکس انتهایی head Brix	بریکس میانی middle Brix	بریکس انتهایی end Brix	سختی انتها Head hardness	وزن دانه/میوه seed weight/whole fruit (%)	وزن گوشت/میوه Flesh weight/whole fruit (%)	وزن پوست/وزن کل میوه Peel weight/whole fruit (%)
اول First year	T1	13.72 ^c	13.83 ^b	13.67 ^d	13.67 ^b	1.70 ^{ab}	8.65 ^{de}	66.86 ^{ab}	24.49 ^{ab}
	T2	15.75 ^{ab}	15.83 ^{ab}	15.57 ^{ab}	15.83 ^a	1.97 ^{ab}	8.36 ^e	67.53 ^{ab}	24.02 ^{ab}
	T3	15.42 ^{abc}	15.60 ^{ab}	15.40 ^{abc}	15.27 ^{ab}	1.70 ^{ab}	8.37 ^e	66.40 ^{ab}	25.23 ^a
	T4	16.48 ^{ab}	16.57 ^a	16.73 ^{ab}	16.13 ^a	1.87 ^{ab}	7.78 ^e	69.78 ^a	22.44 ^{ab}
	T5	17.13 ^a	17.23 ^a	17.17 ^a	17.00 ^a	2.07 ^a	8.34 ^e	68.28 ^{ab}	23.21 ^{ab}
	T6	16.32 ^{ab}	16.90 ^a	15.67 ^{ab}	16.40 ^a	2.07 ^a	10.87 ^{abcd}	65.73 ^{ab}	23.40 ^{ab}
	7 T	16.16 ^{ab}	16.07 ^{ab}	16.23 ^{ab}	16.17 ^a	1.70 ^{ab}	9.69 ^{cde}	65.01 ^b	25.30 ^a
دوم Second year	T1	13.81 ^c	13.92 ^b	13.83 ^{cd}	13.67 ^b	1.53 ^b	11.38 ^{abc}	68.07 ^{ab}	20.56 ^{ab}
	T2	15.65 ^{ab}	15.77 ^{ab}	15.67 ^{ab}	15.50 ^a	1.77 ^{ab}	10.25 ^{bcde}	66.94 ^{ab}	22.81 ^{ab}
	T3	15.26 ^{bc}	15.50 ^{ab}	15.10 ^{bcd}	15.20 ^{ab}	1.80 ^{ab}	12.60 ^{ab}	67.20 ^{ab}	20.20 ^b
	T4	16.11 ^{ab}	16.17 ^{ab}	15.83 ^{ab}	16.33 ^a	1.63 ^{ab}	12.65 ^{ab}	66.65 ^{ab}	20.70 ^{ab}
	T5	16.61 ^{ab}	16.67 ^a	16.50 ^{ab}	16.67 ^a	1.70 ^{ab}	13.01 ^a	64.12 ^b	22.87 ^{ab}
	T6	16.56 ^{ab}	16.83 ^a	16.33 ^{ab}	16.50 ^a	1.78 ^{ab}	13.37 ^a	64.34 ^b	22.30 ^{ab}
	7 T	15.72 ^{ab}	16.00 ^{ab}	15.17 ^{bcd}	16.00 ^a	1.73 ^{ab}	11.86 ^{ab}	66.47 ^{ab}	21.66 ^{ab}

*حرف‌های همسان در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

*Means within a column followed by the same letter are not significant at the level of 5%..

در سه رقم خربزه تاشکندی، قصری و خاقانی مرسوم به ترتیب ۱۰/۱۰، ۱۰ و ۱۴ گزارش شده بود (Sharayei, 2009).

پس از ۱۴ روز نگهداری در سردخانه بریکس میوه، مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی خربزه، افزایش یافت و در همه قسمت‌های میوه در تیماری که از ابتدا تا انتها با آب 0.6 dS.m^{-1} آبیاری شده بود، کمتر از سایر تیمارها بود (جدول ۶ و ۷)، در حالی که تفاوت این صفت در انتها و وسط میوه‌ها، در تیمار آبیاری با آب 0.6 dS.m^{-1} ، با تیمارهای آب لب‌شور و شور معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در مجموع بریکس میوه تیمارهایی که در تمام مدت دوره رشد با یک نوع آب آبیاری شده بودند (تیمارهای T1، T2 و T3) کمتر از سایر تیمارها (که با دو نوع آب آبیاری شده بودند) بود. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد، در کلیه تیمارها متوسط بریکس میوه‌ها افزایش نشان داد که تیمار T1 (تیماری که در تمام مدت با آب شوری 0.6 dS.m^{-1} شیرین آبیاری شده بود) بیشترین افزایش را داشت. این روند در سه نقطه نوک، وسط و انتهای کل میوه نیز صادق بود. به طوری که در جدول ۸ نشان داده شده است، میانگین صفت بریکس کل تیمارها، بدون در نظر گرفتن مدیریت اعمال آب شور، پس از برداشتن از سردخانه اندکی نسبت به زمان برداشت، افزایش نشان داد. که این امر ناشی از کاهش وزن خربزه‌ها و از دست دادن مقداری آب از طریق تبخیر می‌باشد که منجر به افزایش غلظت شیر گیاه یا خربزه شده است.

تغییرات ویژگی‌های کیفی خربزه آبیاری شده با آب شور، بعد از ۱۴ روز نگهداری در سردخانه

نتایج نشان داد در ابتدای انبارداری (زمان صفر) کمترین و بیشترین نسبت بذر به کل میوه به ترتیب از تیمارهای T4 و T6 بدست آمد به عبارتی تنش زیادتر باعث زیادتر شدن نسبت بذر به کل میوه شد. در سفتی میوه و نسبت ضخامت پوست به گوشت، وزن پوست به گوشت و وزن پوست به کل میوه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت (جدول ۷ و ۸). پس از ۱۴ روز انبارداری نسبت وزن بذر به کل میوه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهایی که در تمام فصل فقط با یک نوع آب، آبیاری شده بودند (T1، T2 و T3) مشاهده نشد. بریکس در همه قسمت‌های میوه‌ها در تیمار شاهد و تیمار T5 به ترتیب کمتر و بیشتر از سایر تیمارها هم در ابتدا و هم در انتهای دوره انبار مانی بود (جدول ۷ و ۸). در تیمار T5 در مقایسه با نمونه شاهد (T1) مقدار بریکس ۲۰ درصد افزایش یافت. در مجموع بریکس میوه‌هایی که در تمام مدت دوره رشد با یک نوع آب آبیاری شده بودند (T1، T2 و T3) کمتر از سایر تیمارهایی بود که با دو نوع آب آبیاری (T4، T5 و T6) شده بودند. همچنین اختلاف بین بریکس میوه‌های تولیدی در تیمارهایی که با دو نوع آب آبیاری شده بودند معنی‌دار نبود. متوسط بریکس نمونه خربزه کلیه تیمارها در دو سال معادل ۱۵/۸ درصد بود و این رقم نشانگر شیرینی بسیار بالای این خربزه می‌باشد. این عدد قبلاً

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی خربزه در مدیریت شوری‌های مختلف آب آبیاری (قبل از سردخانه)

Table 7- Comparison of the average traits evaluated in melon in the management of different salinities of irrigation water (before cold storage)

رژیم آبیاری (تیمار)	بریکس متوسط	بریکس نوک	بریکس وسط	بریکس انتها	متوسط سفتی Average hard (N)	سفتی نوک Tip hard(N)	سفتی وسط Mid hard(N)	سفتی انتها End hard(N)	نسبت وزن بذر به کل میوه % Seed weight/fruit	وزن گوشت به کل میوه % Fresh weight/fruit	نسبت وزن پوست به گوشت % Skin weight/fruit		نسبت ضخامت پوست به گوشت % Skin thickness /flesh	
											Skin weight/fruit	Skin weight/fruit	Skin thickness /flesh	Skin thickness /flesh
T1-	13.72 ^b	13.83 ^b	13.67 ^b	13.67 ^b	1.65 ^a	1.70 ^a	1.56 ^a	1.70 ^a	8.65 ^{bc}	66.86 ^{ab}	24.49 ^a	36.64 ^a	29.45 ^a	
T2	15.75 ^{ab}	15.83 ^{ab}	15.57 ^{ab}	15.83 ^a	1.77 ^a	1.96 ^a	1.53 ^a	1.83 ^a	8.36 ^{bc}	67.53 ^{ab}	24.02 ^a	35.58 ^a	24.93 ^a	
T3	15.42 ^{ab}	15.60 ^{ab}	15.40 ^{ab}	15.27 ^{ab}	1.70 ^a	1.70 ^a	1.70 ^a	1.70 ^a	8.36 ^{bc}	66.40 ^{ab}	25.23 ^a	38.02 ^a	23.86 ^a	
T4	16.48 ^a	16.57 ^a	16.73 ^a	16.13 ^a	1.68 ^a	1.86 ^a	1.53 ^a	1.63 ^a	7.78 ^c	69.78 ^a	22.44 ^a	32.31 ^a	27.86 ^a	
T5	17.13 ^a	17.23 ^a	17.17 ^a	17.00 ^a	1.90 ^a	2.06 ^a	1.73 ^a	1.90 ^a	8.34 ^{bc}	68.28 ^{ab}	23.21 ^a	34.01 ^a	29.11 ^a	
T6	16.32 ^a	16.90 ^a	15.67 ^{ab}	16.40 ^a	1.84 ^a	2.06 ^a	1.60 ^a	1.83 ^a	10.87 ^a	65.73 ^{ab}	23.40 ^a	35.69 ^a	28.27 ^a	
T7	16.16 ^a	16.07 ^{ab}	16.23 ^a	16.17 ^a	1.61 ^a	1.70 ^a	1.56 ^a	1.56 ^a	9.69 ^{ab}	65.01 ^b	25.30 ^a	39.19 ^a	29.06 ^a	

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی خربزه در مدیریت شوری‌های مختلف آب آبیاری (بعد از سردخانه)

Table 8- Comparison of the average traits evaluated in melon in the management of different salinities of irrigation water (after cold storage)

Irrigation	بریکس	بریکس	بریکس	بریکس	سفتی	سفتی	سفتی	سفتی	درصد وزن	درصد وزن	درصد وزن	درصد	درصد
	Ave brix	Tip brix	Mid brix	End brix	Ave hard	Tip hard	Mid hard	End hard	میوه	میوه	میوه	پوست به	پوست به
	متوسط	نوک	وسط	انتها	متوسط	نوک	وسط	انتها	بذر به کل	بذر به کل	گوشت به کل	پوست به گوشت	پوست به گوشت
									Seed weight/fruit weight	Fresh weight/fruit weight	Skin weight/fruit weight	Skin weight /flesh	Skin thickness /flesh
T1	14.71 ^b	14.77 ^b	14.82 ^d	14.55 ^B	1.33 ^a	1.41 ^a	1.08 ^a	1.48 ^a	8.65 ^{bc}	67.82 ^{ab}	23.52 ^a	34.68 ^a	24.79 ^a
T2	16.32 ^a	15.95 ^{ab}	16.42 ^{bc}	16.58 ^{ab}	1.34 ^a	1.38 ^a	1.18 ^a	1.44 ^a	8.45 ^{bc}	68.46 ^{ab}	23.08 ^a	33.72 ^a	20.39 ^a
T3	16.29 ^a	16.68 ^{ab}	16.00 ^{dc}	16.18 ^{ab}	1.28 ^a	1.33 ^a	1.10 ^a	1.41 ^a	8.37 ^{bc}	67.12 ^b	24.51 ^a	36.53 ^a	21.91 ^a
T4	16.69 ^a	17.17 ^a	16.57 ^{bc}	16.35 ^{ab}	1.33 ^a	1.45 ^a	1.28 ^a	1.25 ^a	7.79 ^c	69.59 ^a	22.63 ^a	32.52 ^a	23.45 ^a
T5	17.38 ^a	17.17 ^a	17.92 ^a	17.05 ^a	1.45 ^a	1.42 ^a	1.35 ^a	1.57 ^a	8.86 ^{bc}	68.31 ^{ab}	22.83 ^a	33.44 ^a	23.93 ^a
T6	17.00 ^a	16.67 ^a	17.50 ^{ab}	16.83 ^{ab}	1.47 ^a	1.58 ^a	1.30 ^a	1.52 ^a	10.87 ^a	66.46 ^b	22.66 ^a	34.18 ^a	21.52 ^a
T7-	16.38 ^a	16.08 ^a	16.65 ^{abc}	16.40 ^{ab}	1.29 ^a	1.40 ^a	1.07 ^a	1.40 ^a	9.69 ^{ab}	67.53 ^{ab}	22.78 ^a	33.80 ^a	23.67 ^a

کیفی میوه نشان داد که افزایش شوری از $۰/۶\text{dS.m}^{-1}$ به ۳dS.m^{-1} سبب افزایش گوشت میوه به وزن کل و نیز بریکس میوه در هر سه قسمت نوک، وسط و انتهای میوه شد. که بیانگر آن است که افزایش شوری از طریق افزایش قند در مقدار بریکس میوه تأثیرگذار بوده است. نتایج صفات اندازه گرفته شده قبل و بعد از دو ماه نگهداری در سردخانه نشان داد هر چند اعمال تیمارهای شوری تأثیر معنی‌داری بر مقدار سفتی میوه‌ها نداشت، تنها تا شوری ۳dS.m^{-1} مقدار سفتی افزایش یافت، اما در حین انبارداری به دلیل تأثیر شرایط محیطی و واکنش‌های داخلی میوه، مقدار سفتی میوه لندکی کاهش و مقدار بریکس بخش‌های مختلف میوه به طور معنی‌داری افزایش یافت. به عبارتی این امکان وجود دارد که به هر دلیل (مانند کاهش تقاضای خرید، نگهداری برای صادرات، مدیریت تنظیم بازار و ...)، این خربزه را می‌توان برای مدتی در سردخانه نگهداری نموده و سپس وارد بازار مصرف کرده و به دست مصرف‌کننده رساند تا ضمن کاهش ضرر و زیان تولیدکننده، در تعادل بخشی بازار مصرف خربزه نیز نقش داشته باشد.

به‌طور کلی نتایج صفات اندازه گرفته شده قبل و بعد از سردخانه نشان داد سفتی میوه‌ها پس از نگهداری در سردخانه لندکی کاهش و بریکس آنها افزایش یافت. به عبارتی این امکان وجود دارد که به هر دلیل (مانند کاهش تقاضای خرید، نگهداری برای صادرات، مدیریت تنظیم بازار و ...)، این خربزه را می‌توان برای مدتی در سردخانه نگهداری نموده و سپس وارد بازار مصرف کرد و به دست مصرف‌کننده رساند. استفاده از این ویژگی، می‌تواند ضمن کاهش ضرر و زیان تولیدکننده، در تعادل بخشی بازار مصرف نیز نقش داشته باشد.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از آب آبیاری با شوری کمتر در مراحل ابتدایی گیاه، مانند زمان چهار برگی و زمان گلدهی، اگرچه باعث رشد بهتر گیاه شد، ولیکن با تغییر (افزایش) در مقدار شوری آب آبیاری، تنش زیادتری به گیاه وارد شد. نتایج نشان داد آبیاری با آب شور سبب افزایش تجمعی محتوای سدیم و پتاسیم در برگ، ساقه و ریشه شد. که بر تغییرات نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و ساقه مؤثر بود. نتایج تأثیر شوری بر روی پارامترهای

References

- Baghani, J., Alizadeh, A., Ansari, H., Azizi, M. and Sadr Ghaen, S., 2013. The Effect of Water Salinity Variation on Some of the Agronomic Traits of Late Summer Melon. [In Persian].
- Baghani, J., Azizi, M. and Karimi, M., 2015. Application and Management of Brackish and Saline Water in

- Sabzevar Late Melon. *Water Management in Agriculture*, 1(2), pp.11-18. [In Persian].
- Botía, P., Navarro, J.M., Cerdá, A. and Martínez, V., 2005. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. *European Journal of Agronomy*, 23(3), pp.243-253. doi: **10.1016/j.eja.2004.11.003**
- Dasgan, H.Y. and Koc, S., 2009. Evaluation of salt tolerance in common bean genotypes by ion regulation and searching for screening parameters. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 7(2), pp.363-372.
- Feizy, M., 2008. Optimal application of saline water in cotton production. *Soil Researches (Soil and Water Sciences)*, 22(2), pp.181-188. [In Persian].
- Ghasemnejad, A.A., Bagheriyfard, A. and Asghari, A., 2013. The study of the effect of drying temperature on some phytochemical properties of artichoke leaves (*Cynara scolymus* L.). *Medicinal Plants Ecophytochemistry*, 3(3), pp.10-21. [In Persian].
- Javanmardi, J., Lesani, H. and Kashi, A., 2001. Effect of NaCl salinity on the uptake and transport of melons in five varieties of Iran native. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3(1), pp.31-40. [In Persian].
- Kaya, C., Tuna, A.L., Ashraf, M. and Altunlu, H., 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. *Environmental and Experimental Botany*, 60(3), pp.397-403. doi: **10.1016/j.envexpbot.2006.12.008**
- Keshavars, A. and Sadeghzadeh, K., 2001. Water management in agriculture part I. *Shekar Shekan*, 38, pp.32-57. [In Persian].
- Lante, A. and Tinello, F., 2015. Citrus hydrosols as useful by-products for tyrosinase inhibition. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, pp.154-159. doi: **10.1016/j.ifset.2014.11.001**
- Mangal, J.L., Hooda, P.S. and Lal, S., 1988. Salt tolerance of five muskmelon cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 110(3), pp.641-643. doi: **10.1017/s0021859600082241**
- Medeiros, D.C.D., Medeiros, J.F.D., Pereira, F.A.D.L., Silva, S.C.D.M. and Amâncio, M.D.G., 2011. Production and quality of melon hybrid Mandacaru irrigated with different levels of salinity. *Horticultura Brasileira*, 29, pp.600-604. doi: **10.1590/s0102-05362011000400026**
- Mendlinger, S., 1994. Effect of increasing plant density and salinity on yield and fruit quality in muskmelon. *Scientia Horticulturae*, 57(1-2), pp.41-49. doi: **10.1016/0304-4238(94)90033-7**
- Mohammadzadeh, A., 2011. The effect of salinity and quantity of water on the commercial Genotype of melon. Irrigation and Drainage Committee of Iran. 320 pages. [In Persian].
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp.651-681. doi: **10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911**
- Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Moghaddam, P.R., Masoumi, A. and Zare Mehrjerdi, M., 2011. Effect of salinity on biomass production and activities of some key enzymatic antioxidants in kochia (*Kochia scoparia*). *Pakistan Journal of Botany*, 43(1), pp.539-548.
- Naseer, S.H., Nisar, A. and Ashraf, M., 2001. Effect of salt stress on germination and seedling growth of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Pakistan Journal of Biological Science*, 4, pp.359-360.

doi: 10.3923/pjbs.2001.359.360

Nasrabadi, H.N., Nemati, H., Sobhani, A. and Sharifi, M., 2012. Study on morphologic variation of different Iranian melon cultivars (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(18), pp.2764-2769.

doi: 10.5897/ajar11.2159

Nazari, A., Mahdavi Mighan, A. and Ebrahimi, A., 2011. The correlation between salinity of water and soil with the content of soluble solids in the cultivated melon of Biarjamand region of Shahroud, *Irrigation and Drainage Committee of Iran*. 320 pages. [In Persian].

Othman, Y., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A.R. and Al-Horani, A., 2006. Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(1), pp.11-15.

Porto Filho, F.D.Q., de Medeiros, J.F., Senhor, R.F., de Moraes, P.L.D. and Menezes, J.B., 2009. Quality of melon grown under different salinity levels of irrigation water. *Caatinga*, 22(1), pp.193-198.

Rostami, H., Dahmardeh, M., Galavi, M., Ramroudi, M. and Narourad, M., 2022. The quantitative and qualitative characteristics of melon fruit under drought stress condition by using manure and bentonite. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(3), pp.305-318. [In Persian].

Saltveit, M.E., 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for harvested vegetables. *Acta Horticulturae*, 600(600), pp.723-727. **doi: 10.17660/actahortic.2003.600.110**

Shafie, H., Haghighi, M. and Farhadi, A., 2019. Evaluation of Responses of Iranian Melon Cultivars to Salinity Stress. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 9(1), pp.51-63. [In Persian].

Sharayei, P., 2009. Investigation of the effect of temperature and oil coating on the storage quality of melo. (Final report No. 88/735). Agricultural engineering research Institute. [In Persian].

Tedeschi, A., Lavini, A., Riccardi, M., Pulvento, C. and d'Andria, R., 2011. Melon crops (*Cucumis melo* L., cv. Tendral) grown in a mediterranean environment under saline-sodic conditions: Part I. Yield and quality. *Agricultural Water Management*, 98(9), pp.1329-1338. **doi: 10.1016/j.agwat.2011.04.007**

Vafadar, Z., Rahimmalek, M. and Nikbakht, A., 2018. Effect of salt stress and harvesting time on morphological and physiological characteristics of Myrtle (*Myrtus communis*). *Journal of Plant Process and Function*, 7(23), pp.33-44. [In Persian].

Yamin Khan, M., Abdul Rauf, A.R., Iqbal Makhdoom, I.M., Altaf Ahmad, A.A. and Masood Shah, S., 1992. Effects of saline-sodic soils on mineral composition of eight wheats under field conditions. *Sarhad Journal of Agriculture*, 8, pp.477-487. **doi: 10.3923/jas.2002.631.636**

Yeo, A.R., Lee, A.S., Izard, P., Boursier, P.J. and Flowers, T.J., 1991. Short-and long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, 42(7), pp.881-889. **doi: 10.1093/jxb/42.7.881**

Evaluation of physicochemical responses and storage of late melon (*Cucumis melon* L.) in irrigation with saline water

Soodabeh Einafshar^{1*}, Seyyed Fazel Fazeli Kakhki¹, Javad Baghani¹, Shahram Riahinia²

¹ Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, (AREEO), Mashhad, Iran

² Department of Agricultural Sciences and Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

*Corresponding Author: soodabeheyn@yahoo.com

Received: 16 August 2023 Accepted: 15 February 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.407488.1360

Abstract

Introduction: The limitation of freshwater resources is an important limitation in the growth and development of the plant, which affects the quantity and quality of production. On the other hand, the increasing population, the development of industries, the increase in cultivated area, and finally the decrease in precipitation, especially in arid and semi-arid regions, make the use of saline water in agriculture inevitable. Melon is a plant that is semi-tolerant to salinity, and different cultivars differ from each other in this respect, and this difference becomes more obvious in high salinities. This research was carried out with the aim of investigating the management of saline and conventional water consumption in late melon cultivation and its effects on the amount of sodium and potassium in plant organs, the physical characteristics of the produced fruit and its storability.

Materials and Methods: In order to investigate the content of elements sodium, potassium and the ratio of potassium to sodium in leaves, stems and roots and the quality of fresh and stored green melons irrigated with salt water, an experiment was conducted in split plot arrangement base on randomized complete block design in three replications at Torgh Mashhad Agricultural Research Station in 2020-2021 and 2021-2022. The main plot was the year and sub-plots was included different irrigation treatments: T1: control treatment, irrigation with fresh water (0.6 dS.m^{-1}), T2: irrigation with 3 dS.m^{-1} salinity, T3: irrigation with 6 dS.m^{-1} salinity, T4: irrigation with 3 dS.m^{-1} salinity from 40 days after germination to harvest, T5: irrigation with 3 dS.m^{-1} salinity from 20 days after germination to harvest, T6: irrigation with 6 dS.m^{-1} salinity from 40 days after germination to harvest and T7: irrigation with 3 dS.m^{-1} salinity from 20 days after germination to harvest.

Results and Discussion: The results of composite variation showed that the amount of sodium was increased by about 52%, 140% and 47% in the leaf, stem, and roots respectively, in comparison to control by application of T3 treatment. The stem had the greatest decrease in K/Na ratio in comparison to control by applied salinity irrigation, so the application of T3 treatment was decreased K/Na ratio in leaf, stem, and root about 40.2, 65.3, and 27.6 % in comparison to control respectively. The application of the T6 treatment had the lowest flesh weight to the whole fruit and the T5 treatment had the highest Brix of different parts of the fruit. The highest number of melons (9552 per ha^{-1}) and total yield (19.2 ton ha^{-1}) was obtained from the T1 treatment. Combining fresh water with high EC caused a further decrease in the number of melons and the total yield per hectare. Storing fruit for 14 days in cold storage did not have a significant effect on most of the measured traits, but the firmness of the fruit tissue showed a decrease of about 21% and the Brix of the fruit showed an increase of 4.3% in compare of first period in storage.

Conclusion: The use of irrigation water with less salinity in the early stages of the plant, such as the four-leaf stage and flowering time, although it caused better plant growth, but with the change (increase) in the salinity of the irrigation water, more stress was applied to the plant. The results showed that irrigation with saline water caused a cumulative increase in sodium and potassium content in leaves, stems and roots. Which was effective on changes in potassium to sodium ratio in root and stem plant. The results of the effect of salinity on the quality parameters of the fruit showed that the increase of salinity from 0.6 dS.m^{-1} to 3 dS.m^{-1} caused an increase in the flesh of the fruit to

the total weight and Brix of the fruit in all three parts of the tip, middle and the end of the fruit, which indicates that the increase in salinity through the increase in sugar has an effect on the Brix value of the fruit. The results of the traits measured before and after two months of storage in cold storage showed that although applying salinity treatments did not have a significant effect on the firmness of the fruits, the firmness increased only up to a salinity of 3 dS.m⁻¹, but during storage due to the effect environmental conditions and internal reactions of the fruit, the amount of firmness of the fruit decreased slightly and the amount of brix of different parts of the fruit increased significantly.

Keywords: Brix, Firmness of fruit texture, Fruit storage, Potassium to sodium ratio

ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی خربزه تحت شرایط کاربرد کود دامی و بنتونیت

حبیب رستمی^۱، مهدی دهمرده^{۲*}، محمد گلوی^۳، محمود رمرودی^۳، محمدرضا نارویی راد^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- ژنتیک و اصلاح نباتات، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.309564.1141

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۶

چکیده

به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی بر صفات خربزه تحت شرایط کاربرد کود دامی و بنتونیت آزمایشی به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا گردید. کرت اصلی شامل آبیاری پس از تخلیه ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت خاک و کرت فرعی شامل کاربرد بنتونیت در سطوح ۲، ۳ و ۴ تن در هکتار و استفاده از کود دامی به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی در سال اول آزمایش با میانگین ۲/۲۰ تن در هکتار و ۷۴/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. غلظت پروتئین به میزان ۰/۴۲۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ با ۸۳/۱۷ درصد افزایش نسبت به شاهد در هر دو سال با مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب به میزان ۳۲/۶۰ و ۴/۱۵ $\text{OD.g}^{-1}.\text{FW.min}^{-1}$ با ۹۹/۶۹ و ۹۲/۷۸ درصد افزایش نسبت به شاهد در سال اول با مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک و کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت مشاهده شد. به منظور دستیابی به عملکرد میوه بالاتر، آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک، کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی برای کشت در منطقه هیرمند پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، سوپرچادب، عملکرد میوه، کاتالاز، کلروفیل

مقدمه

(2011). مقایسه سهم تولید محصولات زراعی و باغی کشور نشان می‌دهد که به رغم محدودیت منابع آب و خاک در استان و حاکم بودن شرایط طبیعی، استان سیستان و بلوچستان نقش قابل توجهی در تولید برخی از محصولات باغی و زراعی در کشور دارد؛ به طوری که حدود ۹/۶۱ درصد محصولات جالیزی کشور به این استان اختصاص دارد، استان از لحاظ تولید محصولات جالیزی رتبه چهارم را داراست (Shihaki Tash, 2016). بر اساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی سیستان و بلوچستان، سطح زیر کشت محصولات جالیزی در منطقه سیستان ۹ هزار و ۵۰۰ هکتار اعلام گردیده که از این میزان در سطح پنج هزار و ۵۰۰ هکتار خربزه کشت می‌شود. به طور معمول از هر هکتار از زمین‌های زیر کشت محصولات جالیزی در این منطقه ۱۸ تن خربزه برداشت می‌شود. سالانه حدود ۹۹ هزار تن خربزه محلی در منطقه سیستان تولید می‌شود (IRNA, 2021).

سبزیجات از مهم‌ترین تولیدات اقتصادی کشور محسوب می‌شوند. نقش سبزیجات در سلامت جامعه انسانی قابل توجه است. در مجموع، مصرف سرانه سبزیجات و صیفی‌جات، ۱۴۴ کیلوگرم برآورد شده است که از میزان توصیه شده سازمان بهداشت جهانی (۱۰۱ کیلوگرم) بالاتر است. مصرف سرانه بالا برای این گروه از محصولات (به عنوان مثال مصرف سرانه خیار با ۸۱ کیلوگرم، هندوانه با ۵۴ کیلوگرم، خربزه و طالبی با ۵۴ کیلوگرم) با سطح سلامت جامعه انسانی در هر ناحیه جغرافیایی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته و یکی از ارکان سلامت جامعه را تشکیل می‌دهد (Rafezi, 2014).

خربزه (*Cucumis melo L.*) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده کدوئیان (*Cucurbitaceae*) می‌باشد که با دارا بودن ارقام و توده‌های بسیار متنوع، دامنه گسترش زیادی داشته و در بسیاری از مناطق ایران کشت می‌شود (Barzegar et al.,

(*al.*, 2017) هم‌چنین در مطالعه دیگری تأثیر سه تیمار کم آبیاری بر اساس ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه، بر رشد و عملکرد طالبی معنی‌دار بود، به طوری که با بهبود شرایط رطوبت خاک به میزان ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، شاخص کلروفیل، محتوی قند و عملکرد افزایش یافت (*Mirabad et al.*, 2013).

پرویلین به‌عنوان یکی از ترکیب‌های تنظیم‌کننده فشار اسمزی در حفظ فشار اسمزی و پایداری غشاء سلولی، مطرح است (*Ashraf and Harris*, 2013). تنش کم‌آبی باعث کاهش طول بوته، سطح برگ، وزن متوسط میوه و عملکرد و افزایش تجمع پرویلین در توده‌های خربزه ایرانی گردید (*Delshad et al.*, 2013). هم‌چنین در پژوهش دیگری تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژی و کارایی مصرف آب در توده‌های خربزه ایرانی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش تنش کم‌آبی به طور معنی‌داری میزان پرویلین را کاهش داد (*Lotfi et al.*, 2017).

گیاهان برای کاهش دادن تأثیر زیان‌بار گونه‌های فعال اکسیژن، سازوکارهای متفاوتی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به سامانه دفاع آنزیم‌های پاداکسندگی اشاره کرد. کاتالازها و پراکسیدازها از مهم‌ترین آنزیم‌های از بین برنده پراکسید هیدروژن به شمار می‌آیند (*Shen et al.*, 2010). در شرایط تنش کم‌آبی با بسته شدن روزنه‌ها ظرفیت انتقال الکترون نورساختی کاهش می‌یابد که این عامل موجب تجمع الکترون‌ها و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. تولید گونه‌های فعال اکسیژن در یاخته‌های گیاهی در فرآیند تنش باعث پراکسایش لیپیدها، غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها و اکسایش DNAها می‌شوند و گیاه برای رویارویی با این تغییرها، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را برای خنثی‌سازی فعالیت این رادیکال‌های آزاد افزایش می‌دهد (*Dat et al.*, 2000). محققان در بررسی تنش کم‌آبی بر کدوی پوست کاغذی شامل (شاهد، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله میوه‌دهی) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را مشاهده کردند (*Naeimi et al.*, 2013). در بررسی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (Cm APX) و میزان بیان ژن کد کننده آن تحت تنش شوری در توده‌های خربزه (*Cucumis melo* L.) بومی سیستان، نتایج نشان داد که در سطح شوری ۲۵۰ mM بیان

بخش وسیعی از ایران تحت تأثیر اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار داشته و در سال‌های اخیر با افزایش شدت خشک‌سالی و محدودیت در فراهمی رطوبت تولید در بخش کشاورزی با مشکلات زیادی مواجه گردیده است. از جمله روش‌های نوین در علوم آب و خاک در رویارویی با شرایط کم‌آبی و کاهش اثر سوء ناشی از تنش خشکی، استفاده از بقایای گیاهی، کود دامی، کمپوست و سوپرجاذب‌ها جهت افزایش جذب و نگهداری آب در خاک می‌باشد (*Zohuriaan-Mehr et al.*, 2010).

کودهای دامی یک منبع زیستی با ارزش هستند که علاوه بر مزایای مثبت بوم‌شناختی و محیطی در ایجاد پایداری در کشاورزی، باعث بهبود فیزیکی ساختمان خاک، افزایش قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی رطوبت، کاهش فرسایش آبی و بادی و افزایش موجودات مفید خاک می‌گردند (*Singh and Sukul*, 2019). تحقیقات صورت گرفته روی برخی گیاهان تیره کدوئین (هندوانه، طالبی و خیار) نشان داده است که افزایش مصرف کودهای شیمیایی و دامی باعث افزایش تعداد میوه در بوته و واحد سطح می‌گردد (*Eifediyi and Remison*, 2010). نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که کاربرد کود دامی یا کود ورمی‌کمپوست می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر غذایی و یا ماده آلی خاک شود و اثرات باقی‌مانده آن بر عملکرد محصول و ویژگی‌های خاک می‌تواند چندین سال پس از کاربرد کود دامی یا کمپوست باقی بماند (*Bello et al.*, 2019). محققان با بررسی سطوح مختلف آبیاری بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر (۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر) بر عملکرد دانه کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo*) اظهار داشتند آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بیشترین عملکرد دانه و میوه را به همراه داشت (*Babayee et al.*, 2012). افزایش تعداد دانه در میوه را می‌توان به دسترسی بیشتر مواد غذایی (کود) و در نتیجه افزایش فتوسنتز گیاه در مراحل پیش از گل‌دهی نسبت داد (*Razzaghifard et al.*, 2017).

بنتونیت‌ها از جمله سوپر جاذب‌های طبیعی هستند که دارای تورم‌پذیری مناسب، چسبندگی و قدرت جذب رطوبت بسیار بالا بوده و فاقد مواد شیمیایی و سازگار با محیط‌زیست هستند (*Pusch*, 2015). مصرف توأم بنتونیت و کود دامی، هم در شرایط تنش و هم در شرایط مطلوب، محتوی کلروفیل گندم را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (*Farmahini Farahani et*

این رودخانه خارج از کشور (افغانستان) قرار گرفته، بهره‌مندی اندک روستاییان از ماشین‌آلات کشاورزی مدرن، عدم وجود بیمه تولیدات بخش کشاورزی و کم‌صرفه بودن اقتصاد کشاورزی استان در مقایسه با فعالیت‌های غیر کشاورزی است (Shihaki Tash, 2016). به طور کلی با توجه اهمیت خربزه و نیاز مردم به این محصول و از طرفی با توجه به آب‌بر بودن این محصول و با در نظر گرفتن شرایط کم‌آبی کشور، نیاز به اقداماتی جهت افزایش عملکرد و مدیریت منابع آب و کود احساس می‌شود، بنابراین با توجه به اهمیت تولید خربزه و سطح کشت وسیع آن در منطقه سیستان، این تحقیق به منظور بررسی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی خربزه تحت شرایط تنش خشکی توام با مصرف کود دامی و بنتونیت در شهرستان هیرمند اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیکی خربزه تحت شرایط کاربرد کود دامی و بنتونیت طی بهار و تابستان دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان هیرمند واقع در سیستان با موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا انجام شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی نمونه خاک

Table 1- Chemical and physical properties of soil samples

بافت خاک Soil Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل Total Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب K (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی O.C (%)	روی Zn (ppm)	مس Cu (ppm)	منگنز Mn (ppm)	آهن Fe (ppm)
Loam	7.84	2.99	0.03	3.4	120	0.34	0.34	0.79	9.35	2.08

۲۵ درصد رطوبت خاک با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زابل و از رابطه (۱) برآورد گردید (Vaziri et al., 2008).

$$ETc = ET_o \times Kc \quad \text{رابطه (۱)}$$

ETc = نیاز آبی خربزه؛ ET_o = تبخیر و تعرق گیاه مرجع؛

$$Kc = \text{ضریب گیاهی خربزه}$$

لازم به ذکر است مقادیر ET_o بر اساس روش استاندارد

فائو-پنمن - مانیتث برآورد گردید (Vaziri et al., 2008).

ژن Cm APX در هر سه توده نسبت به نمونه کنترل افزایش نشان داد اما این افزایش بیان در توده قندک و سفیدک در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. در سطح شوری ۲۵۰ mM بیان ژن Cm APX در هر سه توده مورد بررسی کاهش یافت. در این سطح شوری، بیان ژن Cm APX در توده سفیدک خط‌دار به صورت معنی‌داری نسبت به نمونه کنترل در سطح پنج درصد کاهش نشان داد (Montazerinezhad et al., 2013). در بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژی و کارایی مصرف آب توده‌های خربزه ایرانی، تنش کم‌آبی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داده و محتوای نسبی آب برگ، عملکرد و میزان ویتامین ث را کاهش داد (Lotfi et al., 2017).

در حال حاضر از مهم‌ترین مشکلات و تنگناهای بخش کشاورزی استان سیستان و بلوچستان کمبود بارندگی، خشک‌سالی‌های متوالی، فقر منابع آب و خاک، پایین بودن سطح سواد و بالا بودن سن کشاورزان و دامداران استان، ضعف زیرساخت‌ها به ویژه در بخش تاسیسات ذخیره محصولات، مشکل بازاریابی و فروش بویژه در محصولات دارای مزیت نسبی استان، کمبود تاسیسات مهار و ذخیره‌سازی آب در سطح استان، بهره‌برداری سنتی و نادرست از تاسیسات آبی، کمبود منابع مالی و عدم مشارکت بخش خصوصی در اجرای پروژه‌ها، وابسته بودن منطقه سیستان به آب رودخانه هیرمند که منشا

این آزمایش به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان هیرمند طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری پس از تخلیه ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد رطوبت خاک به عنوان کرت اصلی و کاربرد بنتونیت در سطوح ۲، ۳ و ۴ تن در هکتار و استفاده از کود دامی به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند.

نیاز آبی گیاه برای تیمار شاهد شامل آبیاری پس از تخلیه

از برداشت با ترازوی دیجیتال وزن شدند و عملکرد میوه به صورت کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید (Barzegar *et al.*, 2011).

به منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئیدها، مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی ساییده شد و پس از افزودن ۲۰ میلی‌متر استون ۸۰ درصد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ گردید و جذب محلول بالای در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتوفتومتر معین شد. سپس با استفاده از روابط زیر کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه بدست آمد (Arnon, 1965).

رابطه (۲)

$$\text{Chlorophyll a} = (11/75 \times A_{664} - 2/350 \times A_{645})$$

رابطه (۳)

$$\text{Chlorophyll b} = (18/61 \times A_{645} - 3/960 \times A_{664})$$

رابطه (۴)

$$\text{Carotenoides} = 1000(A_{470}) - 2/270 \text{ (mg chl. a) - } 81/4 \text{ (mg chl. b)}/227$$

برای اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد بافت برگ ۳۵ روز پس از اعمال تنش خشکی، ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ وزن شده و در هاون چینی در محلول آبی اسید سولفوسالیسیلیک سائیده شده و مخلوط هموژنیزه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از آن، نمونه‌ها را به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سلسیوس انتقال داده و بلافاصله پس از خارج کردن از حمام آب به مدت چند دقیقه در حمام یخ قرار گرفتند. نمونه‌ها تکان داده شدند تا کاملاً یکنواخت شوند. سپس، در داخل لوله آزمایش دو فاز رویی و زیرین کاملاً از هم قابل تشخیص شده و فاز رویی را که به رنگ قرمز و حاوی پرولین محلول در تولوئن بود برداشته و در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bates *et al.*, 1973). غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ بیان گردید.

ارزیابی فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس روش (Cakmak and Horst, 1991) انجام گرفت. در این روش مقدار ۰/۲ گرم بافت منجمد شده برگ به مدت ده دقیقه سانتریفیوژ گردید. فعالیت کاتالاز با توجه به روند تجزیه پراکسید هیدروژن و در

پس از عملیات آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک و تسطیح)، کرت‌بندی انجام شد. فاصله بین کرت‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی به طول ۶ متر و عرض ۳ متر شامل ۴ ردیف کاشت بود. پس از ایجاد جوی و پشته عملیات آبیاری انجام و پس از گاورو شدن زمین کشت بذور روی ۲ ردیف کاشت در دو طرف جوی در ناحیه داغ آب به فاصله ۷۵ سانتی‌متر انجام شد. مقدار کود شیمیایی بر اساس توصیه کودی و نتایج آنالیز نمونه خاک (جدول ۱) در هر کرت فرعی شامل ۱۲ کیلوگرم کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، ۱۲ کیلوگرم کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۸ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره ۴۶ درصد همزمان با عملیات کاشت مورد استفاده قرار گرفت. کلیه عملیات داشت از قبیل تنک کردن و هرس بوته‌ها، خاک‌دهی پای بوته، وجین علف‌های هرز و کنترل آفات و بیماری‌ها، با توجه به شیوه‌ها و توصیه‌های عمومی انجام گرفت. عملیات آبیاری با استفاده از تانسیمومتر و بلوک‌های گچی در مرحله شروع گل‌دهی گیاه انجام شد (Barzegar *et al.*, 2011). ماده بنتونیت از شرکت ویوان خراسان رضوی تهیه شد. نسبت‌های مختلف بنتونیت با توجه به تیمارهای آزمایش به میزان ۲، ۳ و ۴ تن در هکتار و سطوح کود دامی به میزان ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار در هنگام کاشت با خاک مخلوط گردیدند (Farmahini Farahani *et al.*, 2017). رقم خربزه مورد استفاده از توده محلی به نام قندک زعفرانی بود که از سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان هیرمند تهیه شد (سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان هیرمند).

عملیات برداشت میوه‌ها یک هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیک و با مشاهده تغییرات در رنگ یا شبکه‌بندی روی میوه انجام شد. جهت برآورد وزن خشک برگ و ساقه، وزن تر برگ و ساقه تعداد ۵ بوته از هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و پس از برداشت با ترازوی دیجیتال بر اساس گرم وزن شد، سپس نمونه‌ها در دمای ۶۵ درجه به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک گردید. در نهایت نمونه‌ها وزن شده و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد (Barzegar *et al.*, 2011). اندازه‌گیری طول میوه و عرض میوه در هر بوته با استفاده از متر بر حسب سانتی‌متر انجام شد. هم‌چنین میانگین تعداد میوه در بوته برای ۵ بوته در هر پلات اندازه‌گیری گردید. به منظور ارزیابی عملکرد میوه، تعداد ۵ میوه از هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و پس

و شیمیایی خاک بهبود یافته و گیاه در سال دوم با استفاده از این بهبود شرایط توانسته رشد بهتری نماید. در برخی پژوهش‌ها نیز افزایش نرخ فتوسنتز در شرایط کاربرد کودهای آلی شامل کود اسبی و ضایعات کمپوست خانگی (Jannoura *et al.*, 2014) گزارش شده است. این نتایج هم‌سو با تحقیق دیگر محققان است. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کم‌آبیاری به طور قابل توجهی عملکرد ماده خشک را به میزان ۱۰ درصد در سال ۲۰۰۸ و ۹ درصد در سال ۲۰۰۹ کاهش داد (Gholamhoseini *et al.*, 2013). در پژوهش دیگری گزارش گردید که تیمارهای تنش آبی، زئولیت و هیدروژل سوپر جاذب تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشتند. شاخص‌های اندازه‌گیری شده افزایش عملکرد و راندمان مصرف آب را در هنگام استفاده زئولیت و هیدروژل سوپر جاذب نشان دادند (Moradi-Ghahderijani *et al.*, 2017). همچنین نتایج پژوهش دیگری بر آفتابگردان نشان داد که برهمکنش تیمارهای آبیاری و حاصلخیزی خاک بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار بود (Khodaii Jaghan, 2015).

تعداد میوه در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که تعداد میوه در بوته خربزه با احتمال خطای یک درصد تحت اثر سال و اثرات متقابل آبیاری، بنتونیت و کود دامی قرار گرفت (جدول ۲). به طوری که بیشترین تعداد میوه در بوته در سال دوم (۱/۴۰ عدد) و در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار کود دامی (۱/۶۸ عدد) به دست آمد. در مقابل کمترین تعداد میوه در بوته در سال اول آزمایش (۱/۱۳ عدد) و تحت تأثیر آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی (۰/۸۳ عدد) مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش آبیاری در سال اول آزمایش به طور قابل ملاحظه‌ای موجب کاهش فتوسنتز گیاه نسبت به سال دوم آزمایش شده که در نهایت بر تعداد میوه در بوته خربزه اثر می‌گذارد. به نظر می‌رسد که در شرایط عدم وجود تنش آبی در طول دوره پر شدن میوه‌ها، گیاه می‌تواند مواد فتوسنتزی بیشتری به میوه‌ها منتقل کند. در نتیجه باعث افزایش وزن میوه و عملکرد آن‌ها خواهد شد. کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت بدلیل ظرفیت بالای نگهداری آب هنگامی که با خاک مخلوط می‌گردد، باعث افزایش آب قابل دسترس ریشه و هم‌چنین جذب

نتیجه کاهش جذب در ۲۴۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس روش (Chance and Maehly, 1995) ارزیابی شد. تغییر رنگ مخلوط واکنش و افزایش در جذب نوری در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش، بررسی آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و ترسیم جداول با استفاده از نرم‌افزار Word انجام گرفت. به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک ساقه و برگ

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ خربزه با احتمال خطای یک درصد تحت اثرات متقابل سال، آبیاری، بنتونیت و کود دامی قرار گرفت (جدول ۲). به طوری که بیشترین وزن خشک ساقه (۱۵/۴۰ گرم) و وزن خشک برگ (۲۶/۴۴ گرم) در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۳ تن در هکتار بنتونیت و به ترتیب ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. در مقابل، کمترین وزن خشک ساقه در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی (۰/۳۳ گرم)؛ و نیز کمترین وزن خشک برگ در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۳۰ تن در هکتار کود دامی (۶/۴۹ گرم) مشاهده شد (جدول ۳). با کاهش آب قابل دسترس گیاه در اثر تنش آبی تقسیم سلولی و افزایش اندازه سلول، در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال کاهش می‌یابد و در نتیجه آن به طور کلی رشد رویشی گیاه کاهش محسوسی خواهد یافت و گیاه وزن خشک کمتری خواهد داشت. افزایش وزن خشک ساقه و برگ در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۳ تن در هکتار بنتونیت و ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار کود دامی را می‌توان به نرخ فتوسنتزی بالاتر و تولید ماده خشک بیشتر با توجه به اثرات مثبت آبیاری و کارایی مصرف آب بالاتر، بنتونیت و کود دامی بر مطلوبیت شرایط رشد گیاه نسبت داد. در سال دوم بدلیل ایجاد فرصت کافی در انجام فعل و انفعالات خاک در سال اول، شرایط فیزیکی

مواد غذایی شده و در نتیجه تعداد میوه افزایش یافته است. در یک مطالعه دیگر در بررسی تأثیر تنش خشکی تحت شرایط ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (تبخیر و تعرق گیاهی (ET_c))، کاهش تعداد میوه و عملکرد قابل فروش خربزه گزارش گردید (Sharma *et al.*, 2014). اثرات بنتونیت بر رشد و عملکرد خربزه نشان داد که کاربرد این ماده در شرایط تنش، باعث بهبود صفات رویشی و کاهش اثرات تنش خشکی و عملکرد آن می‌گردد (Nastari Nasrabadi *et al.*, 2015).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات زراعی خربزه تحت تأثیر سال × آبیاری × بنتونیت × کود دامی

Table 2- Analysis of variance of melon agronomic characteristics under the influence of year × irrigation × bentonite × animal manure

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of Squares					
		وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک برگ Leaves dry weight	میوه در بوته Fruit per plant	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width	عملکرد کل Total yield
سال Year	1	19.81 **	5654.2 **	3.059 **	14.42 **	6.00 ns	0.457 **
تکرار (سال) Replication (Year)	4	0.347 ns	9.37 ns	0.104 ns	2.69 ns	1.28 ns	0.040 *
آبیاری Irrigation	2	57.52 **	78.95 **	1.725 **	42.78 **	15.19 **	2.024 **
سال × آبیاری Year × irrigation	2	25.16 **	146.32 **	1.649 **	73.68 **	30.41 **	2.681 **
تکرار × آبیاری (سال) Replication × irrigation (Year)	8	0.173 ns	9.33 ns	0.118 *	1.93 ns	1.79 ns	0.004 ns
بنتونیت Bentonite	2	24.53 **	39.80 **	0.746 *	3.13 ns	6.73 *	0.251 **
آبیاری × بنتونیت Irrigation × Bentonite	4	17.19 **	30.17 **	0.065 ns	21.53 **	15.73 **	0.084 **
سال × بنتونیت Year × Bentonite	2	34.03 **	16.09 *	0.388 **	2.03 ns	0.045 ns	0.391 **
سال × آبیاری × بنتونیت Year × Irrigation × Bentonite	4	46.52 **	25.30 **	0.242 **	15.51 **	13.71 **	0.132 **
کود دامی Animal manure	2	32.31 **	16.25 *	1.125 **	10.60 **	14.44 **	0.207 **
آبیاری × کود دامی Irrigation × Animal manure	4	2.65 **	7.77 ns	0.068 ns	2.19 ns	3.05 ns	0.279 **
بنتونیت × کود دامی Bentonite × Animal manure	4	22.87 **	9.46 ns	0.139 *	0.273 ns	5.23 *	0.277 **
سال × کود دامی Year × Animal manure	2	33.88 **	11.48 ns	1.490 **	8.16 *	4.28 ns	0.072 **
سال × آبیاری × کود دامی Year × Irrigation × Animal manure	4	20.59 **	12.87 *	0.025 ns	12.80 **	6.69 **	0.373 **
سال × بنتونیت × کود دامی Year × Bentonite × Animal manure	4	44.44 **	8.07 ns	0.014 ns	5.57 *	9.99 **	0.275 **
آبیاری × بنتونیت × کود دامی Irrigation × Bentonite × Animal manure	8	13.89 **	23.32 **	0.160 **	7.63 **	1.72 ns	0.143 **
سال × آبیاری × بنتونیت × کود دامی Year × Irrigation × Bentonite × Animal manure	8	12.26 **	17.19 **	0.049 ns	12.51 **	3.35 *	0.229 **
خطای آزمایشی Error	96	0.56	4.90	0.053	1.79	1.56	0.013
ضریب پراکندگی Coefficient of Variation (%)	-	11.10	13.05	18.17	10.32	12.71	9.48

ns: غیر معنی‌دار؛ * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant; * and **: significant at five and one percent probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی خربزه تحت تاثیر آبیاری × بنتونیت × کود دامی

Table 3- Means Comparison of melon agronomic characteristics under the influence of year × irrigation × bentonite × animal manure

تیمارهای آزمایشی Treatments	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)		وزن خشک برگ Leaves dry weight (g)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
	I ₁ B ₁ A ₁	2.98 st	11.49 c	7.18 op
I ₁ B ₁ A ₂	2.586 t	4.323 pqr	6.49 p	21.35 b-e
I ₁ B ₁ A ₃	0.33 u	7.003 g-j	6.85 op	22.86 a-d
I ₁ B ₂ A ₁	3.356 rst	5.70 j-p	7.97 nop	22.85 a-d
I ₁ B ₂ A ₂	5.74 j-p	6.936 g-j	7.35 op	18.79 def
I ₁ B ₂ A ₃	5.41 k-q	9.360 de	7.59 op	17.60 efg
I ₁ B ₃ A ₁	4.973 n-q	7.413 ghi	8.94 l-p	21.80 bcd
I ₁ B ₃ A ₂	6.07 i-n	5.180 l-q	8.70 m-p	21.55 b-e
I ₁ B ₃ A ₃	5.86 j-o	7.776 fgh	14.82 ghi	22.85 a-d
I ₂ B ₁ A ₁	4.833 n-q	5.30 k-q	8.47 m-p	23.56 abc
I ₂ B ₁ A ₂	6.213 i-n	5.686 j-p	8.73 m-p	21.34 b-e
I ₂ B ₁ A ₃	5.636 j-p	4.813 n-q	13.24 h-l	23.04 a-d
I ₂ B ₂ A ₁	6.58 h-m	6.28 i-n	9.57 k-p	24.32 abc
I ₂ B ₂ A ₂	9.30 de	6.69 g-k	13.46 h-k	23.86 abc
I ₂ B ₂ A ₃	10.15 d	11.94 c	9.62 k-p	22.78 a-d
I ₂ B ₃ A ₁	5.88 j-o	4.49 o-r	10.55 i-p	22.65 a-d
I ₂ B ₃ A ₂	4.88 n-q	6.20 i-n	12.76 h-m	19.97 c-f
I ₂ B ₃ A ₃	7.78 fgh	11.41 c	11.18 i-o	25.23 ab
I ₃ B ₁ A ₁	4.45 o-r	8.983 def	11.17 i-o	25.74 ab
I ₃ B ₁ A ₂	5.09 m-q	7.80 fgh	14.37 g-j	23.14 a-d
I ₃ B ₁ A ₃	6.61 h-l	12.26 c	13.07 h-l	24.99 ab
I ₃ B ₂ A ₁	6.276 i-n	8.076 efg	22.50 a-d	24.49 ab
I ₃ B ₂ A ₂	5.896 j-o	15.403 a	13.10 h-l	22.17 a-d
I ₃ B ₂ A ₃	6.706 g-k	8.886 def	16.59 fgh	26.44 a
I ₃ B ₃ A ₁	5.3767 k-q	4.83 n-q	12.39 h-m	25.70 ab
I ₃ B ₃ A ₂	4.0467 qrs	7.06 g-j	12.00 i-n	24.63 ab
I ₃ B ₃ A ₃	7.4333 ghi	13.79 b	10.08 j-p	21.58 b-e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. تنش آبیاری پس از تخلیه ۲۵ (I₁)، ۵۰ (I₂) و ۷۵ (I₃) درصد رطوبت خاک به عنوان کرت اصلی و ترکیب کاربرد بنتونیت شامل ۲ (B₁)، ۳ (B₂) و ۴ (B₃) تن در هکتار و کود دامی شامل ۲۰ (A₁)، ۳۰ (A₂) و ۴۰ (A₃) تن در هکتار به عنوان کرت فرعی.

In each column, the means with similar letters, according to Duncan's Multiple Range Test, did not differ significantly at the five percent probability level.

Drought stress including 25 (I₁), 50 (I₂) and 75 (I₃) percent soil moisture discharge as the main plot and the combination of bentonite application including 2 (B₁), 3 (B₂) and 4 (B₃) tons per hectare Animal manure included 20 (A₁), 30 (A₂) and 40 (A₃) tons per hectare as subplots.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی خربزه تحت تاثیر آبیاری × بنتونیت × کود دامی

Continue of Table 3- Means Comparison of melon agronomic characteristics under the influence of year × irrigation × bentonite × animal manure

تیمارهای آزمایشی Treatments	تعداد میوه در بوته	طول میوه		عرض میوه		عملکرد کل	
	Fruit per plant	Fruit length (Cm)		Fruit width (Cm)		Total yield (ton.ha ⁻¹)	
	میانگین دو سال	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
	Means of two year	First year	Second year	First year	Second year	First year	Second year
I ₁ B ₁ A ₁	0.83 j	8.83 o	9.08 no	5.66 i	9.00 d-g	0.57 p	0.97 mn
I ₁ B ₁ A ₂	1.25 c-h	9.00 no	10.08 mno	6.83 ghi	9.16 d-g	1.11 j-m	1.02 k-n
I ₁ B ₁ A ₃	1.55 abc	12.10 f-m	11.25 i-o	7.40 f-i	11.35 a-d	1.54 de	1.18 g-m
I ₁ B ₂ A ₁	0.85 j	9.16 no	9.10 no	6.20 hi	9.76 b-f	0.65 op	0.99 lmn
I ₁ B ₂ A ₂	0.93 ij	11.76 g-m	12.46 e-m	9.73 b-f	10.01 b-e	0.66 op	1.10 klm
I ₁ B ₂ A ₃	1.13 e-j	12.50 e-m	12.98 d-l	10.80 a-d	10.03 b-e	1.13 i-m	1.23 f-k
I ₁ B ₃ A ₁	0.90 j	10.83 k-o	10.75 k-o	6.83 ghi	9.51 c-f	0.67 op	1.04 k-n
I ₁ B ₃ A ₂	1.08 f-j	11.50 h-n	12.98 d-l	10.06 b-e	9.76 b-f	0.73 op	1.04 k-n
I ₁ B ₃ A ₃	1.28 c-h	12.33 f-m	13.91 c-i	10.50 a-e	10.80 a-d	0.83 no	1.33 e-j
I ₂ B ₁ A ₁	1.00 hij	12.76 e-l	11.58 h-n	6.83 ghi	10.50 a-e	0.70 op	1.10 klm
I ₂ B ₁ A ₂	1.11 e-j	13.83 c-i	12.08 f-m	7.36 f-i	10.50 a-e	0.72 op	1.11 j-m
I ₂ B ₁ A ₃	1.30 c-h	13.96 c-i	13.75 c-i	9.75 b-f	10.80 a-d	0.85 no	1.34 d-i
I ₂ B ₂ A ₁	1.08 f-j	13.00 d-l	12.76 e-l	7.00 ghi	10.16 b-e	1.00 lmn	1.10 klm
I ₂ B ₂ A ₂	1.21 d-i	15.50 a-d	15.91 abc	7.00 ghi	11.00 a-d	1.10 klm	1.15 h-m
I ₂ B ₂ A ₃	1.41 a-e	16.10 abc	16.08 abc	9.00 d-g	11.40 a-d	1.13 i-m	1.43 def
I ₂ B ₃ A ₁	1.26 c-h	13.83 c-i	11.56 h-n	8.10 e-h	10.50 a-e	1.10 klm	1.08 klm
I ₂ B ₃ A ₂	1.48 a-d	14.41 a-g	12.46 e-m	9.16 d-g	10.70 a-d	1.23 f-k	1.35 d-g
I ₂ B ₃ A ₃	1.48 a-d	14.70 a-f	13.59 c-j	10.00 b-e	10.80 a-d	1.23 f-k	1.47 de
I ₃ B ₁ A ₁	1.03 g-j	13.00 d-l	12.60 e-m	10.06 b-e	9.73 b-f	1.00 lmn	1.40 d-g
I ₃ B ₁ A ₂	1.33 b-g	13.98 c-h	13.09 d-l	10.50 a-e	10.80 a-d	1.00 lmn	1.75 c
I ₃ B ₁ A ₃	1.55 abc	15.16 a-e	13.25 d-k	10.80 a-d	10.86 a-d	1.10 klm	2.00 b
I ₃ B ₂ A ₁	1.36 b-f	13.00 d-l	10.41 l-o	10.06 b-e	10.96 a-d	1.04 k-n	1.53 de
I ₃ B ₂ A ₂	1.36 b-f	14.33 b-g	10.91 j-o	10.16 b-e	11.50 a-d	1.15 h-m	1.76 c
I ₃ B ₂ A ₃	1.62 ab	16.10 abc	16.25 abc	10.86 a-d	12.26 ab	1.21 g-l	2.15 ab
I ₃ B ₃ A ₁	1.41 a-e	14.16 c-h	12.06 f-m	10.80 a-d	10.76 a-d	1.11 j-m	1.55 d
I ₃ B ₃ A ₂	1.61 ab	14.73 a-f	13.58 c-j	10.80 a-d	11.03 a-d	1.33 e-j	1.80 c
I ₃ B ₃ A ₃	1.68 a	16.91 ab	17.00 a	11.76 abc	12.86 a	1.36 d-g	2.20 a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تنش آبیاری پس از تخلیه ۲۵ (I₁)، ۵۰ (I₂) و ۷۵ (I₃) درصد رطوبت خاک به عنوان کرت اصلی و ترکیب کاربرد بنتونیت شامل ۲ (B₁)، ۳ (B₂) و ۴ (B₃) تن در هکتار و کود دامی شامل ۲۰ (A₁)، ۳۰ (A₂) و ۴۰ (A₃) تن در هکتار به عنوان کرت فرعی.

In each column, the means with similar letters, according to Duncan's Multiple Range Test, did not differ significantly at the five percent probability level.

Drought stress including 25 (I₁), 50 (I₂) and 75 (I₃) percent soil moisture discharge as the main plot and the combination of bentonite application including 2 (B₁), 3 (B₂) and 4 (B₃) tons per hectare Animal manure included 20 (A₁), 30 (A₂) and 40 (A₃) tons per hectare as subplots.

طول و عرض میوه

کمترین طول میوه (۸/۸۳ سانتی‌متر) و کمترین عرض میوه (۵/۶۶ سانتی‌متر) در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد (جدول ۳). استفاده از ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک باعث افزایش جذب عناصر غذایی و نگهداری آب در خاک شده است. لذا به نظر می‌رسد به دنبال افزایش آب و فراهمی

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات متقابل سال، آبیاری، بنتونیت و کود دامی بر طول و عرض میوه خربزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوری که بیشترین طول میوه (۱۷ سانتی‌متر) و بیشترین عرض میوه (۱۲/۸۶ سانتی‌متر) در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی به دست آمد. در مقابل

افزایش نسبت به شاهد و در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۳ تن در هکتار بنتونیت همراه با ۴۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۱/۳۶ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. در مقابل عملکرد میوه در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۳ تن در هکتار بنتونیت همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۱/۹۲ برابر نسبت به شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳). در این آزمایش تأثیرپذیری بیشتر وزن و عملکرد میوه در سال اول می‌تواند به رشد سریع‌تر شاخساره و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در اثر آزادسازی عناصر کود دامی جهت استفاده گیاه و تأثیر فعل و انفعالات خاک در سال اول، و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و گیاه در سال دوم تحت شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک مربوط باشد. عدم تغییرات چشم‌گیر عملکرد میوه در سال دوم تحت سطوح مختلف آبیاری نشان‌دهنده این است که افزایش عملکرد بیشتر متأثر از سطوح بنتونیت و کود دامی بوده است. به نظر می‌رسد که عدم وجود تنش آبی باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه می‌شود و گیاه نیز در طول دوره پر شدن میوه‌ها، می‌تواند مقدار آسمیلات بیشتری را به میوه‌ها منتقل نماید. در نتیجه باعث افزایش وزن میوه و عملکرد آن‌ها خواهد شد (Ilkae *et al.*, 2010).

در شرایط استفاده از بنتونیت به دلیل افزایش نگهداری آب موجود در محلول خاک از یک طرف و افزایش فراهمی عناصر غذایی موجود در کود دامی از طرف دیگر کارایی جذب عناصر افزایش یافته و در نتیجه باعث بهبود عملکرد میوه شده است، به طوری که بین سطوح آبیاری اختلاف چندانی مشاهده نمی‌شود. این نتیجه با نتایج مطالعه اثربخشی آلومینوسیلیکات‌های طبیعی در تعدیل اثرات تنش خشکی بر پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت مطابقت داشت (Kojic *et al.*, 2012). نتایج حاصل از اندازه‌گیری آن‌ها بر پتانسیل آب و محتوای پرولین نشان می‌دهد که عناصر غذایی در شرایط تنش آبی اثر محافظتی بر ریشه و برگ گیاهان ذرت دارند و این تأثیر در برگ‌ها آشکارتر است. در مطالعات دیگری روی خربزه با کاهش آب قابل دسترس، تعداد میوه و عملکرد قابل فروش به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت (Barzegar *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2014).

عناصر غذایی دسترس گیاه بر تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافته و توانسته سبب افزایش توزیع، اختصاص و ارسال مواد فتوسنتزی به سوی اندام‌های مصرف‌کننده و در نتیجه بهبود طول و عرض میوه شود. می‌تواند کاهش وزن میوه بدلیل کاهش رشد گیاه و فتوسنتز همراه با پیری برگ‌ها در اثر تنش باشد. سایر محققان گزارش کردند که متوسط وزن میوه در طالبی و خربزه تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد کشاورزپور و رشیدی (Keshavarzpour and Rashidi, 2011; Mani, 2014).

تأثیر مثبت بنتونیت می‌تواند در نتیجه بهبود ساختار فیزیکی خاک و افزایش قدرت جذب و نگهداری آب توسط آن باشد که در نهایت موجب افزایش فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود. در یک پژوهش دیگر با کاربرد سوپرچادب افزایش قطر میوه خیار نسبت به شاهد گزارش گردید (Najafi Alishah *et al.*, 2013). تأثیر کود دامی در رشد گیاه را می‌توان به مقدار زیادی به مواد مغذی معدنی به‌ویژه نیتروژن جذب شده نسبت داد. علاوه بر این افزایش تجزیه مواد آلی و معدنی کردن فسفر موجود در مواد آلی و تبدیل آن‌ها به شکل قابل‌استفاده گیاه نقش کلیدی را در چرخه فسفر خاک ایفا کرده و در کنار استفاده از بنتونیت موجب تقویت ساختمان فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و در نهایت با افزایش آب و فراهمی عناصر غذایی قابل دسترس گیاه بر فرایند فتوسنتز تأثیر مثبت گذاشته و می‌تواند سبب افزایش طول و عرض میوه شوند. نتایج بررسی دیگری نشان داد بیشترین عملکرد هندوانه ابوجهل در شرایط آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و مصرف ۶۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (Marvi *et al.*, 2020).

عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس مرکب در هر دو سال آزمایش نشان داد که اثرات متقابل سال، آبیاری، بنتونیت و کود دامی بر عملکرد میوه با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد میوه در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی با میانگین ۲/۲۰ تن در هکتار و ۷۴/۱ درصد

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی گیاه خربزه تحت تاثیر سال × آبیاری × بنتونیت × کود دامی

Table 4- Analysis of variance of melon stem and leaves characteristics under the influence of year × irrigation × bentonite × animal manure

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of Squares					
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase
سال Year	1	0.2987 **	0.3558 **	1.2987 **	0.0141 **	15.30 **	0.838 **
تکرار (سال) Replication (Year)	4	0.0917 **	0.0017 *	0.0863 **	0.0001 ns	1.197 *	0.046 ns
آبیاری Irrigation	2	0.4625 **	0.0343 **	0.4475 **	0.0079 **	117.7 **	1.096 **
سال × آبیاری Year × irrigation	2	0.2327 **	0.0610 **	0.5230 **	0.0141 **	79.54 **	1.263 **
تکرار × آبیاری (سال) Replication × irrigation (Year)	8	0.0938 **	0.0002 ns	0.0955 **	0.0001 *	0.165 ns	0.027 ns
بنتونیت Bentonite	2	0.2009 **	0.0168 **	0.3250 **	0.0064 **	21.11 **	1.426 **
آبیاری × بنتونیت Irrigation × Bentonite	4	0.1065 **	0.0293 **	0.2200 **	0.0107 **	94.32 **	0.764 **
سال × بنتونیت Year × Bentonite	2	0.3791 **	0.0137 **	0.4139 **	0.0075 **	21.81 **	2.631 **
سال × آبیاری × بنتونیت Year × Irrigation × Bentonite	4	0.1460 **	0.0056 **	0.1234 **	0.0105 **	201.2 **	0.700 **
کود دامی Animal manure	2	0.4413 **	0.0122 **	0.3523 **	0.0035 **	244.1 **	4.487 **
آبیاری × کود دامی Irrigation × Animal manure	4	0.2267 **	0.0213 **	0.2967 **	0.0211 **	74.12 **	1.870 **
بنتونیت × کود دامی Bentonite × Animal manure	4	0.0958 **	0.0303 **	0.1635 **	0.0186 **	96.50 **	1.240 **
سال × کود دامی Year × Animal manure	2	0.4401 **	0.0174 **	0.6332 **	0.0162 **	65.41 **	3.658 **
سال × آبیاری × کود دامی Year × Irrigation × Animal manure	4	0.0838 **	0.0058 **	0.0850 **	0.0224 **	84.62 **	0.548 **
سال × بنتونیت × کود دامی Year × Bentonite × Animal manure	4	0.0708 *	0.0449 **	0.0926 **	0.0286 **	63.01 **	2.630 **
آبیاری × بنتونیت × کود دامی Irrigation × Bentonite × Animal manure	8	0.0396 ns	0.0322 **	0.0967 **	0.0038 **	127.2 **	1.167 **
سال × آبیاری × بنتونیت × کود دامی Year × Irrigation × Bentonite × Animal manure	8	0.0633 **	0.0418 **	0.0890 **	0.0030 **	46.73 **	2.876 **
خطای آزمایشی Error	96	0.0229	0.0005	0.0230	0.0001	0.415	0.049
ضریب پراکندگی Coefficient of Variation (%)	-	14.19	5.41	10.25	4.44	7.40	14.813

ns: غیر معنی دار؛ * و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant; * And **: significant at five and one percent probability levels, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژی گیاه خربزه تحت تاثیر آبیاری × بنتونیت × کود دامی

Table 5- Means Comparison of melon physiological characteristics under the influence of year × irrigation × bentonite × animal manure

تیمارهای آزمایشی Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)		کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)		کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g ⁻¹)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
	I ₁ B ₁ A ₁	0.49 s	0.78 m-r	0.27 t	0.35 n-q	0.80 u
I ₁ B ₁ A ₂	0.62 qrs	0.87 k-q	0.29 st	0.35 m-q	0.98 stu	1.49 f-m
I ₁ B ₁ A ₃	0.73 n-s	1.08 c-l	0.31 rst	0.46 def	1.09 p-t	1.64 c-j
I ₁ B ₂ A ₁	0.51 rs	0.88 k-q	0.29 st	0.39 i-m	0.90 tu	1.12 o-t
I ₁ B ₂ A ₂	0.67 p-s	0.96 h-o	0.31 rst	0.40 h-l	1.48 f-m	1.48 f-m
I ₁ B ₂ A ₃	0.73 o-s	1.14 b-k	0.32 q-t	0.45 d-g	1.65 c-j	1.53 d-l
I ₁ B ₃ A ₁	0.67 p-s	0.94 i-p	0.29 st	0.36 k-p	0.99 r-u	1.24 l-s
I ₁ B ₃ A ₂	1.04 e-m	1.15 a-k	0.31 rst	0.40 i-m	1.49 f-m	1.26 l-s
I ₁ B ₃ A ₃	1.19 a-j	1.30 a-g	0.41 h-l	0.46 def	1.50 e-m	1.61 c-j
I ₂ B ₁ A ₁	0.97 h-o	0.99 g-o	0.32 qrs	0.32 p-s	1.07 q-u	1.39 g-o
I ₂ B ₁ A ₂	1.24 a-i	1.02 e-o	0.39 j-n	0.40 h-l	1.36 i-q	1.42 g-n
I ₂ B ₁ A ₃	1.26 a-h	1.16 a-k	0.40 i-m	0.43 f-i	1.67 c-i	1.62 c-j
I ₂ B ₂ A ₁	0.92 j-p	0.80 l-q	0.37 l-p	0.41 h-k	1.27 l-s	1.13 n-t
I ₂ B ₂ A ₂	1.05 e-m	1.03 e-m	0.40 i-m	0.46 def	1.37 h-p	1.44 g-m
I ₂ B ₂ A ₃	1.38 a-d	1.17 a-k	0.41 h-l	0.88 a	1.76 b-f	1.62 c-j
I ₂ B ₃ A ₁	1.08 d-m	1.08 c-l	0.35 n-r	0.33 o-r	1.38 g-p	1.44 g-m
I ₂ B ₃ A ₂	1.07 e-m	1.10 c-l	0.38 j-o	0.43 f-i	1.54 d-l	1.67 c-h
I ₂ B ₃ A ₃	1.23 a-j	1.17 a-k	0.46 def	0.81 b	1.63 c-j	1.80 b-e
I ₃ B ₁ A ₁	1.02 e-n	1.01 f-o	0.37 k-o	0.41 g-j	1.40 g-o	1.35 j-q
I ₃ B ₁ A ₂	1.15 a-k	1.19 a-j	0.40 i-m	0.48 de	1.46 f-m	1.61 c-j
I ₃ B ₁ A ₃	1.32 a-f	1.41 ab	0.46 d-g	0.57 c	1.76 b-f	1.88 bc
I ₃ B ₂ A ₁	1.14 a-k	1.15 a-k	0.34 o-r	0.44 e-h	1.28 k-r	1.62 c-j
I ₃ B ₂ A ₂	1.19 a-j	1.27 a-h	0.37 k-p	0.46 def	1.58 c-k	1.76 b-f
I ₃ B ₂ A ₃	1.25 a-i	1.43 ab	0.44 f-i	0.49 d	1.62 c-j	2.02 ab
I ₃ B ₃ A ₁	0.93 j-p	1.21 a-j	0.37 k-p	0.40 h-l	1.20 m-s	1.68 c-g
I ₃ B ₃ A ₂	1.11 c-k	1.45 a	0.37 k-o	0.45 d-g	1.48 f-m	1.83 bcd
I ₃ B ₃ A ₃	1.39 abc	1.32 a-e	0.38 j-n	0.49 d	1.77 b-f	2.21 a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. تنش آبیاری پس از تخلیه ۲۵ (I₁)، ۵۰ (I₂) و ۷۵ (I₃) درصد رطوبت خاک به عنوان کرت اصلی و ترکیب کاربرد بنتونیت شامل ۲ (B₁)، ۳ (B₂) و ۴ (B₃) تن در هکتار و کود دامی شامل ۲۰ (A₁)، ۳۰ (A₂) و ۴۰ (A₃) تن در هکتار به عنوان کرت فرعی.

In each column, the means with similar letters, according to Duncan's Multiple Range Test, did not differ significantly at the five percent probability level.

Drought stress including 25 (I₁), 50 (I₂) and 75 (I₃) percent soil moisture discharge as the main plot and the combination of bentonite application including 2 (B₁), 3 (B₂) and 4 (B₃) tons per hectare Animal manure included 20 (A₁), 30 (A₂) and 40 (A₃) tons per hectare as subplots.

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژی گیاه خربزه تحت تاثیر آبیاری × بنتونیت × کود دامی

Continue of Table 5- Means Comparison of melon physiological characteristics under the influence of year × irrigation × bentonite × animal manure

تیمارهای آزمایشی Treatments	پرولین Proline ($\mu\text{m.g}^{-1}$)		کاتالاز Catalase ($\text{OD.g}^{-1}.\text{FW.min}^{-1}$)		پراکسیداز Peroxidase ($\text{OD.g}^{-1}.\text{FW.min}^{-1}$)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
	I ₁ B ₁ A ₁	0.422 a	0.258 d	10.83 gh	5.20 q-t	1.947 d-g
I ₁ B ₁ A ₂	0.306 c	0.243 e	15.30 d	7.33 mn	2.290 d	1.757 e-i
I ₁ B ₁ A ₃	0.184 ghi	0.156 m-p	32.60 a	12.57 ef	4.157 a	2.150 de
I ₁ B ₂ A ₁	0.240 e	0.243 e	13.53 e	5.40 qrs	1.317 j-p	0.733 s-v
I ₁ B ₂ A ₂	0.207 f	0.193 g	17.00 c	11.38 gh	1.617 f-k	1.293 j-p
I ₁ B ₂ A ₃	0.157 m-p	0.134 r-u	18.93 b	11.53 fg	3.527 b	2.133 de
I ₁ B ₃ A ₁	0.342 b	0.190 gh	5.67 pqr	3.98 uv	1.157 l-s	0.983 o-u
I ₁ B ₃ A ₂	0.183 g-j	0.153 nop	11.27 gh	8.43 klm	1.617 f-k	1.557 g-m
I ₁ B ₃ A ₃	0.176 ijk	0.134 r-u	14.80 d	9.67 ij	3.057 c	2.017 def
I ₂ B ₁ A ₁	0.184 ghi	0.151 opq	3.77 v	2.50 w	1.153 l-s	0.733 s-v
I ₂ B ₁ A ₂	0.170 j-m	0.121 uvw	8.30 klm	7.32 mn	1.233 k-q	1.127 m-t
I ₂ B ₁ A ₃	0.140 q-t	0.111 wx	14.73 d	9.17 jk	2.247 d	1.793 e-i
I ₂ B ₂ A ₁	0.183 g-j	0.145 oqr	5.88 opq	1.70 wx	0.950 p-u	0.733 s-v
I ₂ B ₂ A ₂	0.170 j-m	0.123 uvw	11.53 fg	6.74 nop	1.617 f-k	1.020 n-u
I ₂ B ₂ A ₃	0.167 k-n	0.126 tuv	14.71 d	8.74 jkl	2.823 c	1.933 d-g
I ₂ B ₃ A ₁	0.178 h-k	0.170 j-m	6.95 no	1.36 xy	0.823 q-v	0.790 r-v
I ₂ B ₃ A ₂	0.164 k-o	0.140 qrs	7.53 lmn	6.77 nop	1.317 j-p	0.747 r-v
I ₂ B ₃ A ₃	0.157 m-p	0.127 s-v	14.61 d	8.33 klm	2.793 c	1.930 d-g
I ₃ B ₁ A ₁	0.172 i-l	0.170 j-m	7.53 lmn	1.20 xyz	0.800 r-v	0.703 tuv
I ₃ B ₁ A ₂	0.157 m-p	0.133 r-u	11.63 fg	5.00 q-u	1.523 g-m	0.823 q-v
I ₃ B ₁ A ₃	0.131 r-v	0.098 yz	13.16 e	7.61 lmn	1.920 d-h	1.700 f-j
I ₃ B ₂ A ₁	0.172 i-l	0.161 l-o	7.22 mn	0.40 yz	0.603 uvw	0.593 uvw
I ₃ B ₂ A ₂	0.167 k-n	0.104 xy	10.28 hi	4.27 s-v	1.410 i-o	0.917 p-v
I ₃ B ₂ A ₃	0.160 l-o	0.089 z	11.72 fg	8.33 klm	1.660 f-k	1.590 f-l
I ₃ B ₃ A ₁	0.131 r-v	0.074 za	5.42 qr	0.10 z	0.493 vw	0.300 w
I ₃ B ₃ A ₂	0.119 vw	0.075 za	4.15 tuv	0.23 yz	1.450 i-n	1.177 l-r
I ₃ B ₃ A ₃	0.119 vw	0.071 za	11.05 gh	4.60 r-v	1.487 h-m	1.320 j-p

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تنش آبیاری پس از تخلیه ۲۵ (I₁)، ۵۰ (I₂) و ۷۵ (I₃) درصد رطوبت خاک به عنوان کرت اصلی و ترکیب کاربرد بنتونیت شامل ۲ (B₁)، ۳ (B₂) و ۴ (B₃) تن در هکتار و کود دامی شامل ۲۰ (A₁)، ۳۰ (A₂) و ۴۰ (A₃) تن در هکتار به عنوان کرت فرعی.

In each column, the means with similar letters, according to Duncan's Multiple Range Test, did not differ significantly at the five percent probability level.

Drought stress including 25 (I₁), 50 (I₂) and 75 (I₃) percent soil moisture discharge as the main plot and the combination of bentonite application including 2 (B₁), 3 (B₂) and 4 (B₃) tons per hectare Animal manure included 20 (A₁), 30 (A₂) and 40 (A₃) tons per hectare as subplots.

افزایش فراهمی عناصر غذایی باشد که باعث فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و به دنبال آن وجود عناصر آوندی بیشتر جهت انتقال مواد پرورده به میوه گیاه می‌شود (Safavi et al., 2016).

کلروفیل a, b، کل

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که غلظت کلروفیل

تحت تاثیر تنش خشکی، کاهش عملکرد میوه دو رقم خربزه ایرانی با کاهش آب قابل دسترس (Barzegar et al., 2011)، افزایش عملکرد میوه خیار با کاربرد سوپر جاذب (Najafi Alishah et al., 2013) و افزایش عملکرد میوه کدوی تخم کاغذی تحت تاثیر کاربرد کود دامی گزارش شده است (Safavi et al., 2016). دلیل بیشتر بودن عملکرد میوه در اثر مصرف کود دامی می‌تواند در نتیجه رشد رویشی ناشی از

خطای یک درصد تحت اثرات متقابل سال، آبیاری، بنتونیت و کود دامی قرار گرفت (جدول ۴). پرولین در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۰/۴۲۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ با ۸۳/۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. از سوی دیگر کمترین میزان پرولین در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی (۰/۰۷۱ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد (جدول ۵). تجمع پرولین در برگ‌ها در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند تعادل آبی گیاه را از طریق تعدیل پتانسیل اسمزی حفظ کند. افزایش سطح نیتروژن آزاد شده از کود دامی موجب افزایش غلظت پرولین برگ شده است. پرولین به‌عنوان یکی از ترکیب‌های تنظیم‌کننده فشار اسمزی در حفظ فشار اسمزی و پایداری غشاء سلولی، مطرح است (Ashraf and Harris, 2013). می‌توان گفت تجمع پرولین در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک به‌سرعت افزایش یافت و تجمع آن در برگ‌ها، تعادل آبی گیاه را از طریق تعدیل پتانسیل اسمزی حفظ کرد. تجمع پرولین به گیاه کمک می‌کند تا در دوره کوتاهی پس از اعمال تنش خشکی زنده مانده و بتواند پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابی کند و بنابراین اثر مثبتی بر عملکرد خواهد داشت (Demiralay et al., 2013). تنش کم‌آبی باعث کاهش طول بوته، سطح برگ، وزن متوسط میوه و عملکرد و افزایش تجمع پرولین گردید (Delshad et al., 2013). در مطالعه اثر نیتروژن بر کدوی پوست تخم کاغذی، افزایش سطح نیتروژن موجب افزایش غلظت پرولین برگ شد (Aghaei and Ehsanzadeh, 2011).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

نتایج تجزیه مرکب آزمایش نشان داد که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با احتمال خطای یک درصد تحت اثرات متقابل سال، آبیاری، بنتونیت و کود دامی قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب ۳۲/۶۰ و ۴/۱۵ اُدسی بر

a, b و کل برگ خربزه با احتمال خطای یک درصد تحت اثرات متقابل سال، آبیاری، بنتونیت و کود دامی قرار گرفت (جدول ۴).

بر اساس نتایج و با توجه به مقادیر میانگین‌های کلروفیل a و کلروفیل b بیشترین غلظت کلروفیل کل در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۲/۲۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر حاصل شد که نسبت به شاهد ۶۳/۸ درصد افزایش داشت. در مقابل کمترین غلظت کلروفیل کل (۰/۸۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد (جدول ۵). در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک و کوددهی ۴۰ تن در هکتار کود دامی به دلیل افزایش فراهمی عناصر غذایی کازایی جذب عناصر افزایش یافته و در نتیجه موجب افزایش کلروفیل شده و از این طریق سطح برگ و فتوسنتز افزایش یافته است، به‌طوری‌که نسبت به سال اول آزمایش اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. کاهش آبیاری فتوسنتز گیاه را مختل می‌کند که در نهایت بر فرایندهای رشد و فیزیولوژیک خربزه اثر می‌گذارد. در صورت محدود شدن دسترسی گیاه به منابع آبی، مقدار کلروفیل، سطح سبز و تولید مواد فتوسنتزی آن نیز کاهش می‌یابد.

به نظر می‌رسد بنتونیت بدلیل ظرفیت بالای نگهداری آب هنگامی‌که با خاک مخلوط می‌گردد، باعث افزایش آب قابل‌دسترس ریشه و هم‌چنین جذب مواد غذایی شده و در نتیجه تعداد میوه افزایش‌یافته است. در پژوهش دیگری تأثیر تنش آبی بر رشد و عملکرد طالبی معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با بهبود شرایط رطوبت خاک، ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، شاخص کلروفیل، محتوی قند و عملکرد افزایش یافت (Mirabad et al., 2013). همچنین مصرف توأم بنتونیت و کود دامی، هم در شرایط تنش و هم در شرایط مطلوب، محتوی کلروفیل گندم را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد (Farmahini Farahani et al., 2017).

پرولین

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که میزان پرولین با احتمال

شده است (Habibi et al., 2006). در بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژی و کارایی مصرف آب توده‌های خربزه ایرانی، تنش کم‌آبی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داده و محتوای نسبی آب برگ، عملکرد و میزان ویتامین ث را کاهش داد (Lotfi et al., 2017).

نتیجه‌گیری کلی

در هر دو سال آزمایش تنش خشکی به طور قابل ملاحظه صفات زراعی و فیزیولوژی گیاه خربزه را تحت تأثیر قرار داد. بر اساس نتایج عملکرد میوه در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت همراه با ۲۰ تن در هکتار کود دامی در سال اول آزمایش با میانگین ۲/۲۰ تن در هکتار و ۷۴/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. افزایش قابل ملاحظه تعداد میوه در بوته در سال دوم و در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی با میانگین ۱/۶۸ عدد میوه به دست آمد. غلظت پرولین به میزان ۰/۴۲۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ با ۸۳/۱۷ درصد افزایش نسبت به شاهد در هر دو سال با مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب به میزان ۳۲/۶۰ و ۴/۱۵ OD.g⁻¹.FW.min⁻¹ با ۹۹/۶۹ و ۹۲/۷۸ درصد افزایش نسبت به شاهد در سال زراعی ۱۳۹۸ با مصرف ۴۰ تن در هکتار کود دامی در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک و کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت مشاهده شد.

تأثیر کود دامی در رشد گیاه را می‌توان به مقدار زیادی به مواد مغذی معدنی به‌ویژه نیتروژن جذب شده نسبت داد. علاوه بر این افزایش تجزیه مواد آلی و معدنی کردن فسفر موجود در مواد آلی و تبدیل آن‌ها به شکل قابل‌استفاده گیاه نقش کلیدی را در چرخه فسفر خاک ایفا کرده و در کنار استفاده از بنتونیت موجب تقویت ساختمان فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و در نهایت با افزایش آب و فراهمی عناصر غذایی قابل دسترس گیاه بر فرایند فتوسنتز تأثیر مثبت گذاشته و می‌تواند سبب افزایش طول و عرض میوه شوند. کاربرد ماده بنتونیت شرایط رطوبتی بستر را بهینه کرده و باعث افزایش میزان آب

گرم وزن تر در دقیقه^۱ با ۹۹/۶۹ و ۹۲/۷۸ درصد افزایش نسبت به شاهد در سال اول آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک و به ترتیب کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت و ۴۰ تن در هکتار کود دامی؛ و کمترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب ۰/۱ و ۰/۳ آدسی بر گرم وزن تر در دقیقه در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۲۵ درصد رطوبت خاک با کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی به دست آمد (جدول ۵). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، افزایش تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردید و کود دامی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها برای دفاع گیاه در شرایط تنش خشکی شد، به‌عبارت‌دیگر گیاه به‌منظور تجزیه پراکسید هیدروژن و افزایش تحمل در مقابل رادیکال‌های فعال اکسیژن، غلظت این آنزیم‌ها را افزایش داد. هم‌چنین عناصر موجود در کود دامی دارای نقش‌های کاتالیزوری و تنظیم‌کنندگی بوده و به‌عنوان فعال‌کننده آنزیمی عمل کردند (Hassanpour and Niknam, 2014).

در بررسی تأثیر تنش آبی بر رشد گیاه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پونه کوهی معطر (*Mentha pulegium* L.) در مرحله گل‌دهی مشاهده گردید درحالی‌که در طول دوره تنش، غشای پلاسمایی دچار آسیب می‌شود، آنزیم پراکسیداز در جمع‌آوری گونه‌های فعال اکسیژن به منظور جلوگیری از آسیب بیش از حد بر روی غشای پلاسمایی فعال است (Hassanpour and Niknam, 2014). در آزمایش دیگری تنش خشکی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مالون دی‌آلدئید را در گشنیز افزایش داد، هم‌چنین برهمکنش آبیاری و سلنیوم اثر بسیار معنی‌داری بر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز داشت (Buick et al., 2013).

تشدید تنش خشکی و کاهش مصرف بنتونیت در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۵ درصد رطوبت خاک و کاربرد ۲ تن در هکتار بنتونیت، نشان‌دهنده این است که شرایط فوق، میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد. مصرف پلیمر سوپرجاذب با کاهش دادن صدمات اکسیداتیو در گیاه، درصد نشست یونی غشاء و در نتیجه میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز را کاهش داده و موجب افزایش عملکرد

^۱ OD.g⁻¹.FW.min⁻¹

قابل دسترس گردید و از این طریق از میزان تنش خشکی وارده به گیاه کاسته و باعث بهبود ویژگی‌های مورد بررسی به همراه کاربرد کود دامی شد. با توجه به نتایج آزمایش به منظور دستیابی به نتایج مطلوب، آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت خاک، کاربرد ۴ تن در هکتار بنتونیت و ۲۰ تن در هکتار کود دامی برای کشت در منطقه هیرمند پیشنهاد می‌شود.

References

- Aghaei, A. and Ehsanzadeh, P., 2011. Effect of Water Deficit Stress and Nitrogen on Yield and some Physiological Parameters of Oilseed Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(3), pp.291-299. [In Persian]. doi: **20.1001.1.2008482.1390.42.3.8.3**
- Arnon, D.I., 1975. Copper enzymes increased insolated chloroplast polyphenoxidase increased (*Beta vulgaris* L.). *Plant Physiology*, 45: pp.1-15.
- Ashraf, M. and Harris, P.J.C., 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, 51(2), pp.163-190. doi: **10.1007/s11099-013-0021-6**
- Babayee, S.A., Daneshian, J. and Baghdadi, H., 2012. Effect of plant density and irrigation interval on agronomical traits of *Cucurbita pepo*. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(8), pp.258-261. [In Persian].
- Barzegar, T., Delshad, M., Majd Abadi, A., Kashi, A. and Ghashghaie, J., 2011. Effect of water stress on growth, yield and some physiological parameters of Iranian melon. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 42(4), pp.357-363. [In Persian]. doi: **20.1001.1.2008482.1390.42.4.5.2**
- Basiri, A., 2008. Statistical designs in agricultural sciences. Volume 11. Shiraz University Press. 386 p. [In Persian].
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, pp.205-207.
- Bello, W.B., Adejuyigbe, C.O., Adigun, J.A. and Dare, M.O., 2019. Soil fertility status, nutrient uptake and maize (*Zea mays* L.) yield as influenced by animal manure and compost. *Journal of Organic Agriculture and Environment*, 7(1), pp.9-16.
- Buick, Z., Hassanpoure Darvishi, H., Mozafari, H. and Habibi, D., 2013. Effect of selenium foliar application on antioxidant enzymes activity and MDA in coriander (*Coriandrum sativum* L.) medicinal plant under drought stress conditions. *Crop Production Research*, 5(1), pp.35-48. [In Persian]. doi: **10.22108/ijpb.2022.131019.1265**
- Cakmak, I. and Horst, W., 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Physiology*, 83, pp.463-468. doi: **10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x**
- Chance, B. and Maehly, A.C., 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775.
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranová, E., Van Montagu, M., Inzé, D. and Van Breusegem, F., 2000. Dual action of active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Science*, 57, pp.779-795. doi: **10.1007/s000180050041**

- Delshad, M., Barzegar, T., Kashi, A. and Haghbin, K., 2013. Effect of Fruit site on the Stalk upon Yield and Fruit Quality in two Iranian Melon Cultivars under Normal vs. Water Stress Conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44(2), pp.169-178. [In Persian]. doi: **10.22059/ijhs.2013.35050**
- Demiralay, M., Sağlam, A. and Kadioğlu, A., 2013. Salicylic acid delays leaf rolling by inducing antioxidant enzymes and modulating osmoprotectant content in *Ctenanthe setosa* under osmotic stress. *Turkish Journal of Biology*, 37(1), pp.49-59. doi: **10.3906/biy-1205-16**
- Eifediyi, E.K. and Remison, S.U., 2010. Growth and Yield of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) as Influenced by Farmyard Manure and Inorganic Fertilizer. *Researcher*, 2(4), pp.1-6.
- Farmahini Farahani, M., Mirzakhani, M. and Sajedi, N., 2017. Effect of Water Absorbent Materials on some Agronomic Traits and Seed Protein of Wheat Under Water Deficit Stress. *Plant Production Thechnology*, 9(2), pp. 27-37. [In Persian].
- Gaber, M.A., 2010. Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signal and Behavior*, 5, pp.369-374.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. and Farmanbar, E., 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126, pp.193-202. doi: **10.1016/j.still.2012.08.002**
- Gholinegad, R., Sirousmehr, A. and Fakheri, B., 2014. Effect of drought stress and organic fertilizer on activity of some antioxidant enzymes, photosynthetic pigments, proline and yield of Borage (*Borago officinalis*). *Journal of Horticulture Science*, 28, pp.338-346. [In Persian].
- Hassanpour, H. and Niknam, V., 2014. Effects of water stress on plant growth and activity of antioxidant enzymes fragrant oregano (*Mentha pulegium* L.) at flowering stage. *Plant Process and Function Journal*, 8, pp.25-34. [In Persian].
- Ilkaee, M., Habibi, D., Paknejad, F., Khodabandeh, N., Aliakbar bojar, M. and Sedigi, F., 2010. Effect of Chloro Cholin Chloride (CCC) and spraying time on yield, physiological traits and antioxidant enzyme activity of corn (*Zea mays* cv. Sc 704). *Agroecology Journal*, 6(2), pp.11-18. [In Persian].
- IRNA, 2021. IRNA report, 31 december 2021. <http://zahedan.irib.ir/-/199>
- Jannoura, R., Joergensen, R.G. and Bruns, C., 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. *European Journal of Agronomy*, 52, pp.259-270. doi: **10.1016/j.eja.2013.09.001**
- Keshavarzpour, F. and Rashidi, M., 2011. Response of crop yield and yield components of cantaloupe to drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 15(3), pp.382-385.
- Khodaii Joghan, A., 2015. Response ecophysiology of sunflower to nutrient' s systems under different irrigation regimes. Ph.D. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. 150 pp.[In Persian].
- Kojic, D., Pajevic, S., Jovanovic-Galovic, A., Purac, J., Pamer, E., Skondric, S., Milovac, S., Popovic, Z. and Grubor-Lajsic, G., 2012. Efficacy of natural aluminosilicates in moderating drought effects on the morphological and physiological parameters of maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), pp.113-123.

- Lotfi, H., Barzegar, T. and Nekonom, F., 2017. Effect of water deficit stress on some physiological traits and water use efficiency of some Iranian melon landraces. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(4), pp.763-772. [In Persian]. doi: **10.22059/ijhs.2017.125634.781**
- Malekian, A., Valizadeh, E., Dastoori, M., Samadi, S. and Bayat, V., 2012. Soil water retention and maize (*Zea mays* L.) growth as effected by different amounts of Pumice. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), pp.450-454.
- Mani, F., 2014. Evaluation of drought stress on yield and physiological attributes in cantaloupe crop (*Cucumis melo* L.). *Indian Journal of Applied Research*, 4(12), pp.6-10. doi: **10.22034/saps.2021.47494.2722**
- Marvi, H., Rezvani moghadam, P., Jahan, M. and Armin, M., 2020. Effect of drought stress and application cow manure on yield, yield component and water use efficiency of bitter apple (*Citrullus colocynthis*). *Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch)*, 12(40), pp.18-26. [In Persian].
- Mirabad, A.M., Lotfi, M. and Roozban, M.R., 2013. Impact of water-deficit Stress on growth, yield and sugar content of cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(22), pp.2778-2782.
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7, pp.405-410.
- Montazerinezhad, S., Solouki, M. and Fakheri, B.A. 2013. The activity of ascorbate peroxidase (Cm APX) enzyme and expression level of it's encoding gene in salt stress condition in three Sistan melon Landraces (*Cucumis malo* L.). *Genetic Engineering and Biosafety Journal*, 2(2), pp.145-154. doi: **20.1001.1.25885073.1392.2.2.7.3**
- Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S. and Keshavarz, H., 2017. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere*, 4, pp.54-61. doi: **10.1016/j.rhisph.2017.06.002**
- Naeimi, N., Yarnia, M. and Khalilvand Behrouzfar, E., 2013. The effects foliar application of methanol at different growth stages on kernel related traits in chickpea var. ILC 482. *Journal of Crop Ecophysiology*, 7(2), pp.147-158. [In Persian].
- Najafi Alishah, F., Golchin, A. and Mohebi, M., 2013. Effects of super absorbent polymers Akoasorb and irrigation on yield, water use efficiency and growth indices greenhouse cucumber. *Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(15), pp. 1-13. [In Persian].
- Nastari Nasrabadi, H., Nemati, H., Kafi, M. and Arouei, H., 2015. Effect of foliar application with salicylic acid on two. Iranian melons (*Cucumis melo* L.) under water deficit. *Journal of Crops Improvment*, 10(33), pp.3305-3309. [In Persian]. doi: **10.5897/ajar2015.10057**
- Pazoki A., 2016. Effect of zeolit application on the amount of damage biomarkers, relative content of leaf water, electrolytes leakage and chlorophyll of rapeseed under water deficit tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 7(28), pp.33-44. [In Persian].
- Pusch, R., 2015. Bentonite clay: Environmental properties and applications. CRC Press, Taylor and Francis group, Boca Raton, FL, USA. 360 p.
- Rafezi, R., 2014. Cultivation of melons and cantaloupes. Technical Journal. Agricultural Research, Education and

- Extension Organization, Seed and Plant Breeding Research Institute. 107 p.
- Razzaghifard, S., Gholipouri, A., Tobeh, A. and Meshkini, M., 2017. Yield and Yield Components of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) Influenced by Mycorrhiza, Vermicompost and Nanofertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(4), pp.113-128. [In Persian].
- Safavi, F., Galavi, M., Ramroodi, M. and Asgharipoor Chaman, M.R., 2016. Effect of super absorbent polymer, potassium and manure animal to drought stress on qualitative and quantitative traits of pumpkin (*Cucurbita pepo*). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 5(4), pp.330-335.
- Sharma, S.P., Leskovara Daniel, I., Crosby Kevin, M., Volderb, A. and Ibrahim, A.M.H., 2014. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 136, pp.75-85. doi: 10.1016/j.agwat.2014.01.008
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Enej, A.E. and Li, J., 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Plant Physiology*, 167, pp.1248-1252. doi: 10.1016/j.jplph.2010.04.011
- Shihaki Tash, M., 2016. Summary of studies and actions of Sistan and Baluchestan Province Business Development and Sustainable Employment Plan (Takapo). Ministry of Cooperatives, Labor and Social Welfare, Deputy Minister of Entrepreneurship and Employment, Secretary of Takapo Project, Report Code: 1009-96. 19 p.
- Singh, L. and Sukul, P., 2019. Impact of vermicompost, farm yard manure, fly ash and inorganic fertilizers on growth and yield attributing characters of maize (*Zea Mays* L.). *Plant Archive*, 19(2), pp.2193-2200.
- Zohuriaan-Mehr, J., Omidian, H., Doroudiani, S. and Kabiri, K., 2010. Advances in non-hygienic applications of superabsorbent hydrogel materials, *Journal of Materials Science*, 45, pp.5711-5735. [In Persian]. doi: 10.1007/s10853-010-4780-1

Evaluation of the effect of drought stress on agronomic and physiological characteristics of melon under application of animal manure and bentonite

Habib Rostami¹, Mahdi Dahmardeh^{2*}, Mohammad Galavi², Mahmoud Ramroudi²,
Mohammad Reza Naroui Rad³

¹ Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

³ Genetics and Plant Breeding, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

Received: 8 October 2021 Accepted: 2 January 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.309564.1141

Abstract

Introduction: A large part of Iran is affected by arid and semi-arid climate and drought has caused many problems in the agricultural sector. The present study aimed to investigate the characteristics of melon under drought stress conditions using animal manure and bentonite.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a split-factorial based on a randomized complete block design with three replications in Hirmand city, Iran, during the two cropping years of 2019-2020. Experimental treatments include irrigation after 25, 50, and 75% soil moisture discharge as the main plot and application of bentonite at levels of 2, 3, and 4 t.ha⁻¹ and application of animal manure at the rate of 20, 30, and 40 ton.ha⁻¹ were considered as subplots. According to the results, in the first year of the experiment, fruit yield increased by 2.02 times compared to the control under 50% soil moisture discharge with the application of 4 t.ha⁻¹ of bentonite with 20 ton.ha⁻¹ of animal manure.

Results and Discussion: The results showed that the fruit yield in irrigation conditions after draining 50% of soil moisture with the application of 4 t.ha⁻¹ of bentonite along with 20 ton.ha⁻¹ of animal manure in the first year of the experiment with an average of 2.20 ton.ha⁻¹ and 74.1% compared to the control showed an increase. In order to achieve higher fruit yield, irrigation after draining 50% of soil moisture, application of 4 t.ha⁻¹ of bentonite and 20 ton.ha⁻¹ of animal manure are suggested for cultivation in Hirmand region. In this experiment, the greater effectiveness of fruit weight and yield in the first year can be attributed to the faster growth of shoots and the availability of more nutrients due to the release of manure elements for plant use and the effect of soil interactions in the first year, and the improvement of physical conditions and Soil and plant chemistry in the second year under irrigation conditions after draining 50% of soil moisture. The reason for the higher fruit yield due to the consumption of animal manure can be the result of the vegetative growth caused by the increase in the availability of nutrients, which causes photosynthesis and the production of more photosynthetic substances, followed by the presence of more vascular elements to transfer the cultivated substances to the fruit of the plant. Based on the obtained results, the increase in drought stress increased the activity of catalase and peroxidase enzymes, and the animal manure increased the activity of enzymes to defend the plant under drought stress conditions, in other words, the plant decomposes hydrogen peroxide and increases tolerance against radicals.

Conclusion: The effect of animal manure on plant growth can be largely attributed to mineral nutrients, especially absorbed nitrogen. In addition to this, increasing the decomposition of organic materials and mineralization of phosphorus in organic materials and converting them into usable form for plants plays a key role in the soil phosphorus cycle, and along with the use of bentonite, it strengthens the physical, chemical and biological structure of the soil, and finally By increasing the amount of water and the availability of nutrients available to the plant, it has a positive effect on the process of photosynthesis and can increase the length and width of the fruit. According to the results of the experiment, in order to achieve the desired results, irrigation after draining 50% of the soil

moisture, application of 4 tons per hectare of bentonite and 20 tons per hectare of manure are suggested for cultivation in Hirmand region.

Keywords: Catalase, Chlorophyll, Fruit yield, Proline, Super absorbent

ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) به کمبود روی با استفاده از برخی پارامترهای فیزیولوژیک در خاک آهکی تحت شرایط کنترل شده در مرحله پنجه‌زنی

زهرا بهره‌ور^۱، عزت‌اله اسفندیاری^{۲*}، صدیقه حاجی حسینلو^۳، اسماعیل کریمی^۴، شهریار دشتی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۳- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۴- گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

* مسئول مکاتبه: esfand1977@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.367648.1284

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

چکیده

کمبود روی قابل دسترس در خاک‌های زراعی ایران شایع بوده و گندم از سایر غلات به کمبود روی حساس‌تر است. وجود تنوع بالا در ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی، راهکاری جهت دستیابی به ارقام متحمل‌تر است. به‌منظور بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های گندم نان به کمبود عنصر روی و با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با ۲۸ ژنوتیپ پائیزه گندم نان در خاک آهکی با بافت لومی اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل ژنوتیپ گندم و کاربرد خاکی روی (شاهد) و افزودن ۵ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ بود. بوته‌های گندم ۴۵ روز در شرایط کنترل شده نگهداری و سپس، نمونه‌ها کفبر و میزان ماده خشک بخش هوایی، کارایی روی، غلظت، محتوا و کارایی مصرف روی، مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر میزان ماده خشک بخش هوایی، کارایی روی، محتوا و غلظت روی تنوع بالایی وجود دارد. همچنین، به دلیل مقادیر یکسان و یا بیشتر بودن محتوا و غلظت روی در ژنوتیپ‌های حساس نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم، پارامترهای غلظت و محتوای روی گیاهچه‌ها معیار مناسبی برای گزینش، نیستند. در مجموع، ماده خشک بخش هوایی و کارایی روی برای گزینش ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم قابل اعتمادتر بوده و ژنوتیپ‌های L_{28} ، L_{22} و L_{10} از ماده خشک بخش هوایی و کارایی روی بالاتری برخوردار بوده و متحمل به کمبود روی بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های L_2 ، L_{32} و L_{13} کارایی روی و ماده خشک پائینی در شرایط کمبود روی داشتند و حساس به کمبود روی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تحمل به کمبود عناصر، غلظت روی، کارایی روی، ماده خشک بوته

مقدمه

بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زراعی ایران با کمبود روی قابل جذب مواجه هستند (Malakouti, 2007). از دلایل پائین بودن روی قابل جذب در خاک‌های زراعی می‌توان به آهکی بودن خاک، pH بالای خاک، بی‌کربناته بودن آب آبیاری و مصرف بیش از نیاز کودهای فسفاته اشاره نمود (Khoshgoftar-Manesh, 2007). از بین عوامل یاد شده، pH خاک مهمترین عامل تأثیرگذار بر میزان روی قابل دسترس در خاک می‌باشد. در خاک‌های آهکی میزان بی‌کربنات بالا بوده و مقادیر بالای این ترکیب با روی وارد واکنش شده و با تبدیل نمودن آن به ZnCO_3 ، میزان روی قابلیت دسترسی زیستی روی را کاهش می‌دهد (Khoshgoftar-Manesh et al., 2010). اگرچه برای جلوگیری از بروز کمبود روی در گیاهان از روش‌هایی مانند

روی از جمله عناصر ضروری است که به‌عنوان کوفاکتور در ساختار بیش از ۳۰۰ آنزیم ملنند کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، پروتئازها و کربوکسی پپتیدازها و فسفلتازها حضور داشته و در مسیرهای بیوسنتزی بیومولکول‌هایی نظیر RNA و DNA، اکسین، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه سیستئین، هیستیدین، اسید گلوتامیک و اسید آسپارتیک ایفای نقش می‌کند (Passerini et al., 2007; Shu et al., 2008). همچنین، این عنصر کوفاکتور برخی از آنزیم‌های دفاعی نظیر سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیدازها می‌باشد (Hemantaranjan et al., 2009; Esfandiari et al., 2018). حدود ۵۰ درصد خاک‌های زیر کشت غلات در جهان و

فرآیندهای مؤثر در متابولیسم گیاه مانند کربونیک آنهیدراز یا آنزیم‌های دفاعی نظیر سوپراکسید دیسموتاز اشاره نمود (Hajiboland *et al.*, 2011; Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2011).

اهمیت گندم در تغذیه مردم جامعه، گستردگی اراضی مبتلا به کمبود روی در کشور، محدودیت‌های استفاده از روش به‌زرایی و نقش این عنصر در عملکرد کمی و کیفی گندم، بیانگر ضرورت دستیابی به ارقام یا ژنوتیپ‌های سازگار به کمبود روی است. لذا، در این مطالعه ۲۸ ژنوتیپ گندم نان از نظر پاسخ به کمبود روی در خاک آهکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی پاسخ تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم نان به کمبود روی، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل سطوح کاربرد روی (بدون افزودن روی به خاک (شاهد) و افزودن روی به خاک (پنج میلی‌گرم روی بر کیلوگرم خاک از منبع $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) (Cakmak *et al.*, 1999; Abdoli *et al.*, 2019) و ۲۸ ژنوتیپ پایتزه گندم نان (منابع ژنتیکی ایرانی، چهار رقم معرفی شده شامل باران، آذر ۲، سرداری و اوحدی به‌همراه ۲۴ لاین) بود که از موسسه تحقیقات دیم کشور تهیه گردید.

خاک آهکی مورد استفاده در این پژوهش دارای بافت لومی و با مشخصات رده‌بندی کلسی‌زرپتر^۱ از منطقه نظرکهریزی شهرستان هشترود به محل اجرای آزمایش انتقال یافت. در جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده آورده شده است. در این خاک کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک، درصد مواد خنثی شونده، درصد نیتروژن خاک به روش کجلدال و میزان عناصر قابل دسترس پرمصرف و کم‌مصرف بر اساس دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور سنجش شد (Ali-Ehiayi and Behbahani, 1993).

به خاک براساس آزمون خاک و نیازهای غذایی گندم عناصر نیتروژن (از منبع نترات کلسیم $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) به میزان

بذرمال کردن بذور، پیش‌تیمار کردن بذور، محلول‌پاشی، افزودن کود حاوی روی به خاک و یا ترکیب آنها استفاده می‌شود (Cakmak, 2008)، اما روشی پایدار نبوده و با توجه به موارد ذکر شده به‌ویژه در شرایط کمبود آب امکان بروز کمبود در گیاهان خواهد بود (Cakmak, 2002). بنابراین، امروزه برای رفع معایب ذکر شده روش غنی‌سازی زیستی ژنتیکی مورد توجه محققین قرار گرفته و برای مقابله با کمبود ریزمغذی‌ها (عناصر کم‌مصرف نظیر روی و ویتامین‌ها و کوآنزیم‌ها مانند اسید فولیک) در گیاهانی مانند گندم استفاده می‌گردد (Kalayci *et al.*, 1999; Cakmak, 2008).

گندم در مقایسه با یولاف، چاودار و جو به کمبود روی حساس‌تر می‌باشد. با وجود این، بین گونه‌های گندم تنوع ژنتیکی بالایی از نظر توانایی رشد گیاه، ماده خشک تولیدی، کارایی روی و بروز علائم ظاهری در پاسخ به کمبود روی گزارش شده است (Genc *et al.*, 2002; Genc and McDonald, 2004 and 2008; Narwal *et al.*, 2012; Vanitha *et al.*, 2016; Hajihoseinlou *et al.*, 2023). در بررسی‌های انجام شده بر روی ۳۰ ژنوتیپ گندم هگزاپلوئید سنتتیک و ۷ ژنوتیپ گندم مدرن در شرایط کمبود و کفایت روی گزارش شده است که از نظر علائم ظاهری و کارایی روی (بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد)، بین آنها تفاوت‌های ژنتیکی محسوس وجود دارد (Genc and McDonald, 2004). پژوهش‌های صورت گرفته بر روی گندم، وجود تنوع ژنتیکی به کمبود روی را تأیید کرده‌اند (Torun *et al.*, 2000; Narwal *et al.*, 2012). همچنین، این محققین معتقدند که به دلیل وجود تنوع ژنتیکی در پاسخ به کمبود روی می‌توان با برنامه‌های اصلاحی ارقام سازگار به کمبود روی را تولید و معرفی نمود.

به ارقام یا ژنوتیپ‌های گندم که به کمبود روی سازگار می‌باشند و از توانایی بهتری برای رشد و تولید ماده خشک در شرایط کمبود روی برخوردار هستند روی کارا گفته می‌شود (Narwal *et al.*, 2012). از دلایل روی کارا بودن آنها می‌توان به افزایش میزان جذب روی توسط ریشه‌ها با رهاسازی فیتوسیدروفور، جابه‌جایی و کارایی بهتر این عنصر در ژنوتیپ‌های متحمل و یا اختصاص روی جذب شده به

¹ Calcixerpet

خاک از منبع سولفات آنها (Faezi-Asl *et al.*, 2003) اضافه شد. سپس، به بخشی از خاک ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی اضافه شده و به باقیمانده خاک روی اضافه نگردید (Cakmak *et al.*, 1999; Abdoli *et al.*, 2019).

۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و پتاسیم و فسفات (از منبع دی‌پتاسیم هیدروژن فسفات (K_2HPO_4) به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و سایر عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بجز روی (تا رسیدن به آستانه بحرانی به ترتیب برای عناصر مس، آهن و منگنز، ۱/۸، ۸/۸ و ۱۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آهکی تهیه شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Some physical and chemical properties of calcareous soil provided from the depth of 0 to 30 centimeters

هدایت	مقدار ماده آلی	مقدار آهک	مقدار آهک	منگنز قابل جذب	آهن قابل جذب	مس قابل جذب	روی قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیتروژن قابل جذب	نسبت شن	نسبت گل	نسبت رس	نسبت لوم
Electric conductivity	pH	Organic matter	Calcareous content	Absorbable manganese	Absorbable iron	Absorbable copper	Absorbable zinc	Absorbable potassium	Absorbable phosphorus	Total nitrogen	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
		(%)	(%)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(mg.Kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	
0.49	6.8	0.5	39	1.29	2.39	0.5	0.41	102.2	8.4	0.1	47.6	35.2	12.7	Loam

وزن خشک اندام هوایی در شرایط کافی بودن روی کارایی روی = $100 \times \frac{\text{وزن خشک اندام هوایی در شرایط بدون روی}}{\text{وزن خشک اندام هوایی در شرایط کافی بودن روی}}$

Genc *et al.*, 2002 (۲)

کارایی مصرف روی = $\frac{\text{ماده خشک تولید شده}}{\text{میلی گرم روی موجود در بافت گیاه}}$

اندازه‌گیری عنصر روی در گیاه

روی موجود در بخش هوایی بوته‌های گندم با روش خشک و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu, AA-6300) اندازه‌گیری شد (Ali-Ehiayi and Behbahani, 1993).

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های صفات مورد بررسی در نرم‌افزار Excel وارد شده و برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ، بر صفات وزن خشک بخش هوایی، غلظت و محتوای روی و کارایی استفاده از روی در بوته‌های گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). اثر متقابل کاربرد روی در ژنوتیپ تنها برای پارامترهای وزن خشک و محتوای روی اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

خاک‌های آماده شده در گلدان‌های سه کیلویی پر شده و بذور گندم در عمق سه تا چهار سانتی‌متری کشت شدند. برای ممانعت از ورود احتمالی روی و ایجاد خطا در نتایج آزمایش در تمامی مراحل از آب دیونیزه برای آبیاری استفاده گردید. با در نظر گرفتن امکان تغییر للگوی رفتاری گیاه در مراحل فنولوژیکی مختلف به تنش‌های محیطی و تأثیر منفی حساسیت به کمبود روی در مراحل اولیه رشد بر بنیه و استقرار گیاهچه‌ها به‌همراه اثرگذاری منفی مراحل یاد شده بر عملکرد، در این مطالعه اولین مرحله گزینش در پاسخ به کمبود روی مراحل اولیه رشدی در نظر گرفته شد (Cakmak *et al.*, 1999; Genc and McDonald, 2004; Abdoli and Esfandiari, 2017).

به این منظور، بوته‌ها ۴۵ روز در شرایط کنترل شده تا قبل از ساقه‌دهی رشد نموده و سپس به صورت کفبر، برداشت شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل وزن خشک بوته (پس از ۲۴ ساعت آون خشک در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد)، کارایی روی^۱ (رابطه ۱)، محتوای روی^۲ (میکروگرم بر وزن خشک تک بوته)، غلظت روی^۳ (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) و کارایی مصرف روی^۴ (میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی) (رابطه ۲) بود که روش محاسبه آنها در روابط زیر آورده شده است.

Welch *et al.*, 1993 (۱)

³ -Zn concentration

⁴ -Zn use efficiency

¹ Zn efficiency

² Zn content

گردید (جدول ۲).

وزن خشک بخش هوایی

بین ارقام و ژنوتیپ‌های گندم از نظر وزن خشک بخش هوایی تنوع بالایی در شرایط کمبود و مصرف کافی روی مشاهده شد (شکل ۱). در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد بررسی برخی از آنها نظیر ژنوتیپ‌های L₂, L₁₃, L₃₂ و L₂₅ از کاربرد روی متاثر شده و میزان ماده خشک بخش هوایی در شرایط کاربرد روی در مقایسه با عدم کاربرد روی افزایش یافت (شکل ۱). در مقابل ژنوتیپ‌هایی مانند L₂₇, L₅, L₁ و L₃₄ نسبت به افزودن روی به خاک بی تفاوت بوده و میزان وزن خشک بخش هوایی آنها نسبت به شرایط عدم کاربرد روی تغییری نشان نداد (شکل ۱). به طوری که وزن خشک بخش هوایی بین ۹۹/۵±۳/۰۸

تا ۱۷۲/۸۳۳±۲/۶۹ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ژنوتیپ‌های L₃₄ و L₂₈ و در ارقام گندم بین ۱۳۹/۸۸۹±۳/۳۷ تا ۱۵۵/۱±۵۵/۳۹ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ارقام سرداری و آذر ۲ در شرایط کمبود روی متغیر بود. اما وزن خشک بخش هوایی در شرایط کافی بودن روی قابل جذب بین ۱۰۱/۵±۰/۹۲ تا ۱۹۶/۶۱۱±۱۳/۵۵ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ژنوتیپ‌های L₃₄ و L₂ و در ارقام گندم بین ۱۴۵/۲۲۲±۱/۲۶ تا ۱۵۷/۱±۷۲۲/۰۱ میلی گرم بر بوته به ترتیب در ارقام اوحدی و آذر ۲ متغیر بود (شکل ۱). همچنین، وزن خشک بخش هوایی بوته‌های گندم از ۱۳۹/۳۹ میلی گرم بر بوته در شرایط کمبود روی به ۱۵۲/۴۱ میلی گرم بر بوته در شرایط کافی روی رسید که افزایش ۹/۳۴ درصدی را در پی داشت (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ‌های گندم دوروم و اثرات متقابل آن‌ها بر پارامترهای مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance of effect of zinc sulphate application and durum wheat genotypes and their interactions on studied parameters

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	غلظت روی Zinc concentration	محتوای روی Zinc content	کارایی مصرف روی Zinc use efficiency
بلوک Block	2	2241.7**	5.47*	1.01**	178.93*
ژنوتیپ Genotype	27	1917.9**	4.13**	0.494**	126.74**
کاربرد روی Zinc application	1	7121.8**	605.7**	22.6**	17192.2**
ژنوتیپ×روی Genotype×Zinc application	27	427.4**	1.41 ^{ns}	0.129**	48.34 ^{ns}
خطا Error	110	67.03	1.31	0.039	53.17
ضریب تغییرات C.V. (%)		15.58	8.16	9.57	9.94

**، * و ^{ns} به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال آماری یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری

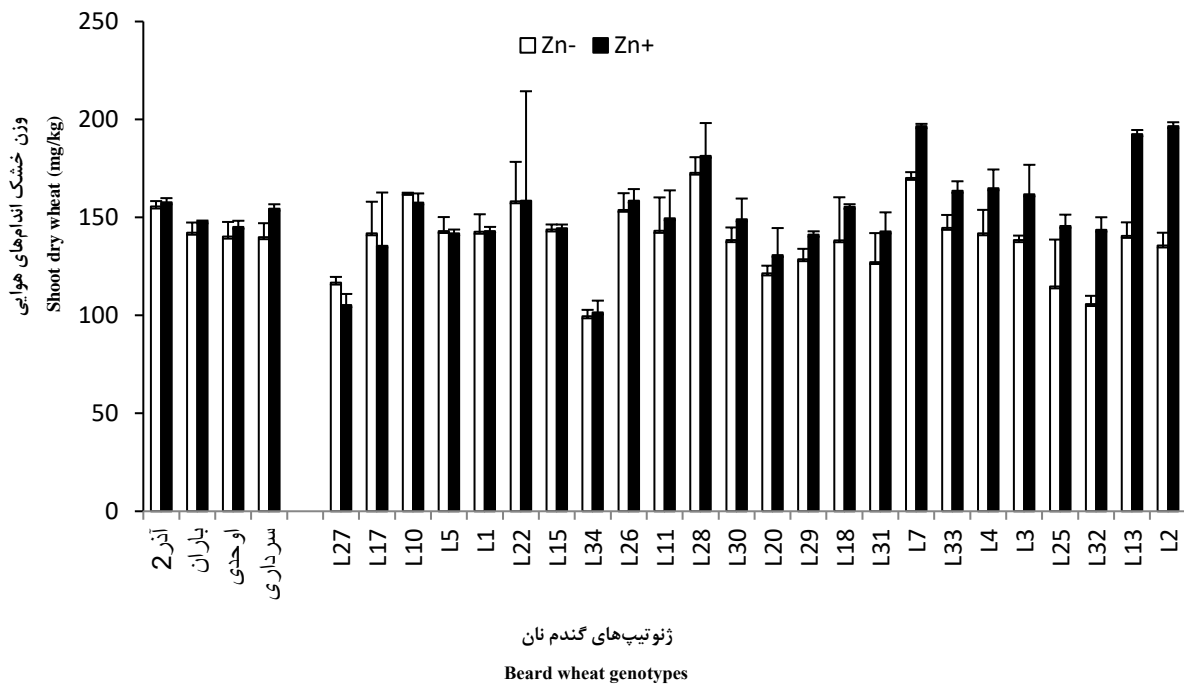
**، *، ^{ns}: Significance at the level of statistical probability of one percent, five percent and non-significance, respectively

می‌باشد (Esfandiari and Mahboob, 2014). لذا، میزان ماده خشک تولید شده توسط گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی به‌عنوان شاخص ارزیابی تحمل به تنش استفاده می‌گردد (Esfandiari and Javadi, 2014; Eker *et al.*, 2006; Munns and Tester, 2008). به عبارتی دیگر، در شرایط کمبود روی هر قدر یک ژنوتیپ بتولند ماده خشک بیشتری تولید نماید حاکی از توانایی این گیاه در اجرای مطلوب

با توجه نقش‌های فیزیولوژیک روی در سلول‌های گیاهی و نقش کوفاکتوری آن در بیش از ۳۰۰ آنزیم، کمبود این عنصر نوعی تنش محیطی محسوب شده و همانند سایر تنش‌های محیطی منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Tauris *et al.*, 2009). وزن خشک بوته، حاصل تثبیت و احیای دی‌اکسید کربن به کربوهیدرات طی فرآیند فتوسنتز و تبدیل کربوهیدرات حاصل به سایر بیومولکول‌های سازنده ساختار گیاه

می‌باشد (Abdoli *et al.*, 2019). وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ و ارقام گندم در پاسخ به کمبود روی توسط محققینی متعددی گزارش شده است (Kalayaci *et al.*, 1999; Moshiri *et al.*, 2007; Abdoli and Esfandiari, 2017).

فرآیند فتوسنتز و مسیرهای متابولیسمی برای تولید سایر بیومولکول‌های شرکت کننده در ساختار گیاهچه است. این موارد نشان می‌دهد که ارزیابی میزان تولید ماده خشک در هر دو شرایط کمبود و کافی بودن روی از اهمیت بالایی برخوردار



شکل ۱- اثر متقابل کاربرد سولفات روی در ژنوتیپ بر وزن خشک قسمت هوایی گیاهچه‌های گندم نان

Figure 1- Interaction effect of zinc sulfate application in genotype on dry weight of aerial parts of bread wheat seedlings

دارند که به ترتیب در شرایط کافی بودن و کمبود روی، ماده خشک بخش هوایی برای ژنوتیپ L_{۲۷}، ۱۰۵/۲۲ و ۱۱۶/۷۲ میلی‌گرم بر بوته و برای ژنوتیپ L_{۳۴}، ۹۹/۵ و ۱۰۱/۵ میلی‌گرم بر بوته بود (شکل ۲).

یکی از فاکتورهای مهم در تعیین بنیه گیاهچه‌ها و تحمل آنها به شرایط دشوار محیطی وزن خشک آنها می‌باشد. به طوری که هرچه میزان ماده خشک تولید شده در یک ژنوتیپ در شرایط تنش به شرایط مطلوب نزدیک‌تر باشد عملاً تحمل بالاتری به شرایط دشوار محیطی مانند کمبود روی دارند (Abdoli and Esfandiari, 2017). بر این اساس برخی از ارقام و یا ژنوتیپ‌های گندم از ماده خشک تولید شده تقریباً مشابهی در شرایط کمبود یا کافی بودن روی برخوردار هستند که می‌توان به L_{۳۴} و L_{۱۵} اشاره نمود (شکل ۲). اگرچه هر دو ژنوتیپ قادرند در شرایط کمبود روی، مشابه کافی بودن آن تولید ماده خشک نمایند اما میزان ماده خشک تولید شده در

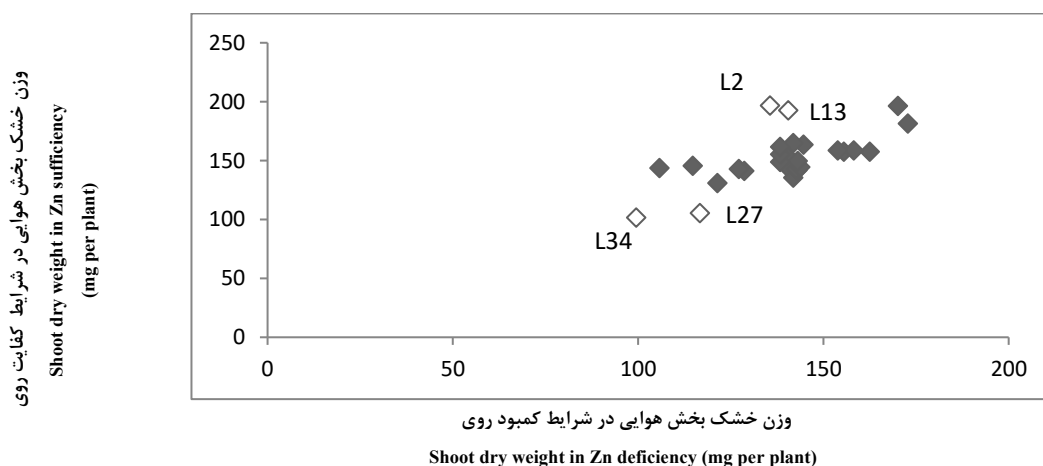
در این مطالعه پاسخ ژنوتیپ‌های گندم به کاربرد روی را می‌توان به دو گروه مجزا تقسیم‌بندی نمود. گروه اول شامل ژنوتیپ‌هایی است که به کاربرد روی پاسخ مثبت داده و میزان ماده خشک بخش هوایی آنها در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد روی) افزایش معنی‌داری داشتند که اصطلاحاً به آنها ژنوتیپ‌های کودپذیر گفته می‌شود. در این دسته ژنوتیپ‌هایی مانند L_۲ و L_{۱۳} قرار دارند که به ترتیب در شرایط کافی بودن و کمبود روی ماده خشک بخش هوایی برای ژنوتیپ L_۲، ۱۹۶/۶۱۱ و ۱۳۵/۶۶۷ میلی‌گرم بر بوته و برای ژنوتیپ L_{۱۳}، ۱۹۲/۵ و ۱۴۰/۵۵۶ میلی‌گرم بر بوته بود (شکل ۲).

گروه دیگر شامل ژنوتیپ‌هایی است که کاربرد روی، تأثیر معنی‌دار بر میزان ماده خشک بخش هوایی آنها نداشته و در هر دو شرایط کفایت و کمبود روی ماده خشک بخش هوایی آنها تقریباً یکسان بود که اصطلاحاً به آنها ژنوتیپ‌های کودناپذیر گفته می‌شود. در این دسته ژنوتیپ‌هایی مانند L_{۲۷} و L_{۳۴} قرار

حالیکه رقم آذر ۲ علیرغم کشت در خاک آهکی و دارای روی قابل جذب ۰/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (حد بحرانی روی برای گندم یک میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است Faezi-Asl *et al.*, 2003))، در مقایسه با کاربرد روی به میزان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک ماده خشک یکسانی تولید نموده است. در مقابل رقم سرداری به کاربرد خاکی روی پاسخ مثبت داده است (شکل ۲). رفتارهای مشابهی نیز توسط برخی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در پاسخ به کاربرد روی مشاهده شد (شکل ۲). این نتایج نشان می‌دهد که رقم آذر ۲ ممکن است از ویژگی‌های خاص ژنتیکی نظیر توانایی ترشح فیتوسیدروفور از ریشه و یا اختصاص روی موجود در سلول به فرآیندهای حیاتی گیاه مانند آنزیم کربونیک آنهیدراز و یا مکانیسم‌های دفاعی برخوردار باشد که منجر به متحمل شدن این رقم به کمبود روی می‌گردد. همچنین، در شرایط کمبود روی افزایش ترشح فیتوسیدروفور یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاه به تنش یاد شده است (Cakmak *et al.*, 1998).

ژنوتیپ L₁₅، در حدود ۳۳ درصد بیشتر از ژنوتیپ دیگر در هر دو شرایط است که به نوعی بیانگر عملکرد بهتر این ژنوتیپ در تثبیت دی‌اکسید کربن به قند و تبدیل آن به واحدهای ساختاری می‌باشد. در مجموع، این دسته از ژنوتیپ‌ها که از بنیه گیاهی‌ای بالاتری برخوردار هستند، اهمیت بیشتری از دیدگاه محققین دارند.

بررسی تنوع ژنتیکی از گام‌های اولیه برای شناخت ژنوتیپ‌ها در پاسخ به کمبود روی جهت انجام کارهای اصلاحی و رسیدن به رقم یا ارقامی است که از توانایی بالایی برای مقابله با کمبود روی برخوردار بوده و بتواند ماده خشک بالاتری تولید نماید. اگرچه رسیدن به این مورد، هدفی بلند مدت است، ولی بررسی تنوع ژنتیکی برخی اطلاعات از ویژگی ژنوتیپ‌ها را در اختیار محقق قرار می‌دهد که می‌تواند کاربرد کوتاه مدت داشته باشد مانند شناسایی ارقام یا ژنوتیپ‌های کودپذیر یا کود ناپذیر. تأثیر مثبت کاربرد روی به فرم‌های مختلف (خاکی، برگی و یا ترکیب آنها) بر افزایش ماده خشک و عملکرد گندم توسط محققین گزارش شده است (Abdoli *et al.*, 2016).



شکل ۲- ارتباط بین وزن خشک بوته‌های گندم در شرایط کمبود و کافی بودن روی در ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم نان

Figure 2- The relationship between the dry weight of wheat plants in conditions of deficiency and sufficiency of zinc in bread wheat genotypes and varieties

خود اختصاص داده است (جدول ۲). در حالی که در شرایط کفایت روی به ترتیب ژنوتیپ L₅ با ۱۳/۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و رقم اوحدی با ۱۴ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کمترین و ژنوتیپ L₁₁ با ۱۸ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و رقم آذر ۲ و باران با ۱۶ میلی‌گرم روی در کیلوگرم بیشترین میزان روی را به خود اختصاص داده است (جدول ۲). همچنین، نتایج مقایسه

غلظت و محتوای روی بخش هوایی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که از نظر غلظت روی در گیاهیچه در شرایط کمبود روی ژنوتیپ L₂₇ با ۱۰/۳ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم و رقم باران با ۱۱/۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم کمترین و ژنوتیپ L₁₅ با ۱۴/۷ میلی‌گرم روی در کیلوگرم و رقم آذر ۲ با ۱۳ میلی‌گرم روی در کیلوگرم بیشترین میزان را به

غلظت روی و محتوای روی به‌ترتیب بیانگر میزان روی موجود در یک کیلوگرم ماده خشک گیاه و مقدار روی انباشته شده در تک بوته است (Sadeghzadeh *et al.*, 2009). با توجه به نقش فیزیولوژیک روی در فرآیندهای متابولیسمی و در نهایت ایجاد ساختار گیاه، انتظار می‌رود ژنوتیپ‌هایی که در شرایط افزودن روی به خاک غلظت و محتوای روی بیشتری در مقایسه با عدم افزودن روی به خاک (جدول ۳) دارند، میزان ماده خشک بخش هوایی آن‌ها در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر باشد (شکل ۱). در این خصوص، ارتباط مستقیم بین غلظت و محتوای روی با تولید ماده خشک و ایجاد گیاهچه‌های قوی‌تر گزارش شده است (Beygi *et al.*, 2012). در این پژوهش ژنوتیپ‌های L_{28} و L_2 به‌ترتیب در شرایط کمبود و کافی بودن روی، بیشترین میزان ماده خشک تولید شده را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند (شکل ۱) اما، ژنوتیپ L_{15} در شرایط کمبود روی و ژنوتیپ L_{12} در شرایط کافی بودن روی غلظت روی بیشتری داشتند (جدول ۳) که میزان ماده خشک بخش هوایی آنها کمتر از ژنوتیپ‌های یاد شده است (شکل ۱). همچنین، به‌عنوان مثال در ژنوتیپ‌های L_5 ، L_{10} و L_{15} در پی افزودن روی به خاک غلظت و محتوای روی بخش هوایی در مقایسه با شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. درحالی‌که ماده خشک بخش هوایی در این ژنوتیپ‌ها با اضافه نمودن روی به خاک تغییر معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱). به‌عبارتی دیگر، میزان روی افزوده شده به خاک بیش از نیاز گندم بود و توسط ریشه ژنوتیپ‌ها جذب و به بخش هوایی انتقال می‌یابد که افزایش غلظت و محتوای روی در ژنوتیپ‌های L_5 ، L_{10} و L_{15} نشان دهنده آن است (جدول ۳). افزایش شاخص‌های یاد شده الزاماً به مفهوم بکارگیری روی در فرآیندهای متابولیسمی و بهبود فرآیندهای آن نیست. بطوریکه ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی قادرند مقادیر کم این عنصر را به بخش‌های کلیدی متابولیسم نظیر آنزیم کربونیک آنهیدراز یا آنزیم‌های دخیل در مکانیسم‌های دفاعی همچون سوپراکسید دیسموتاز اختصاص دهد که برآیند آن بهبود عملکرد متابولیسمی و افزایش ماده خشک بخش هوایی است. در مطالعات انجام شده پراکنش روی در اندامک‌های مختلف سلول نظیر غشاها، آپوپلاست، واکوئل و دیواره سلولی توسط گزارش شده است (Hacisalihoglu *et al.*, 2003). این محققین گزارش نمودند بین اندامک‌های

میانگین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت روی و ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود و کافی بودن روی وجود دارد. بدین ترتیب که غلظت روی از $12/1$ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط کمبود روی به $15/1$ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط کافی بودن روی رسید که این میزان افزایش معادل $31/4$ درصد بود (جدول ۳).

نتایج اثرات متقابل پارامترهای مورد بررسی مشخص نمود که بین ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم مورد مطالعه از نظر محتوای روی بخش هوایی تنوع قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. بطوریکه ژنوتیپ‌های L_2 و L_{34} به‌ترتیب با مقادیر $2/6$ و $1/4$ میکروگرم در بوته بیشترین و کمترین میزان محتوای روی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). همچنین، ژنوتیپ‌های L_{27} و L_{34} و رقم باران با $1/7$ میکروگرم در بوته کمترین محتوای روی و ژنوتیپ L_{15} و رقم آذر ۲ به‌ترتیب با $2/1$ و 2 میکروگرم در بوته بیشترین محتوای روی را در شرایط کمبود روی دارا بودند (جدول ۳). از طرفی، در شرایط کافی بودن روی ژنوتیپ L_2 و رقم آذر ۲ با $3/3$ و $2/5$ میکروگرم در بوته بیشترین محتوای روی و ژنوتیپ‌های L_{27} و L_{34} با $1/7$ میکروگرم در بوته و رقم اوحدی ۲ میکروگرم در بوته کمترین محتوای روی را داشتند (جدول ۳). همچنین، محتوای روی گیاهچه‌ها در اثر کاربرد خاکی سولفات روی از $1/7$ میکروگرم در بوته در شرایط کمبود روی به $2/4$ میکروگرم در بوته در شرایط کافی بودن روی رسید که حاکی از افزایش حدود 41 درصدی آن می‌باشد (جدول ۳). افزایش غلظت و محتوای روی در بخش هوایی بوته‌های گندم توسط برخی از محققین در اثر کاربرد روی گزارش شده است (Cakmak *et al.*, 1998; Moshiri *et al.*, 2010). همچنین، وجود تنوع ژنتیکی از نظر غلظت و محتوای روی در قسمت‌های هوایی گندم، جو، برنج، ذرت و لوبیا مشاهده شده است (Gregorio *et al.*, 2000; Genc *et al.*, 2002; Mentovi *et al.*, 2003; Genc and McDonald, 2004; Sadeghzadeh *et al.*, 2009) که از دلایل آن می‌توان به ترشح فیتوسیدروفرا در گیاهان تک لپه‌ای، ساختار ریشه از نظر طول و قطر و اختصاص و بکارگیری روی جذب شده در نواحی مختلف سلول اشاره نمود (Graham and Rengel, 1993; Hacisalihoglu and Kochian, 2003; Khoshgoftar-Manesh *et al.*, 2010).

مختلف در ارقام با کارایی روی بالا و پایین از نظر میزان روی متفاوتی وجود ندارند. آنها دلیل حساسیت ارقام با کارایی روی پائین را ناشی از عدم توانایی در تخصیص روی در شرایط کمبود

روی به فعالیت آنزیم‌های مانند کربونیک آنهیدراز و Cu/Zn- SOD می‌دانند.

جدول ۳- اثر کاربرد سولفات روی و ژنوتیپ بر غلظت و محتوای روی و کارایی استفاده از روی در بخش هوایی بوته‌های ارقام و ژنوتیپ‌های گندم

Table 3-The effect of zinc sulfate application and genotype on the concentration and content of zinc and the efficiency of zinc use in the shoot of wheat varieties and genotypes

کارایی استفاده از روی			محتوای روی اندام هوایی			غلظت روی اندام هوایی			ژنوتیپ
Zinc use efficiency(mg dry matter/ μ g Zinc)			Zinc content of shoot(μ g per plant)			Zinc concentration of shoot(mg.Kg ⁻¹)			
میانگین	افزودن روی	بدون روی	میانگین	افزودن روی	بدون روی	میانگین	افزودن روی	بدون روی	ژنوتیپ
Mean	Zn+	Zn-	Mean	Zn+	Zn-	Mean	Zn+	Zn-	Genotypes
69.9(a-d)	62.7(3.92)	77.2(5.96)	2.3(a-d)	2.5(0.13)	2.0(0.19)	14.5(a-d)	16(1.0)	13(1.0)	آذر ۲
75.6(a-d)	62.7(3.92)	88.6(2.36)	2.0(c-f)	2.4(0.37)	1.8(0.15)	13.8(c-f)	16(2.52)	11.7(1.0)	باران
75.6(a-d)	72.1(8.33)	79.1(3.70)	1.9(d-f)	2.0(0.11)	1.8(0.25)	13.3(d-f)	14(0.58)	12.7(1.73)	اوحدی
75.3(a-d)	66.9(4.47)	83.7(7.0)	2.0(c-f)	2.3(0.12)	1.8(0.32)	13.5(c-f)	15(1.0)	12(1.0)	سرداری
81.5(ab)	71.7(5.13)	91.4(8.34)	1.8(fg)	2.0(0.14)	1.6(0.13)	12.8(fg)	14(1.0)	11(1.0)	L1
66.3(cd)	60.4(5.71)	72.2(9.62)	2.6(a)	3.3(0.4)	1.9(0.55)	5.15(a)	16.7(1.73)	14(1.53)	L2
73.3(a-d)	63.0(6.42)	83.7(7.0)	2.1(b-f)	2.6(0.14)	1.6(0.33)	14(b-f)	16(1.0)	12(1.73)	L3
74.9(a-d)	63.9(2.41)	85.9(17.2)	2.1(b-f)	2.6(0.45)	1.7(0.1)	12.8(b-f)	15.7(2.65)	12(0.58)	L4
83.2(a)	73.8(8.58)	92.6(16.0)	1.8(fg)	1.9(0.32)	1.6(0.23)	12.3(fg)	13.7(1.73)	11(1.53)	L5
73.7(a-d)	61.6(5.61)	85.9(4.37)	2.6(a)	2.3(0.21)	2.0(0.55)	14(a)	16.3(0.58)	11.7(1.53)	L7
79.7(a-c)	70.1(5.92)	89.3(11.6)	2.0(c-f)	2.3(0.23)	1.8(0.16)	12.8(c-f)	14.3(1.53)	11.3(1.15)	L10
68.6(a-d)	55.7(3.10)	81.6(8.7)	2.2(a-e)	2.7(0.19)	1.8(0.2)	15.2(a-e)	18(1.15)	12.3(1.0)	L11
73.6(a-d)	63.9(2.41)	83.3(0.0)	2.4(a-c)	3.0(0.08)	1.7(0.18)	13.8(a-c)	15.7(0.0)	12(0.58)	L13
63.8(d)	58.8(0.0)	68.7(7.42)	2.3(a-d)	2.5(0.42)	2.1(0.19)	15.8(a-d)	17(1.53)	14.7(0.0)	L15
68.7(a-d)	60.2(0.0)	77.2(5.96)	2.1(c-f)	2.3(0.23)	1.8(0.25)	14.8(c-f)	16.7(1.0)	13(1.15)	L17
73.9(a-d)	64.1(4.53)	83.7(7.0)	2.1(c-f)	2.4(0.14)	1.7(0.33)	13.8(c-f)	15.7(1.0)	12(1.15)	L18
73.8(a-d)	61.3(2.12)	86.2(8.7)	1.8(fg)	2.1(0.11)	1.4(0.25)	14(fg)	16.3(1.15)	11.7(0.58)	L20
70.2(a-d)	58.8(0.00)	81.6(8.7)	2.3(a-c)	2.7(0.21)	2.0(0.02)	14.7(a-c)	17(1.15)	12.3(0.0)	L22
76.9(ab)	65.3(2.41)	88.4(4.37)	1.8(fg)	2.2(0.21)	1.3(0.09)	13.3(fg)	15.3(0.58)	11.3(0.58)	L25
70.2(a-d)	61.3(2.12)	79.1(3.70)	2.3(a-d)	2.6(0.09)	1.9(0.06)	14.5(a-d)	16.3(0.58)	12.7(0.58)	L26
81.2(a-d)	62.7(3.92)	99.7(2.19)	1.4(g)	1.7(0.25)	1.2(0.12)	13.2(g)	16(2.8)	1.3(1.0)	L27
74.3(b-d)	62.7(3.92)	85.9(4.37)	2.5(a)	2.9(0.11)	2.0(0.12)	13.8(a)	16(0.58)	11.7(1.0)	L28
69.9(a-d)	60.3(5.71)	79.4(6.87)	2.0(c-f)	2.4(0.27)	1.6(0.31)	14.7(c-f)	16.7(1.15)	12.7(1.53)	L29
74.6(a-d)	62.7(3.92)	86.2(8.70)	2.0(c-f)	2.4(0.18)	1.6(0.34)	13.8(c-f)	16(1.15)	11.7(1.0)	L30
67.9(cd)	59.0(3.47)	76.9(0.0)	2.0(c-f)	2.4(0.26)	1.7(0.2)	15(c-f)	17(0.0)	13(1.0)	L31
70.1(a-d)	59.0(3.47)	81.2(3.70)	1.9(e-f)	2.4(0.07)	1.3(0.12)	14.7(e-f)	17(0.58)	12.3(1.0)	L32
74.6(a-d)	65.5(5.15)	83.7(7.00)	2.1(b-f)	2.5(0.21)	1.7(0.19)	13.7(b-f)	15.3(1.0)	12(1.15)	L33
71.9(a-d)	60.0(2.12)	83.7(7.00)	1.4(g)	1.7(0.04)	1.2(0.06)	14.5(a-d)	16.7(1.0)	12(0.58)	L34
	63.2 (b)	83.4 (a)		2.4 (a)	1.7 (b)		15.9 (a)	12.1 (b)	میانگین Mean

علامت خط تیره (-) بین حروف نشانگر وجود سایر حروف بین آنهاست و براساس الفبای لاتین می‌باشد. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

A dash (-) sign between letters indicates the presence of other letters between them. Means in each column by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

وجود دارد (جدول ۲). به طوری که ژنوتیپ‌های L_{۱۵} و L_۲ به ترتیب با ۶۳/۸ و ۶۶/۳ میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی کمترین و ژنوتیپ‌های L_۵ و L_۱ به ترتیب با ۸۳/۲ و ۸۱/۵ میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی بیشترین میزان کارایی استفاده از روی را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). همچنین،

کارایی مصرف روی

میزان ماده خشک تولید شده به ازای هر میلی‌گرم روی کارایی مصرف روی تعریف می‌گردد (Narwal et al., 2012). نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر کارایی مصرف روی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

گیاه می‌باشد.

طبق تعریف کارایی روی، هرچه میزان این پارامتر بیشتر باشد ژنوتیپ یا رقم به کمبود روی متحمل‌تر بوده و پارامتر موثری برای گزینش ژنوتیپ‌ها می‌باشد، ولی دارای اشکالاتی است که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها ایجاد خطا نماید. برای مثال ژنوتیپ‌های L_{۲۸} و L_{۳۴} دارای کارایی روی نسبتاً یکسان هستند (شکل ۳) ولی از نظر ویژگی‌ها گیاهچه و توانایی تولید ماده خشک کاملاً متفاوت هستند (شکل ۱). با توجه به اینکه ویژگی اولیه گیاهچه اثر مثبتی بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه دارد، طبیعتاً ژنوتیپی که گیاهچه‌های قوی‌تری تولید می‌کند در مقایسه با ژنوتیپ دیگر، از توانایی مناسب‌تری برای اجرای فرآیندهای حیاتی متابولیسم برخوردار است و بر ژنوتیپ دیگر ارجحیت دارد.

برآیند این عوامل نشان می‌دهد ژنوتیپ‌ها یا ارقامی که کارایی روی بالایی دارند، در شرایط کمبود و کفایت روی میزان ماده خشک نسبتاً یکسانی را تولید می‌نمایند. این امر نشان می‌دهد که اجرای چرخه کالوین در این دسته از ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط بهم نزدیک بوده و منجر به تولید ماده خشک یکسان می‌شود. اما همان‌گونه که اشاره شد ژنوتیپ‌هایی با کارایی روی یکسان، ممکن است از نظر میزان ماده خشک بخش هوایی با هم متفاوت باشند (اشکال ۲ و ۳) که می‌تواند ناشی از تفاوت آنها در مصرف پتانسیل هیدروژن حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز باشد. ژنوتیپ‌هایی که علیرغم داشتن کارایی روی بالا، ماده خشک بخش هوایی آنها کم می‌باشد عملاً پتانسیل هیدروژن حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز را در مکانیسم‌های دفاعی نظیر چرخه‌های گلوکوتائین-آسکوربات، مهلر و گزانتوفیل به‌هدر می‌دهند و بخشی از پتانسیل هیدروژن حاصل از مرحله یاد شده برای اجرای چرخه کالوین اختصاص می‌یابد (Esfandiari and Mahboob, 2014). در مقابل ژنوتیپ‌هایی که ضمن برخورداری از کارایی روی بالا، دارای ماده خشک بخش هوایی بالاتری هستند بخش قابل توجهی از پتانسیل هیدروژن حاصل از واکنش‌های نوری فتوسنتز را برای تثبیت دی‌اکسید کربن و تبدیل آن به کربوهیدرات در چرخه کالوین مصرف کرده‌اند. اجرای این چرخه مهم‌ترین مکانیسم

کارایی استفاده از روی در اثر کاربرد سولفات روی در گیاهچه‌های ارقام و ژنوتیپ‌های گندم کاهش یافت و از ۸۳/۴ به ۶۳/۲ میلی‌گرم ماده خشک بر میکروگرم روی رسید (جدول ۳) که ناشی از افزایش غلظت یا جذب روی گیاهچه است. کاهش کارایی مصرف روی با افزودن روی به خاک و وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های گندم توسط محققین متعددی نیز گزارش شده است (Genc *et al.*, 2002; Genc and McDonald, 2004) (and 2008; Narwal *et al.*, 2012; Vanitha *et al.*, 2016). لازم به‌ذکر است که بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان از نظر توانایی جذب و مصرف عناصر غذایی تفاوت‌هایی وجود دارد که برای محققین ابهام ایجاد می‌کند. کارایی مصرف روی به‌طور همزمان ویژگی‌های مرتبط با جذب و مصرف عناصر را در گیاهان نشان می‌دهد و برخی از تضادهای موجود بین ارتباط فاکتورها مانند غلظت روی با ماده خشک تولید شده را رفع می‌نماید (Sepehr *et al.*, 2009).

کارایی روی

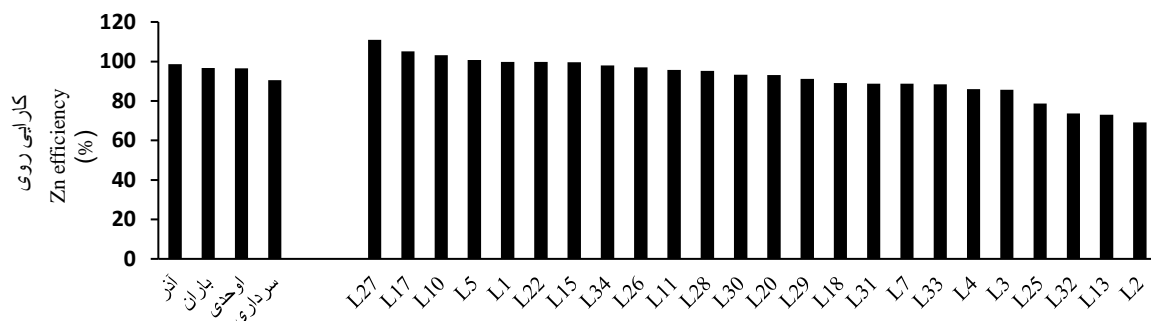
کارایی روی^۱ بیانگر نسبت وزن خشک بخش هوایی تولید شده در شرایط کمبود روی به وزن خشک بخش هوایی تولید شده در شرایط کافی بودن روی است (Welch *et al.*, 1993). این پارامتر برای بررسی وجود تنوع بین ژنوتیپ‌ها و یا توضیح اختلاف بین گیاهان در مقاومت به کمبود روی کاربرد دارد (Khan *et al.*, 1998; Rengel *et al.*, 1998). لذا می‌توان عنوان نمود که هرچه میزان ماده خشک تولید شده در بخش هوایی در شرایط کمبود و کافی بودن روی بهم نزدیک‌تر باشد ژنوتیپ مورد نظر روی کارآمدتر است.

در این مطالعه بین ژنوتیپ‌های گندم، از نظر کارایی روی تنوع خوبی مشاهده شد و میزان این شاخص بین ۶۵/۱۵ تا ۱۱۰/۹۴ درصد متغیر بود (شکل ۳). تنوع در کارایی روی در گندم توسط محققینی متعددی گزارش شده است (Neue *et al.*, 1998; Rengel *et al.*, 1998; Khoshgoftar-Manesh *et al.*, 2006; Rasouli-Sadaghiani *et al.*, 2006). این محققین معتقدند که اختلاف بین ارقام یا ژنوتیپ‌های گندم حاکی از وجود پتانسیل ژنتیکی برای توسعه کارایی روی در این

^۱ Zn efficiency

گیاه برای مقابله با انواع اکسیژن فعال برخوردار می‌باشند. در مقابل ژنوتیپ‌های روی کارآمد با ویگور بالای گیاهچه به شرط عدم بروز علائم ظاهری، به دلیل اجرای مناسب چرخه کالوین لزومی بر اجرای سایر مکانیسم‌های دفاعی گیاه برای ممانعت از تولید یا جمع‌آوری انواع اکسیژن فعال تولید شده در واکنش‌های نوری فتوسنتز ندارند. لذا، برآیند این عوامل نشان می‌دهد که برای گزینش صحیح ژنوتیپ‌های متحمل یا مقاوم به کمبود روی در نظر گرفتن همزمان ماده خشک بخش هوایی و کارایی روی حائز اهمیت است.

دفاعی گیاه بوده و ضمن کاهش تولید انواع اکسیژن فعال در کلروپلاست، تولید کربوهیدرات‌ها را افزایش می‌دهد که در نهایت بالا رفتن تولید سایر بیومولکول‌ها و وزن خشک ساختاری گیاهچه را در پی دارد (Esfandiari and Mahboob, 2014). لازم به ذکر است که به لحاظ فیزیولوژیک هر دو دسته ژنوتیپ‌ها که دارای کارایی روی بالایی هستند از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. زیرا هر کدام اطلاعات ارزشمندی از بعد رفتار فیزیولوژیک گیاه در شرایط کمبود روی نشان می‌دهد. در واقع ژنوتیپ‌ها روی کارآمد اما با ویگور گیاهچه ضعیف به شرط عدم بروز علائم ظاهری، از توان بالایی در اجرای مکانیسم‌های دفاعی



شکل ۳- تغییرات شاخص کارایی روی در اثر کاربرد سولفات روی در ارقام و ژنوتیپ‌های گندم نان

Figure 3- Changes in zinc efficiency index as a result of zinc sulfate application in bread wheat varieties and genotypes

مجموع، در بین پارامترهای مورد بررسی برای تعیین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به کمبود روی، لازم است بطور همزمان اطلاعات ماده خشک بخش هوایی در شرایط کمبود یا کفایت روی همراه با کارایی آن مورد بررسی قرار گیرد. لذا، می‌توان ژنوتیپ‌های L₂₈، L₂₂ و L₁₀ را به دلیل نزدیکی میزان ماده خشک اندام‌های هوایی در شرایط کافی بودن روی و کمبود روی به یکدیگر، بنیه قوی تر و کارایی روی بالا جزو ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی دانست. در مقابل ژنوتیپ‌های L₂، L₃₂ و L₁₃ کارایی روی و ماده خشک پائینی در شرایط کمبود روی داشتند و به همین جهت حساس به کمبود روی می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اگرچه گندم نان به کمبود روی حساس می‌باشد اما، بین ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد بررسی از نظر تحمل یا مقاومت به کمبود روی تنوع خوبی وجود دارد. همچنین، هر یک از پارامترهای مورد اندازه‌گیری بخشی از ویژگی‌های مربوط به خصوصیات رفتاری ارقام یا ژنوتیپ‌ها را در اختیار محقق قرار می‌دهد. لازم به ذکر است که پارامترهای غلظت و جذب روی گیاهچه‌ها شاخص‌های مناسبی برای گزینش و جداسازی ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس نمی‌باشد. زیرا، در مواردی ژنوتیپ‌های حساس دارای مقادیر یکسان و یا بیشتر محتوا و غلظت روی در مقایسه با ژنوتیپ‌های مقاوم هستند. در

References

- Abdoli, M. and Esfandiari, E., 2017. Assessment of genetic variation and zinc deficient tolerance in spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes in calcareous soil with zinc deficiency. *Journal of Genetic Resources*, 3(1), pp.7-17. doi: 10.22080/jgr.2017.13099.10070

- Abdoli, M., Esfandiari, E., Aliloo, A.A., Sadeghzadeh, B. and Mousavi, S.B., 2019. Study of genetic diversity in different wheat species with various genomes based on morphological characteristics and zinc use efficiency under two zinc deficient growing conditions. *Acta Agriculturae Slovenica*, 113(1), pp.147-161. doi: **10.14720/aas.2019.113.1.13**
- Abdoli, M., Esfandiari, E., Sadeghzadeh, B. and Mousavi, S.B., 2016. Zinc application methods affect agronomy traits and grain micronutrients in bread and durum wheat under zinc-deficient calcareous soil. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), pp.202–214.
- Ali-Ehiayi, M. and Behbahani, A., 1993. Description of soil chemical analysis methods. Soil and Water Research Institute.
- Beygi, M., Savaghebi, Gh. and Motesarezadeh, B., 2012. Study of zinc efficiency in selected common bean cultivars. *Journal of Water and Soil*, 26(1), pp.33-41. [In Persian]
- Cakmak, I., 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant and Soil*, 247(1), pp.3-24. doi: **10.1007/978-94-017-2789-1-1**
- Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1), pp.1-17. doi: **10.1007/s1110-007-9466-3**
- Cakmak, I., Erenoglu, B., Güllüt, Y., Derici, R. and Römheld, V., 1998. Light-mediated release of phytosiderophores in wheat and barley under iron or zinc deficiency. *Plant and Soil*, 202(3), pp.309-315. doi: **10.1023/A:1004384712817**
- Cakmak, I., Tolay, I., Ozkan, H., Ozdemir, A. and Braun, H., 1999. Variation in zinc efficiency among and within *Aegilops* species. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 162(3), pp.257-262. doi: **10.1002/(sici)1522-2624(19906)162:3**
- Esfandiari, E. and Abdoli, M., 2017. Improvement of agronomic and qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes by application of zinc sulfate under zinc deficiency stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(3), pp.619-636. [In Persian]
- Esfandiari, E. and Javadi, A., 2014. Different responses of two wheat cultivars to salinity stress at seedling stage. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6(2), pp.1-16. [In Persian]
- Esfandiari, E., Abdoli, M., Sadeghzadeh, B. and Mousavi, S.B., 2018. Evaluation of Turkish durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum*) genotypes based on quantitative traits and shoot zinc accumulation under zinc-deficient calcareous soil. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8(4), pp.2525-2537. [In Persian]
- Esfandiari, E. and Mahboob, S.A., 2014. Plants biochemistry. Medicinal Science University of Tabriz. 315 p. [In Persian]
- Faezi-Asl, V., Valizadeh, Gh., Toshih, V., Taliei, A. and Belson, V., 2003. Determination of critical levels of micronutrients for dryland wheat in the North West of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 5(4), pp.236-249. [In Persian]
- Genc, Y. and McDonald, G.K., 2004. The potential of synthetic hexaploid wheats to improve zinc efficiency in modern bread wheat. *Plant and Soil*, 262(2), pp.23-32. doi: **10.1023/b:plso.0000037024.55764.26**

- Genc, Y. and McDonald, G.K., 2008. Domesticated emmer wheat [*T. turgidum* L. subsp. dicoccon (Schrank) Thell.] as a source for improvement of zinc efficiency in durum wheat. *Plant and Soil*, 310(1), pp.67-75. doi: **10.1007/s11104-008-9630-4**
- Genc, Y., McDonald, G.K. and Graham, R.D., 2002. A soil-based method to screen for zinc efficiency in seedlings and its ability to predict yield responses to zinc. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(4), pp.409-421. doi: **10.1071/ar01088**
- Graham, R.D. and Rengel, Z., 1993. Genotypic variation in zinc uptake and utilization by plants. soils and plants (pp. 107-118). Springer, Dordrecht.
- Hacisalihoglu, G. and Kochian, L.V., 2003. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New Phytologist*, 159(2), pp.341-350. doi: **10.1046/j.1469-8137.2003.00826.x**
- Hajiboland, R., Singh, B. and Römheld, V., 2011. Retranslocation of Zn from leaves as important factor for zinc efficiency of rice genotypes. In *Plant Nutrition* (pp. 226-227). Springer, Dordrecht.
- Hajihoseinlou, S., Esfandiari, E. Karimi, E. and Ozturk, O., 2023. The response of genetic diversity of durum wheat for zinc deficiency stress in calcareous soil using some physiological parameters. *Journal of Crop Ecophysiology*, 17(3), pp.333-350. [In Persian]
- Hemantaranjan, A., 2009. Advancements in micronutrient research. Scientific publishers (India). 465 P.
- Kalayci, M., Torun, B., Eker, S., Aydin, M., Ozturk, L. and Cakmak, I., 1999. Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. *Field Crops Research*, 63(1), pp.87-98. doi: **10.1016/s0378-4290(99)00028-3**
- Khan, H.R., McDonald, G.K. and Rengel, Z., 1998. Chickpea genotypes differ in their sensitivity to Zn deficiency. *Plant and Soil*, 198(1), pp.11-18.
- Khoshgoftar-Manesh, A.H., 2007. Evaluation of plant nutrition status and optimum fertilizer management. Isfahan University of Technology Press. [In Persian]
- Khoshgoftar-Manesh, A.H., Schulin, R., Chaney, R.L., Daneshbakhsh, B. and Afyuni, M., 2010. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1), pp.83-107. doi: **10.1051/agro%2f2009017**
- Malakouti, M.J., 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1), pp.1-12.
- Moshiri, F., Ardalan, M., Tehrani, M.M. and Savaghebi, Gh., 2010. Zinc efficiency of wheat cultivars in a calcareous soil with low zinc status. *Journal of Water and Soil*, 24(1), pp.145-153. doi: **10.1081/pln-200030068**
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review in Plant Biology*, 59(1), pp. 651-681. doi: **10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911**
- Narwal, R.P., Dahiya, R.R., Malik, R.S. and Kala, R., 2012. Influence of genetic variability on zinc, iron and manganese responses in wheat. *Journal of Geochemical Exploration*, 121(1), pp.45-48. doi: **10.1016/j.gexplo.2012.06.006**

- Neue, H.U., Quijano, C., Senadhira, D. and Setter, T., 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. *Field Crops Research*, 56(1), pp.139-155. doi:10.1016/s0378-4290(97)00125-1
- Passerini, A., Andreini, C., Menchetti, S., Rosato, A. and Frasconi, P., 2007. Predicting zinc binding at the proteome level. *BMC Bioinformatics*, 1(1), pp.8-39. doi: 10.1186/1471-2105-8-39
- Rasouli-Sadaghiani, M.S., Javadi-Paydar, M., Gharedaghi, M.H., Fard, Y.Y. and Dehpour, A.R., 2011. Antidepressant-like effect of pioglitazone in the forced swimming test in mice: The role of PPAR-gamma receptor and nitric oxide pathway. *Behavioral Brain Research*, 224(2) pp.336-343. doi: 10.1016/j.bbr.2011.06.011
- Sadeghzadeh, B., Rengel, Z. and Li, C., 2009. Differential zinc efficiency of barley genotypes grown in soil and chelator-buffered nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 32(10), pp.1744–1767. doi: 10.1080/01904160903150974
- Sepehr, E., Malakouti, M.J., Kholdebarin, B., Samadi, A. and Karimian, N., 2009. Genotypics variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. *Plant Production*, 3(1), pp.17-28. [In Persian]
- Shu, N., Zhou, T. and Hovmoller, S., 2008. Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *Bioinformatics*, 24(6), pp.775-782. doi: 10.1093/bioinformatics/btm618
- Singh, B., Kumar, S., Natesan, A., Singh, B.K. and Usha, K., 2005. Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*, 10(1), pp.36-44.
- Torun, B., Bozbay, G., Gultekin, I., Braun, H.J., Ekiz, H. and Cakmak, I., 2000. Differences in shoot growth and zinc concentration of 164 bread wheat genotypes in a zinc-deficient calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 23(9), pp.1251-1265. doi: 10.1080/01904160009382098
- Vanitha, J., Amudha, K., Kumari, R. and Robin, S., 2016. Genetic variability studies for zinc efficiency in aerobic rice. *Journal of Agricultural Science and Research*, 3(1), pp.49-56.
- Welch, R.M., Norvell, W.A., Schaefer, S.C., Shaff, J.E. and Kochian, L.V., 1993. Induction of iron (III) and copper (II) reduction in pea (*Pisum sativum* L.) roots by Fe and Cu status: Does the root-cell plasmalemma Fe (III)-chelate reductase perform a general role in regulating cation uptake? *Planta*, 190(4), pp.555-561.

Genetic diversity of beard wheat genotypes in response to zinc efficiency in a calcareous soil

Zahra Bahrever¹, Ezatollah Esfandiari^{2*}, Sedighe Hajihoseinlou³, Esmail Karimi⁴, Shahriyar Dashti²

¹ M.Sc Graduate, Department of Plant Genetic and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

² Department of Plant Genetic and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

³ Ph.D Graduate, Department of Plant Genetic and Production Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

⁴ Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

*Corresponding Author: esfand1977@yahoo.com

Received: 9 November 2022 Accepted: 16 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.367648.1284

Abstract

Introduction: Zinc is an essential micronutrient in plant nutrition and, plays a critical role in enzymatic reactions in plants. Zinc deficiency in the soils limits crops' growth and development, reduces the yield-related quantitative and qualitative traits. Wheat is the main source of food in Iranian diets. Wheat production is negatively affected by insufficient zinc in soils. Because of the high amount of lime in Iranian soils, Zinc deficiency is a common phenomenon in these soils. To overcome this challenge, the selection of zinc deficiency tolerant wheat cultivars could be one of the best strategies. To reach this goal; in this research, 28 genotypes and bread wheat cultivars were evaluated for their response to zinc deficiency in a calcareous soil containing 39% CaCO₃. We expected that zinc-deficient tolerant wheat cultivars should perform well under zinc deficiency compared to other wheat cultivars.

Materials and Methods: To test this hypothesis, 24 genotypes and 4 bread wheat cultivars were collected from the Institute of Seedlings and Seeds and, their growth characteristics were evaluated under control and zinc sulfate (5 mg. kg⁻¹) application. This experiment was performed as a factorial based on a randomized complete block design with three replications. Wheat genotypes and cultivars seedlings were kept under controlled conditions for 45 days and, irrigation was done with deionized water during the experiment. At the end of the experiment, wheat seedlings were cut from the land surface and the dry mass of areal part, zinc efficiency, zinc concentration, zinc content, and zinc use efficiency were assayed in the laboratory of agronomy at the University of Maragheh.

Results and Discussion: Results showed high variation among the cultivars and genotypes of wheat for the dry weight mass of aerial parts at zinc deficiency and with zinc treatment. The dry weight of aerial parts was varied between 99.5±3.08 to 172.833±2.69 mg.plant⁻¹ in L34 and L28 genotypes and 139.889±3.37 to 155.55±1.39 mg.plant⁻¹ in Sardari and Azar 2 cultivars, respectively under zinc deficiency conditions. But, the dry weight mass of aerial parts in the conditions of sufficient zinc absorption was between 101.5±0.92 to 196.611±13.55 mg.plant⁻¹ in L34 and L2 genotypes and in wheat cultivars, respectively. Zinc concentration of seedlings in conditions of zinc deficiency in L27 genotype was 10.3 mg.kg⁻¹ zinc and, Baran cultivar with 11.7 mg.kg⁻¹ zinc had the lowest and L15 genotype with 14.7 mg.kg⁻¹ zinc and Azar 2 cultivar with 13 mg.kg⁻¹ contained the highest amount. While with zinc application, L5 genotype with 13.7 mg.kg⁻¹ and Ouhadi cultivar with 14 mg.kg⁻¹ had the lowest and L11 genotype with 18 mg.kg⁻¹ and Azar 2 and Baran cultivar both with 16 mg.kg⁻¹ had the highest amount of zinc. Genotypes L15 with 63.8 and L2 with 66.3 mg dry weight mass per µgr zinc had the lowest and, L5 and L1 genotypes respectively with 83.2 and 81.5 mg dry weight mass per µgr zinc, had the highest efficiency of zinc use. Zinc application from zinc sulfate sources decreased the zinc efficiency of wheat genotypes and cultivars. Also, the efficiency of zinc application

due to the application of zinc sulfate in seedlings of wheat cultivars and genotypes decreased from 83.4 to 63.2 mg dry weight mass per μg zinc. Among genotypes, a desirable diversity of zinc efficiency was observed. The value of this index was varied between 65.15 to 110.94 %.

Conclusion: The results showed that despite the sensitivity of wheat to zinc deficiency, there was a high diversity between genotypes and cultivars in terms of shoot dry matter, zinc efficiency, and the content and concentration of zinc. Also, due to the same or more amounts of zinc content and concentration in sensitive genotypes compared to the resistant ones, the seedlings' zinc concentration and content are not suitable parameters for genotype selection programs. Overall, among the studied parameters, shoot dry matter and zinc efficacy are more reliable criteria for selecting sensitive and resistant zinc-deficient genotypes.

Keywords: Shoot dry matter, Zn concentration, Zn content, Zn efficiency, Zn use efficiency

بررسی اثر فاصله کاشت بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

محمود اسلامی^{۱*}، هادی سالک معراجی^۱، داود جمشیدی^۱، آرام تقوی^۲، ایران آدینه‌وند^۲

۱- گروه علوم کشاورزی، دانشکده باهنر پاکدشت، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران
۲- دانشجوی سابق کارشناسی، تولید و بهره برداری گیاهان دارویی و معطر، گروه علوم کشاورزی، دانشکده شریعی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: meslami@tvu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.403211.1349

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر فاصله کاشت بوته بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد و خصوصیات کیفی دانه کینوا، پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۱ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی پسران پاکدشت استان تهران اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل پنج فاصله مختلف بوته (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر) روی ردیف‌های ثابت (۵۰ سانتی‌متر) (۵۰ × ۵۰ × ۱۰، ۵۰ × ۵۰ × ۲۰، ۵۰ × ۵۰ × ۳۰، ۵۰ × ۵۰ × ۴۰ و ۵۰ × ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر) بود. کمترین وزن هزار دانه (۲/۰۵ گرم) و شاخص برداشت (۲۸/۵ درصد) در فاصله کشت ۱۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید. بالاترین سطح برگ (۹۰۳/۵ سانتی‌متر مربع در بوته)، تعداد شاخه جانبی (۱۸ عدد)، طول خوشه اصلی (۳۷/۳ سانتی‌متر) نیز در فاصله کشت ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده شد. کمترین و بیشترین عملکرد دانه به ترتیب با ۳۴۸/۳ و ۳۹۴ گرم در متر مربع به ترتیب در فواصل کشت ۱۰ × ۵۰ و ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر حاصل شد. بالاترین درصد پروتئین و نشاسته دانه به ترتیب با ۱۹/۱ و ۷۱/۶ درصد در بیشترین فاصله بین بوته‌ها (۵۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. محتوای فسفر و پتاسیم دانه (۳۹۵/۴ و ۸۹۷/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دانه) نیز در فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین بوته‌ها به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر و یکسان بودن اغلب صفات اندازه‌گیری شده بین فواصل کشت ۵۰ × ۵۰ و ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر، پیشنهاد می‌گردد که در شرایط آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ، فاصله کشت ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: درصد نشاسته، درصد پروتئین، سطح برگ، شاخص برداشت، عملکرد دانه، غلظت فسفر

مقدمه

اکوادور، کلمبیا و شیلی است (Fuentes *et al.*, 2009). ارتفاع بوته کینوا با توجه به رقم و شرایط محیطی از ۴۵ سانتی‌متر تا بیش از چهار متر متفاوت بوده، همچنین دارای برگ‌های پهن با آرایش متناوب روی ساقه می‌باشد (Singh, 2019). دوره رشدی ارقام مختلف کینوا بین ۹۰ تا ۱۲۵ روز و دارای ژنوتیپ‌های حساس به طول روز و روز خنثی است (Singh, 2019).

افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از مهمترین عوامل بالا بردن تولید می‌باشد. عوامل متعددی در افزایش کمیت و کیفیت گیاهان دخیل بوده که از جمله عوامل زراعی می‌توان به الگوی کاشت و تراکم بوته در واحد سطح اشاره کرد. از آن جا که دسترسی منابع مورد نیاز گیاه مانند نور، آب و عناصر غذایی ارتباط زیادی با تراکم کشت دارد، لذا تنظیم تراکم کشت به منظور استفاده مطلوب گیاه از منابع مورد نیاز خود جهت رشد

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) یکی از مغذی‌ترین گیاهان دانه‌ای بوده (Ruiz *et al.*, 2014) که به علت ویژگی‌های منحصر به فرد تغذیه‌ای می‌تواند نقش مهمی در تغذیه انسان و دام داشته باشد (Stikic *et al.*, 2012). دانه کینوا منبع عالی از عناصر معدنی مانند منگنز، آهن، پتاسیم، مس، روی و فسفر بوده و حاوی ویتامین‌های گروه B از جمله ریبوفلاوین، تیامین و نیاسین است (Khalili *et al.*, 2019). میزان اسید آمینه‌های لیزین، متیونین و سیستئین در پروتئین کینوا بالا است، به نحوی که این گیاه را نسبت به غلات (لیزین) و حبوبات (متیونین و سیستئین) برتری داده است (Abugoch *et al.*, 2009).

کینوا گیاهی یک‌ساله، پهن برگ، سه کرینه (González *et al.*, 2015)، بومی منطقه کوه‌های آند مانند پرو، بولیوی،

و نمو، بسیار حائز اهمیت است (Fathi, 2010).

با توجه به خصوصیات گیاه‌شناسی و ظاهری کینوا، تعیین تراکم مطلوب کشت یکی از مهمترین عوامل مؤثر در دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه محسوب می‌گردد. پژوهش‌های متعددی در رابطه با تراکم مطلوب بوته کینوا در واحد سطح در مناطق مختلف انجام شده است. در پژوهشی، گزارش شده است که تراکم کاشت (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ بوته در متر مربع) بر ارتفاع بوته کینوا اثرگذار نبود ولی وزن خشک بوته، عملکرد زیست‌توده، تعداد شاخه جانبی، تعداد خوشه در بوته، طول خوشه، تعداد دانه در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه تحت تأثیر تراکم کاشت قرار گرفت (Samadzadeh et al., 2020). در پژوهش دیگری گزارش گردیده که تراکم کاشت (۲۰، ۳۰ و ۴۰ بوته در متر مربع) تأثیری بر ارتفاع بوته و درصد نیتروژن دانه کینوا نداشت ولی بر عملکرد دانه و سطح برگ اثرگذار بود (Wang et al., 2020). گزارش شده است که تراکم‌های مختلف بوته بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و وزن هزار دانه کینوا اثر معنی‌داری داشت ولی بر درصد پروتئین دانه اثر گذار نبود (Asher et al., 2022). با افزایش تراکم بوته ارتفاع بوته کاهش یافت ولی عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و وزن هزار دانه تحت تأثیر تراکم قرار نگرفت (Spehar and Rocha, 2009). در پژوهشی، گزارش گردیده که تراکم بوته بر وزن هزار دانه، طول خوشه و عملکرد دانه کینوا اثرگذار بود (de Oliveira Filho et al., 2021). ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول خوشه، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا تحت تأثیر تراکم کاشت قرار گرفت (Zulkadir, 2021). در آزمایشی، اثر چهار تراکم بوته (۶، ۸، ۱۰ و ۱۴ بوته در متر مربع) کینوا را بررسی و گزارش کردند که تراکم بر ارتفاع بوته، درصد چربی، درصد فیبر و نشاسته اثر معنی‌داری نداشت ولی بر طول خوشه، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین و خاکستر دانه اثرگذار بود (Van Minh et al., 2020). در پژوهش دیگر گزارش شده که عملکرد دانه، درصد کربوهیدرات دانه، وزن هزار دانه، درصد رطوبت، پروتئین خاکستر، منیزیم و کلسیم دانه تحت تأثیر تراکم بوته قرار گرفت ولی بر درصد فیبر، فسفر، پتاسیم، روی و آهن دانه اثرگذار نبود (Eisa et al., 2018). نتایج گزارش شده در سایر پژوهش‌ها نیز بیانگر تأثیر تراکم

بوته بر صفات مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و زراعی کینوا بوده (Rabbani et al., 2022; Karami et al., 2020; Najafinezhad et al., 2022; Vahedi et al., 2022; Lu et al., 2020; Al Jbawi et al., 2022) که عواملی مانند شرایط آب و هوایی، هدف از کاشت، رقم و دیگر عوامل بر تراکم مورد نظر اثرگذار است. بر همین اساس پژوهش حاضر به منظور بررسی تراکم مختلف کاشت بر صفات مختلف کینوا (رقم Giza 1) در منطقه پاکدشت استان تهران طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تراکم کاشت بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین خصوصیات کیفی دانه کینوا پژوهشی در سال ۱۴۰۱ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی پسران پاکدشت استان تهران اجرا گردید.

تیمارهای آزمایش شامل پنج فاصله کشت ۵۰×۵۰ ، ۱۰×۵۰ ، ۲۰×۵۰ ، ۳۰×۵۰ و ۵۰×۵۰ روی ردیف و بین ردیف‌ها بود. به‌همین منظور ابتدا در اسفند ماه سال ۱۴۰۰، زمین مورد نظر با گاواهن برگردان‌دار به عمق حدود ۳۵ سانتی‌متر شخم زده شد. سپس خاک زمین مورد نظر کلوش‌کنی و تسطیح گردید. در فروردین سال ۱۴۰۱ کرت‌بندی بر اساس طرح مورد نظر انجام و لوله‌های آبیاری و نوار تیپ در زمین جای‌گذاری شد. طول هر کرت دو متر، فاصله بین تیمارها و تکرارها نیز به ترتیب یک و دو متر در نظر گرفته شد. محل اجرای آزمایش، شهرستان پاکدشت استان تهران با طول جغرافیایی $۵۱/۴۰$ درجه و عرض $۲۸/۳۵$ بود. میانگین بارندگی سالیانه در این شهرستان $۱۵۹/۸$ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت آن $۱۶/۸$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زمین اجرای آزمایش نیز در جدول ۱ آورده شده است. جهت تعیین تراکم بوته در واحد سطح، فاصله بین ردیف‌های کشت به علت امکان انجام آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ، ۵۰ سانتی‌متر به‌طور ثابت در نظر گرفته شد ولی فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کشت متغیر (۱۰ ، ۲۰ ، ۳۰ ، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر) بود. پس از آماده شدن زمین، بذرها به صورت کپه‌ای (۵-۷ بذر) در فواصل مورد نظر کشت و بلافاصله به صورت قطره‌ای آبیاری گردید. فواصل آبیاری هر پنج روز یکبار انجام

PFEUFFER آلمان انجام سپس به کمک ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. درصد نیتروژن دانه به روش کج‌دال اندازه‌گیری گردید. پروتئین خام نیز از ضرب درصد نیتروژن در عدد ۶/۲۵ محاسبه شد (AOAC, 2005). میزان فسفر دانه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Lambda 25; PerkinElmer, Waltham, MA, USA به روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات-وانادات) در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Kitson and Mellon, 1944). پتاسیم دانه نیز با کمک دستگاه فلیم‌فتومتر مدل Techne 500 701 Pfp7 مورد سنجش قرار گرفت (AOAC, 2005). نشاسته دانه نیز بر اساس روش (Hedge *et al.*, 1962) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر مدل اشاره شده در بالا در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱)، مقایسات میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) انجام گردید.

گردید. پس از آن که گیاهچه‌ها به مرحله از ۴ الی ۷ برگ رسيدند (ارتفاع حدود ۱۵-۱۰ سانتی‌متر) عملیات تنک کردن انجام گردید. سایر عملیات داشت مانند وجین علف‌های هر دو مرتبه به صورت دستی و سم‌پاشی علیه آفت برگ‌خوار و شته سبز با حشره‌کش ایمیداکلوپراید (کنفیدور) با غلظت ۱/۵ در هزار انجام گردید. در مرحله گل‌دهی تعداد دو بوته از هر کرت برداشت و پس از جدا کردن برگ‌ها سطح برگ با کمک سطح برگ‌سنج مدل اسکتری، سنجش و به کمک برنامه Image J محاسبه گردید. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، محصول برداشت و سایر صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ارتفاع پنج بوته از هر تیمار به کمک متر فلزی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به عنوان عدد نهایی هر کرت در نظر گرفته شد. میانگین طول پنج خوشه از هر کرت نیز به عنوان عدد هر تیمار در نظر گرفته شد. عملکرد دانه و زیست‌توده نیز پس از برداشت و جداسازی دانه، توسط ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. شمارش هزار دانه نیز به کمک بذر شمار مدل Contador ساخت شرکت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical characteristics of field soil

ذرات تشکیل دهنده خاک									
Soil particles (%)									
آهن	مس	روی	هدایت الکتریکی اسیدیته	کربن آلی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	بافت خاک	
Fe	Cu	Zn	pH	O.C	K	P	N (%)	Soil texture	
(mg.g)	(mg.g)	(mg.g)		(%)	(mg.kg)	(mg.kg)			
			EC						
			(dS/m)						
7.1	0.72	0.90	7.6	1.68	1.28	360.1	41.6	0.102	شن
									Sand
									رس
									Clay
									سیلت
									Silt
									لومی شنی
									Sandy
									Loam
									15
									25
									60

این نکته مرتبط دانست که بوته‌ها برای دستیابی به تشعشعات نوری با یکدیگر به رقابت پرداخته و همین عامل سبب افزایش طول ساقه می‌گردد. زمانی که فاصله بوته‌ها روی ردیف افزایش می‌یابد (۵۰ سانتی‌متر)، دسترسی بوته‌ها به منابعی مانند آب، نور و عناصر غذایی افزایش یافته، در نتیجه به علت افزایش تولیدات فتوسنتزی، مواد غذایی بیشتری به رشد گیاه اختصاص می‌یابد در نتیجه ارتفاع بوته‌ها افزایش می‌یابد. گزارش شده که تراکم کاشت بر ارتفاع بوته کینوا اثرگذار نبود (Samadzadeh Wang *et al.*, 2020 ; *et al.*, 2020) که بر خلاف نتایج

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر فواصل کاشت قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته با ۱۸۰/۳ سانتی‌متر در فواصل کشت ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰ × ۵۰ و ۴۰ × ۵۰ نداشت و کمترین ارتفاع بوته (۱۵۳ سانتی‌متر) در فاصله کشت ۲۰ × ۵۰ مشاهده گردید (شکل ۱). علت افزایش ارتفاع بوته در فاصله کاشت کم بوته روی ردیف (۱۰ سانتی‌متر) را می‌توان با

به دست آمده در پژوهش حاضر می‌باشد. در پژوهش‌های دیگری گزارش شده که تراکم بوته بر ارتفاع بوته کینوا اثرگذار بوده و با کاهش تراکم، ارتفاع بوته افزایش یافت (Asher *et al.*, 2022; Spehar and Rocha, 2009; de Oliveira Filho *et al.*, 2021). در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که بیشترین ارتفاع بوته در فاصله کشت 10×30 سانتی‌متر مشاهده شد (Al Jbawi *et al.*, 2022) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

به دست آمده در پژوهش حاضر می‌باشد. در پژوهش‌های دیگری گزارش شده که تراکم بوته بر ارتفاع بوته کینوا اثرگذار بوده و با کاهش تراکم، ارتفاع بوته افزایش یافت (Asher *et al.*, 2022; Spehar and Rocha, 2009; de Oliveira Filho *et al.*, 2021). در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که بیشترین ارتفاع بوته در فاصله کشت 10×30 سانتی‌متر مشاهده شد (Al Jbawi *et al.*, 2022) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

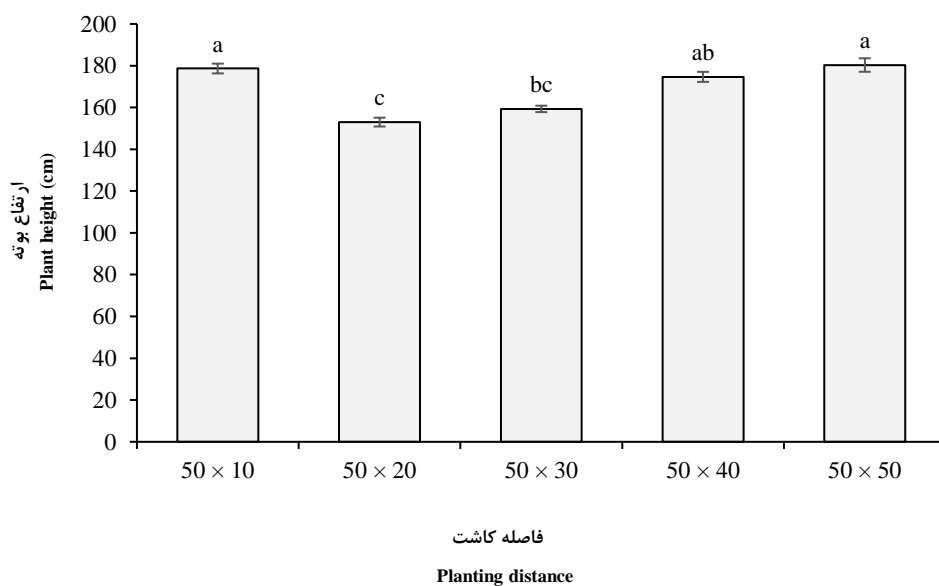
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاصله کشت بر خصوصیات مورفولوژیکی کینوا (رقم 1 Giza)

Table 2- Analysis of variance effect of planting distance on morphological traits of quinoa (cv. Giza 1)

منابع تغییرات Source of variations (S.O.V)	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	سطح برگ بوته Leaf area per plant	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	طول خوشه اصلی Length of main panicle
بلوک Block	2	31.20 ^{ns}	11.66 ^{ns}	4.06 ^{ns}	2.21 ^{ns}
فاصله کشت Planting distance	4	452.43 ^{**}	167.6 [*]	43.90 ^{**}	70.08 [*]
خطای آزمایشی Error	8	75.03	41.5	2.15	12.44
ضریب تغییرات C.V (%)	--	5.11	9.98	11.22	10.96

*, **, و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.



شکل ۱- تأثیر فاصله کاشت بر ارتفاع بوته کینوا (رقم 1 Giza)

Figure 1- The effect of planting distance on plant height of quinoa (cv. Giza 1)

در تیمارهای 10×20 و 10×30 سانتی‌متر فاصله روی ردیف مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد که با افزایش فاصله بوته روی ردیف، سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد که احتمالاً به علت دسترسی بیشتر گیاه به منابعی مانند آب، عناصر غذایی و نور می‌تواند باشد که در نتیجه آن، تولیدات فتوسنتزی افزایش و به

سطح برگ بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) فاصله بوته بر سطح برگ بود (جدول ۲). بالاترین سطح برگ با $9.3/5$ سانتی‌متر مربع در تیمار 50×50 سانتی‌متر مشاهده گردید (جدول ۳). کمترین سطح برگ نیز

نیز اتفاق می‌افتد. در پژوهشی گزارش شده است که شاخص سطح برگ با افزایش تراکم افزایش می‌یابد (Wang *et al.*, 2020) که مغایر با پژوهش حاضر است. افزایش شاخص سطح برگ با افزایش تراکم بوته، در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده (Karami *et al.*, 2020; Vahedi *et al.*, 2022) که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد.

تبع آن نیز رشد گیاه بالاتر می‌رود. همچنین دلیل افزایش سطح برگ را می‌توان به افزایش تعداد شاخه‌های جانبی نسبت داد. به عبارت دیگر، دلیل کاهش سطح برگ گیاه با کاهش تراکم بوته روی ردیف کاشت را می‌توان این گونه توجیه نمود که با افزایش تراکم کاشت، رقابت بین بوته‌ها افزایش یافته، در نتیجه به علت کاهش دسترسی به منابع رشد، سطح و تعداد برگ تولیدی کاهش می‌یابد. همچنین در تراکم‌های بالا ریزش برگ‌های گیاه

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر فاصله کاشت بر خصوصیات مورفولوژیکی کینوا (رقم 1 Giza)

Table 3- Mean comparisons effect of planting distance on morphological traits of quinoa (cv. Giza 1)

فاصله کاشت Planting distance (cm)	سطح برگ Leaf area (cm ² per plant)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	طول خوشه اصلی Length of main panicle (cm)
10 × 50	509.14c	8.6c	28.16b
20 × 50	510.20c	11.6b	30b
30 × 50	716.85b	11bc	31ab
40 × 50	703b	16a	34.33ab
50 × 50	903.53a	18a	37.33a

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

معنی‌دار ($P \leq 0.05$) فاصله کاشت بر صفت طول خوشه اصلی بود (جدول ۲). بیشترین طول خوشه اصلی با ۳۷/۳ سانتی‌متر در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر و کمترین طول خوشه (۲۸/۱) نیز در تیمار ۱۰ × ۵۰ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۳). با کاهش فاصله بوته‌ها روی ردیف، از طول خوشه اصلی کاسته شد. دلیل کاهش طول خوشه اصلی با کاهش فاصله کشت روی ردیف را می‌توان به رقابت ایجاد شده بین بوته‌ها جهت دریافت آب، عناصر غذایی و همچنین نور ارتباط داد. کاهش طول خوشه اصلی با افزایش تراکم بوته در واحد سطح در دیگر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (de Samadzadeh *et al.*, 2020) که (Oliveira Filho *et al.*, 2021; Van Minh *et al.*, 2020) در با نتایج به‌دست آمده این پژوهش مطابقت دارد. هر چند، در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است که در تراکم‌های بالا، طول خوشه افزایش می‌یابد (Rabbani *et al.*, 2022; Zulkadir, 2021) که بر خلاف نتایج پژوهش حاضر است.

تعداد شاخه جانبی

صفت تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر فواصل کاشت قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین شاخه جانبی (۱۸ عدد) در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید که با تیمار ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر از نظر آماری یکسان بود (جدول ۳). کمترین تعداد شاخه جانبی نیز با ۸/۶ عدد در تیمار ۵۰ × ۱۰ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۳). با افزایش تراکم تعداد شاخه جانبی در گیاه کاهش یافت که می‌تواند به دلیل رقابت ایجاد شده در تراکم‌های بالاتر باشد که با کاهش فضای اختصاص یافته به هر بوته، تعداد شاخه جانبی نیز کاهش می‌یابد (Karami *et al.*, 2020). کاهش تعداد شاخه با افزایش تراکم کشت کینوا در آزمایش‌های متعددی گزارش شده است (Karami *et al.*, 2020; Najafinezhad *et al.*, 2022; Vahedi *et al.*, 2022; Samadzadeh *et al.*, 2020) که با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد.

وزن هزار دانه

صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر

طول خوشه اصلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بیانگر تأثیر

رقابت درون گونه‌ای کاهش و مواد فتوسنتزی بیشتری به هر دانه در اختصاص یافته و اثر خود را با افزایش وزن هزار دانه نشان می‌دهد (Vahedi *et al.*, 2022). پژوهش‌های متعدد انجام شده بیانگر تأثیر تراکم بوته بر وزن هزار دانه کینوا می‌باشد. در برخی پژوهش‌ها گزارش شده که با کاهش تراکم بوته در واحد سطح، وزن هزار دانه افزایش می‌یابد (Samadzadeh *et al.*, 2020; Rabbani *et al.*, 2022; Karami *et al.*, 2020; Asher *et al.*, 2022; Van Minh *et al.*, 2020; de Oliveira Filho *et al.*, 2021; Eisa *et al.*, 2018) که با پژوهش حاضر در یک راستا می‌باشد. هر چند در پژوهشی، گزارش شده است که با افزایش تراکم، وزن هزار دانه نیز افزایش می‌یابد (Zulkadir, 2021). در پژوهش دیگری گزارش شده که تراکم بوته بر وزن هزار دانه کینوا اثرگذار نبود (Spehar and Rocha, 2009) که مغایر با یافته‌های پژوهش حاضر است.

فاصله کشت بوته روی ردیف قرار داشت (جدول ۴). فواصل کشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر روی ردیف، از نظر وزن هزار دانه تفاوتی با یکدیگر نداشتند و بیشترین وزن هزار دانه را دارا بودند (جدول ۵). کمترین وزن هزار دانه نیز با ۲/۰۵ گرم در تیمار ۵۰ × ۱۰ سانتی‌متر مشاهده گردید که از نظر آمار با تیمار ۵۰ × ۲۰ سانتی‌متر (۲/۲۱ گرم) مشابه بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که با کاهش فاصله کشت بوته‌ها روی ردیف، به علت وجود رقابت بین بوته‌ها جهت جذب منابع (آب، عناصر غذایی و نور)، میزان تولیدات فتوسنتزی کاهش یافته، در نتیجه سهم انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده به هر دانه نیز کاهش می‌یابد در نتیجه وزن دانه‌ها کمتر خواهد شد. همچنین ممکن است، با افزایش تعداد بوته در واحد سطح، تعداد دانه تولیدی در واحد سطح نیز افزایش یافته، در نتیجه قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای هر دانه کاهش و به تبع آن وزن هزار دانه نیز کاهش می‌یابد (Karami *et al.*, 2020). در تراکم پایین بوته،

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاصله کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم 1 Giza)

منابع تغییرات Source of variations (S.O.V)	درجه آزادی d.f	وزن هزار دانه Weight of thousand grain	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	0.0073 ^{ns}	5044.34 ^{ns}	7016.49 ^{ns}	27.47 ^{ns}
فاصله کشت Planting distance	4	1.10 ^{**}	1000289.91 ^{**}	58678.11 ^{**}	18.02 ^{**}
خطای آزمایشی Error	8	0.098	15373.29	858.19	4.32
ضریب تغییرات (%) C.V	--	11.34	8.74	6.55	6.43

ns و ** و * به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری.

ns, **, and * represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر فاصله کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا (رقم 1 Giza)

فاصله کاشت Planting distance (cm)	وزن هزار دانه Weight of thousand grain (g)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)
10 × 50	2.05b	2434a	28.53b
20 × 50	2.21b	1261.5b	32.46ab
30 × 50	2.94a	1247.9b	3166ab
40 × 50	3.12a	1148.4bc	33.89a
50 × 50	3.48a	999.3c	34.91a

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

فاصله کاشت بر عملکرد زیست‌توده بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد زیست‌توده (۲۴۳۴ گرم در متر مربع) در تیمار ۵۰ ×

عملکرد زیست‌توده

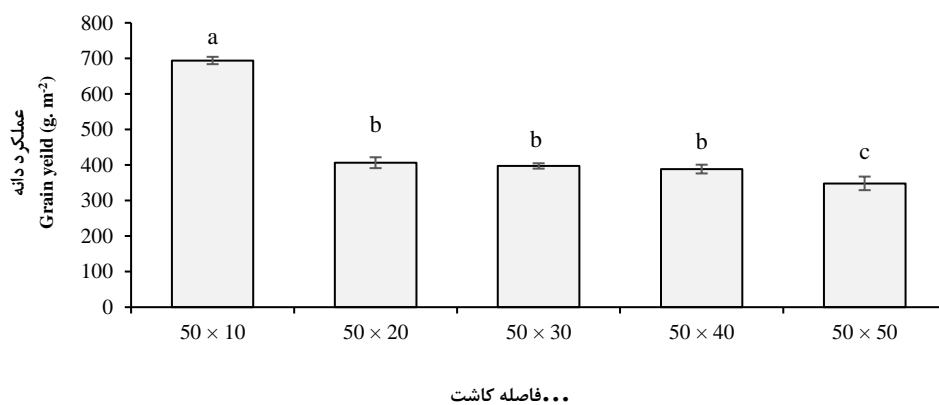
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$)

بیشترین و کمترین عملکرد دانه با ۶۹۴ و ۳۴۸/۳ گرم در متر مربع به ترتیب در تیمار ۱۰ × ۵۰ و ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید (شکل ۲). درحالی‌که در بین سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه وجود نداشت (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد خوشه اصلی در کینوا بالاترین تأثیر را در تعیین عملکرد داشته و هر چه تعداد خوشه اصلی در واحد سطح بالاتر باشد؛ عملکرد بالاتر خواهد بود. در تراکم‌های کمتر، تعداد شاخه‌های جانبی و خوشه فرعی تک بوته افزایش یافته به همین دلیل گیاه نمی‌تواند عملکرد ناشی از تعداد بوته را با تولید خوشه‌های فرعی جبران نماید. در پژوهش مشابه انجام شده در سوریه، گزارش شده که بالاترین عملکرد دانه کینوا در فاصله کاشت ۱۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید (Al Jbawi et al., 2022). بالا بودن عملکرد دانه در تراکم‌های بالای بوته توسط پژوهش‌های متعدد گزارش گردیده است (Samadzadeh et al., 2020; Rabbani et al., 2022; Karami et al., 2020; Zulkadir, 2021; Eisa et al., 2018). هر چند در پژوهشی گزارش شده است که در تراکم پایین بوته، بیشترین عملکرد دانه کینوا حاصل شد (Wang et al., 2020) که بر خلاف نتایج پژوهش حاضر است.

۱۰ سانتی‌متر و کمترین آن با ۹۹۹/۳ گرم در متر مربع در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید که با تیمار ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشت (جدول ۵). افزایش عملکرد زیست‌توده با افزایش تراکم بوته در واحد سطح در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Samadzadeh et al., 2020; Rabbani et al., 2022; Karami et al., 2020; Asher et al., 2022; Al Jbawi et al., 2022) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشته و دلیل افزایش زیست‌توده در تراکم‌های بالا را به بالا بودن تعداد بوته در واحد سطح نسبت می‌دهند. از آن‌جا که در تراکم‌های بالا از تعداد شاخه‌های فرعی کاسته می‌گردد، به‌نظر می‌رسد که وزن ساقه اصلی به علت محوری بودن، وزن بالاتری داشته و هر چه تعداد ساقه اصلی در واحد سطح بالاتر باشد عملکرد زیست‌توده نیز بالاتر می‌رود. در پژوهشی دیگر گزارش شده که عملکرد زیست‌توده با تغییر تراکم کاشت کینوا تغییری پیدا نکرد (Spehar and Rocha, 2009) که مغایر با پژوهش حاضر است.

عملکرد دانه

فاصله کاشت بوته روی ردیف بر عملکرد دانه کینوا اثر معنی‌داری ($P \leq 0/01$) داشت (جدول ۴). با کاهش فاصله کاشت بوته‌ها از یکدیگر، عملکرد دانه افزایش یافت به‌طوری‌که



شکل ۲- تأثیر فاصله کاشت بر عملکرد دانه کینوا (رقم 1 Giza)

Figure 2- The effect of planting distance on grain yield of quinoa (cv. Giza 1)

ردیف قرار داشت (جدول ۴). پایین‌ترین شاخص برداشت با ۲۸/۵ درصد در تیمار ۱۰ × ۵۰ سانتی‌متر قرار گرفت در حالی که شاخص برداشت در سایر تیمارها از نظر آماری مشابه بود

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر فواصل کشت مختلف روی

پروتئین دانه با ۱۹/۱ درصد در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی متر مشاهده شد و بین سایر تیمارها تفاوت معنی داری از این نظر مشاهده نگردید (شکل ۳). افزایش پروتئین دانه با کاهش تراکم در پژوهش‌های متعددی گزارش گردیده است (Najafinezhad *et al.*, 2022; Van Minh *et al.*, 2020). ذخیره پروتئین در دانه، معمولاً زودتر از ذخیره کربوهیدرات آغاز می‌گردد. دلیل افزایش پروتئین در تراکم‌های پایین را می‌توان به در دسترس بودن منابع کافی از جمله نیتروژن نسبت داد که سبب افزایش ساخت پروتئین دانه گردیده است. در پژوهشی، گزارش شده است که تراکم کاشت بر درصد پروتئین دانه کینوا اثرگذار نبود (Eisa *et al.*, 2018; Asher *et al.*, 2022) که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مغایرت داشت.

(جدول ۵). شاخص برداشت، نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیست‌توده گیاه بوده و در طول فصل رشد تحت تأثیر تاریخ کاشت، تراکم گیاه، میزان آب و عناصر غذایی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد (Kadam *et al.*, 2018). کاهش شاخص برداشت تحت تأثیر تراکم بالا در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Rabbani *et al.*, 2022; Zulkadir, 2021) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. گزارش شده که شاخص برداشت تحت تأثیر تراکم کاشت قرار نگرفت (Spehar and Rocha, 2009) که با نتایج پژوهش حاضر در تضاد بود.

درصد پروتئین

درصد پروتئین دانه کینوا به‌طور معنی داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر فواصل کشت قرار گرفت (جدول ۶). بالاترین غلظت

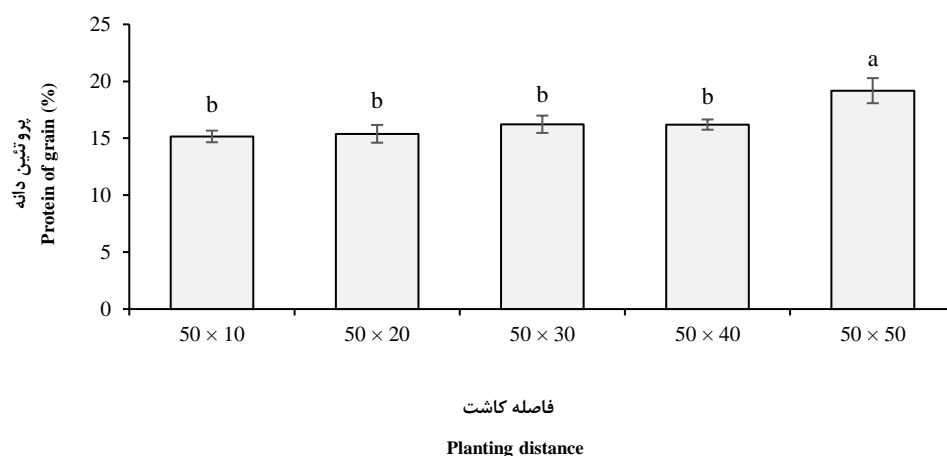
جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فاصله کشت بر صفات کیفی دانه کینوا (رقم 1 Giza)

Table 6- Analysis of variance effect of planting distance on quality traits of grain quinoa (cv. Giza 1)

منابع تغییرات Source of variations (S.O.V)	درجه آزادی d.f	پروتئین دانه Protein of grain	نشاسته دانه Starch of grain	فسفر دانه Phosphorus of grain	پتاسیم دانه Potassium of grain
بلوک Block	2	1.48 ^{ns}	2.86 ^{ns}	116.37 ^{ns}	30.19 ^{ns}
فاصله کشت Planting distance	4	4.40 ^{**}	55.39 ^{**}	4632.95 ^{**}	2307.95 ^{**}
خطای آزمایشی Error	8	0.61	3.96	311.50	212.74
ضریب تغییرات C.V (%)	--	4.80	3.03	5.14	1.70

ns و ** و *** به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی داری.

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.



شکل ۳- تأثیر فاصله کاشت بر درصد پروتئین دانه کینوا (رقم 1 Giza)

Figure 3- The effect of planting distance on percentage grain protein of quinoa (cv. Giza 1)

درصد نشاسته

دانه با افزایش فواصل کشت را به بهره‌مندی بیشتر هر بوته از منابعی مانند آب، عناصر غذایی و نور می‌توان نسبت داد که سبب بالا رفتن تولیدات فتوسنتزی و در نهایت افزایش ساخت کربوهیدرات گردیده است. در رابطه با درصد نشاسته دانه کینوا و تراکم گزارش گردیده که تراکم بوته بر درصد نشاسته دانه کینوا اثرگذار نبود (Van Minh *et al.*, 2020) که بر خلاف نتایج پژوهش حاضر بود.

نتایج آنالیز داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) فاصله کشت بر درصد نشاسته دانه کینوا بود (جدول ۶). نتایج نشان داد که با افزایش تراکم بوته، درصد نشاسته کاهش یافت به طوری که بالاترین درصد نشاسته (۷۱/۶ درصد) در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید که با تیمار ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر (۶۸/۷ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت. افزایش درصد نشاسته

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر فاصله کاشت بر صفات کیفی دانه کینوا (رقم ۱ Giza)

Table 7- Mean comparisons effect of planting distance on quality traits of grain quinoa (cv. Giza 1).

فاصله کاشت Planting distance (cm)	نشاسته دانه Starch of grain (%)	فسفر دانه Phosphorus of grain (mg.g DWG)	پتاسیم دانه Potassium of grain (mg.g DWG)
10 × 50	60.59c	310.44b	831.09c
20 × 50	64.74bc	309.85b	838.77c
30 × 50	63.80c	325.51b	841.06c
40 × 50	68.75ab	374a	869.67b
50 × 50	71.66a	395.45a	897.84a

در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

درصد فسفر

درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۶). با افزایش فاصله کشت بین بوته‌ها بر غلظت پتاسیم دانه افزوده شد، به طوری که بالاترین و پایین‌ترین غلظت پتاسیم دانه به ترتیب در بیشترین و کمترین فاصله بوته‌ها در روی ردیف حاصل شد (جدول ۷). در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر با ۸/۸۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دانه، بالاترین غلظت پتاسیم دانه مشاهده گردید. فواصل کشت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر بوته روی ردیف از نظر غلظت پتاسیم دانه مشابه یکدیگر بودند (جدول ۷). گزارش شده است که تراکم بوته بر غلظت پتاسیم دانه اثرگذار نبود (Eisa *et al.*, 2018; Rabbani *et al.*, 2022). که با پژوهش حاضر همخوانی ندارد. افزایش غلظت پتاسیم دانه با کاهش تراکم کاشت را می‌توان به دسترسی بیشتر هر بوته به مقدار پتاسیم بیشتر نسبت داد که در نهایت میزان بیشتری از این عنصر در دانه‌ها انباشته گردیده است.

غلظت فسفر دانه کینوا به طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر فواصل کشت قرار داشت (جدول ۶). بیشترین غلظت فسفر با ۳۹۵/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک دانه در تیمار ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مشاهده گردید که با تیمار ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر از نظر آماری مشابه بود (جدول ۷). غلظت فسفر دانه در بین سایر تیمارها نیز یکسان بود (جدول ۷). بالا رفتن غلظت فسفر دانه با افزایش فواصل کاشت را می‌توان به افزایش دسترسی هر بوته به آب نسبت داد چرا که فسفر عمدتاً به روش پخشیدگی جذب ریشه شده که با میزان آب در دسترس ارتباط دارد (Ahanger *et al.*, 2016). گزارش شده که تراکم بوته در واحد سطح بر غلظت فسفر دانه اثرگذار نبود (Rabbani Eisa *et al.*, 2018). که نتایج گزارش شده با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده تأثیر فاصله کشت بوته‌ها

درصد پتاسیم

فاصله کاشت بر غلظت پتاسیم دانه در سطح احتمال یک

صفات اندازه‌گیری شده بین فواصل کشت $50 \times 50 \times 50$ و 50×40 سانتی‌متر، پیشنهاد می‌گردد که در شرایط آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ، فاصله کشت 50×40 سانتی‌متر مد نظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

با عنایت به این که انجام این طرح از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه فنی و حرفه‌ای کشور (به کد ۲۵/۴۰۰/۹۹/۱۱۸) تأمین گردیده است، لذا نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از مجموعه دانشگاه مذکور و دانشکده کشاورزی پسران باهنر پاکدشت به‌عمل می‌آورند.

روی ردیف بر صفات مورفولوژیکی، کیفی و عملکرد و اجزای عملکرد کینوا بود. به‌طور کلی با افزایش فاصله کشت روی ردیف، به علت دسترسی بیشتر به منابع رشد مانند نور، آب و عناصر غذایی، عملکرد تک بوته افزایش پیدا می‌کند ولی به علت تعداد محدود بوته در تیمار 50×50 سانتی‌متر، عملکرد دانه در واحد سطح کاهش می‌یابد چرا که در شرایط افزایش فاصله بین بوته‌ها، رشد شاخه‌های جانبی افزایش می‌یابد و به علت عدم هم‌زمانی رسیدن خوشه‌های فرعی، کاهش تعداد بوته در واحد سطح با تعداد خوشه جانبی جبران نخواهد شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر و یکسان بودن بسیاری از

References

- Abugoch, L., Castro, E., Tapia, C., Añón, M.C., Gajardo, P. and Villarroel, A., 2009. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(10), pp.2013-2020. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02023.x
- Ahanger, M.A., MoradTalab, N., Fathi Abd-Allah, E., Ahmad, P. and Hajiboland, R., 2016. Plant growth under drought stress: significance of mineral nutrients. *Water stress and crop plants: a sustainable approach*, First Edition. Edited by Ahmad, P. Vol. 2, pp.649-668. doi: 10.1002/9781119054450.ch37
- Al Jbawi, E., Othman, M., Al Hunnith, T. and Abbas, F., 2022. The effect of plant density on growth and seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the middle region of Syria. *International Journal of Phytology Research*, 2(1), pp.19-24.
- AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 18th Ed., AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD.
- Asher, A., Dagan, R., Galili, S. and Rubinovitch, L., 2022. Effect of row spacing on quinoa (*Chenopodium quinoa*) growth, yield and grain quality under a mediterranean climate. *Agriculture*, 12(9), pp.1-12. doi: 10.3390/agriculture12091298
- De Oliveira Filho, A.F., Silva, M.N.C., Innecco, R., Bezerra, F.T.C., de Abreu, W.E. and Viana, Í.E.T., 2021. Yield and viability of quinoa seeds as affected by planting arrangement. *Comunicata Scientiae*, 12, pp.1-8. doi: 10.14295/cs.v12.3522
- Eisa, S.S., Abd El Samad, E.H., Hussin, S.A., Ali, E.A., Ebrahim, M., González, J.A., Ordano, M.A., Erazzú, L.E., El Bordeny, N.E. and Abdel-Ati, A.A., 2018. Quinoa in Egypt-plant density effects on seed yield and nutritional quality in marginal regions. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(2), pp.515-522.
- Fathi, G., 2010. Effects of plant density on yield and yield components of mung bean in Khoozestan growing conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(1), pp.19-27. [In Persian]. doi: 20.1001.1.20084811.1389.41.1.3.2
- Fuentes, F.F., Martinez, E.A., Hinrichsen, P.V., Jellen, E.N. and Maughan, P.J., 2009. Assessment of genetic

- diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. *Conservation Genetics*, 10(2), pp.369-377. doi: **10.1007/s10592-008-9604-3**
- González, J.A., Eisa, S., Hussin, S.A.E.S. and Prado, F.E., 2015. Quinoa: an Incan crop to face global changes in agriculture. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*, pp.1-18. doi: **10.1002/9781118628041.ch1**
- Hedge, J.E., Hofreiter, B.T. and Whistler, R.L., 1962. Carbohydrate chemistry. *Academic Press, New York*, 17.
- Kadam, S.R., Bhale, V.M., Chorey, A.B. and Deshmukh, M.R., 2018. Influence of zinc and iron fortification on yield and post-harvest studies of different rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(1), pp.1878-1888. doi: **10.35709/ory.2023.60.2.8**
- Karami, R., Farajee, H., Movahedi Dehnavi, M. and khoshroo, A., 2020. Interaction of Nitrogen and Plant Density on Growth and Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Production*, 13(1), pp.111-124. [In Persian]. doi: **10.22069/ejcp.2020.17603.2296**
- Khalili, S., Bastani, A., and Bagheri, M., 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and quinoa plant. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(2), pp.155-166. [In Persian]. doi: **10.22092/ijsr.2019.119757**
- Kitson, R.E. and Mellon, M.G., 1944. Colorimetric determination of phosphorus as molybdivanado phosphoric acid. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition*, 16(6), pp.379-383. doi: **10.1021/i560130a017**
- Lu, C., Li, Y., Cui, Q., Xiang, Y., Lv, W. and Wei, Z., 2022. Effects of Planting Density of Quinoa on Agronomic Characters and Yield in Chengde. *Meteorological and Environmental Research*, 13(5), pp.103-109. doi: **10.19547/j.issn2152-3940.2022.05.020**
- Najafinezhad, H., Koochi, N. and Darvishi, D., 2022. Evaluation of grain yield and quality of quinoa cultivars as affected by planting date and plant density in Jupar region of Kerman. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), pp.113-129. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2021.311672.654761**
- Najafinezhad, H., Shakeri, P. and Amirpour Robat, M., 2021. Effect of planting Ddate and plant density on forage yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) varieties in cold temperate region of Kerman province in Iran. *Seed and Plant Journal*, 36(4), pp.439-460. [In Persian]. doi: **10.22092/sppi.2021.123894**
- Rabbani, B., Khoramivafa, M., Saeidi, M., Bagheri, M. and Zarei, L., 2022. Study the relationship between agronomical traits and mineral elements of grain in three genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under effect of planting date and planting density. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 1(3), pp.390-413. [In Persian]. doi: **10.0.86.110/cbb.2022.8238.1017**
- Ruiz, K., Biondi, B., Oses, S.R., Acuna-Rodriguez, I.S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E.A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., Bazile, D., Jacobsen, S.E. and Molina-Montenegro, M.A., 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, pp.349–359.
- Samadzadeh, A.R., Zamani, G.H.R. and Fallahi, H.R., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Research in Field Crops*, 33(1), pp.82-104. [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2020.125793.1392**

- Singh, D., 2019. Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*). Scientific Publishers. pp.258.
- Spehar, C.R. and Rocha, J.D.S., 2009. Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the Brazilian savannah highlands. *Bioscience Journal*, 25(4), pp.53-58.
- Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.E. and Milovanovic, M., 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55, pp.132–138. **doi: 10.1016/j.jcs.2011.10.010**
- Vahedi, M.R., Tohidi Nejad, E. and Pasandi Pour, A., 2022. Evaluation of yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in as affected by different planting densities. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(60), pp.593-608. [In Persian]. **doi: 10.30495/jcep.2022.689808**
- Van Minh, N., Hoang, D.T., Van Loc, N. and Long, N.V., 2020. Effects of plant density on growth, yield and seed quality of quinoa genotypes under rain-fed conditions on red basalt soil regions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(12), pp.1977-1982.
- Wang, N., Wang, F., Shock, C.C., Meng, C. and Qiao, L., 2020. Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. *Agronomy*, 10(3), pp.1-15. **doi: 10.3390/agronomy10030445**
- Zulkadir, G., 2021. The effects of various row spacing and sowing periods on the plant properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(3), pp.1857-1867. **doi: dx.doi.org/10.15666/aecer/1903.18571867**

Investigation the effect of planting distance on morphological traits, yield and yield components and quality of grain quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Mahmod Eslami^{1*}, Hadi Salek Mearaji¹, Davood Jamshidi¹, Aram Taghavi², Iran Adinevand²

¹ Department of Agricultural Science, Faculty of Bahonar Pakdasht, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

² Former B.Sc. Student, Production and Utilization of Medicinal and Aromatic Plants, Department of Agricultural Science, Faculty of Shariati, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

*Corresponding Author: meslami@tvu.ac.ir

Received: 20 June 2023

Accepted: 15 October 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.403211.1349

Abstract

Introduction: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is one of the most nutritious plants which can play an important role in human and livestock nutrition due to its unique nutritional properties. Quinoa grain is an excellent source of mineral elements such as manganese, iron, potassium, copper, zinc and phosphorus, and contains group B vitamins such as riboflavin, thiamin and niacin. Determining the optimal planting density is one of the most important effete factors to achieving optimal plant performance. Since the availability of resources needed by the plant such as light, water and nutrients is closely related to the density of plants, therefore it is very important to adjust the density of cultivation in order for the plant to optimally use the resources it needs for growth and development.

Materials and Methods: This research was carried out in order to investigate the planting density on the morphological traits, yield and yield components as well as the qualitative characteristics of quinoa grain in 2022 year as a randomized complete block design with three replications in the research farm of Department of Agricultural Science, Faculty of Bahonar, Technical and Vocational University (TVU) in province of Tehran. The experimental treatments include five different plant distances (10, 20, 30, 40 and 50 cm) on fixed rows (50 cm) (10×50, 20×50, 30×50, 40×50, 50×50). Due to drip irrigation tape, the distance between the rows was fixed and 50 cm, but the distance between the plants in the cultivation rows was variable (10, 20, 30, 40 and 50 cm).

After the land was prepared, the seeds were sown in heaps (5-7 seeds) at the desired intervals and immediately irrigated as drops. Irrigation intervals were done once every five days. After the seedlings reached the stage of 4-7 leaves (height about 10-15 cm), thinning was done. In the flowering stage, two plants were taken from each plot and after separating the leaves, the leaf area was measured with the help of a scanner model leaf area meter and calculated with the help of Image J program.

The grain nitrogen percentage was measured by the Kjeldahl method. Crude protein was also calculated by multiplying nitrogen percentage by 6.25 (AOAC, 2005). The amount of grain phosphorus was measured by colorimetric method (Molybdate-vanadate), grain potassium was also measured with the help of a flame photometer, and grain starch was also measured according to the method (Hedge *et al.*, 1962). Analysis of data variance was done by SAS software (version 9.1), data comparisons were done using Duncan's multi-range test at the five percent probability level, and graphs were drawn with Excel software (2016 version).

Results and Discussion: All investigated traits were influenced by the spacing of the plants in the row. The highest plant height was observed in the treatment of 10 and 50 cm between the plants. The highest index of leaf area (903.5 square centimeters per plant), the number of side branches (18), and the length of the main cluster (37.3 cm) were observed in the 50 × 50 planting distance. The low weight of 1000 grain (2.05 g) and harvest index (28.5%) were observed in 50 × 10 treatment. The lowest and highest seed yields were obtained with 348.3 and 394 grams per square meter, respectively, in the spacing of 50 × 10 and 50 × 50, respectively. The highest percentage of seed protein and starch was observed by 19.1% and 71.6%, respectively, at the maximum distance between the plants (50

cm). The content of phosphorus and potassium of seeds (395.4 and 897.9 mg/g dry weight of grain) were also obtained at a distance of 50 cm between plants.

Conclusion: In general, according to the results obtained in the current research and the similarity of many traits measured between the 50 × 50 and 50 × 40 cm cultivation distances, it is suggested that under drip irrigation conditions with tape, the planting distance should be 50 × 40 cm.

Keywords: Grain yield, Harvest index, Leaf area, Protein percentage, Phosphorus concentration, Starch percentage

تحلیل خلاء عملکرد برای نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی در برخی از مناطق استان کرمانشاه با استفاده از مدل CERES-Wheat

فرزاد مندنی^{۱*}، بابک غلامی^۲، علیرضا باقری^۱، غلامرضا محمدی^۱

۱ - گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: f.mondani@razi.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.385845.1320

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲

چکیده

از جمله مشکلات اصلی در تولید محصولات کشاورزی تفاوت قابل ملاحظه بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل گیاهان زراعی است. از این رو برای برآورد عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و تحلیل خلاء عملکرد گندم آبی، مدل CERES-Wheat به کار گرفته شد. برای واسنجی و ارزیابی مدل، جهت شبیه سازی اثر نیتروژن بر رشد، مراحل فنولوژیکی و عملکرد از اطلاعات مستخرج از دو آزمایش که در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی که طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ اجرا شده بود، استفاده گردید. جهت واسنجی و تعیین اعتبار مدل در تحقیقی دیگر از صفات شاخص سطح برگ، مراحل نمو فنولوژیک، عملکرد وزن خشک کل و عملکرد دانه استفاده شده بود. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که میانگین عملکرد پتانسیل طی دوره مطالعه برای شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر ۸/۹ تن در هکتار بود، در حالی که میانگین عملکرد دانه تحت شرایط محدودیت آب و نیتروژن به ترتیب ۸/۰ و ۷/۱ تن در هکتار بود که نشان‌دهنده به ترتیب ۱۰/۳ و ۲۰/۲ درصد کاهش در مقایسه با عملکرد پتانسیل است. میانگین عملکرد واقعی ۵/۵ تن در هکتار بود که به ترتیب حدود ۳/۴، ۲/۷ و ۱/۸ تن در هکتار کمتر از عملکرد پتانسیل، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن بود. میانگین خلاء عملکرد کل طی دوره مطالعه برای شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب ۲/۷، ۳/۷ و ۳/۸ تن در هکتار بود. در مناطق مورد بررسی، سهم خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب ۲۶/۰ درصد، محدودیت نیتروژن ۵۱/۳ درصد و برای سایر عوامل محدود کننده و کاهنده حدود ۲۲/۷ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد پتانسیل، محدودیت آب، محدودیت نیتروژن، مدل CSM- CERES-Wheat

مقدمه

محصول دارای سه سطح عملکرد پتانسیل^۱، عملکرد قابل وصول^۲ و عملکرد واقعی^۳ می‌باشند. برخی عوامل محیطی که به دو دسته محدود کننده و کاهنده عملکرد تقسیم می‌شوند، سبب کاهش تولید از سطح عملکرد پتانسیل به میزان عملکرد واقعی می‌شوند (Van Ittersum *et al.*, 2013). منظور از عملکرد پتانسیل، عملکرد یک محصول در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی و همچنین عدم وجود تنش‌های زیستی است. در این شرایط دما، نور، دی اکسیدکربن و خصوصیات ژنتیکی گیاه عوامل تعیین کننده عملکرد گیاه می‌باشند (Van Ittersum and Rabbing, 1997). عملکرد پتانسیل در گندم توسط متغیرهایی چون میزان آب و عناصر غذایی محدود می‌شود و به سطح عملکرد قابل وصول می‌رسد. همچنین عوامل دیگری مانند آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز

جمعیت جهان سالانه با نرخ رشد حدود ۱/۶ تا ۱/۷ درصد افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر هر ساله ۹۵ میلیون نفر به تعداد مصرف کنندگان محصولات کشاورزی اضافه می‌شود (Yaghoobi *et al.*, 2017). بنابراین، امنیت غذایی به یکی از چالش‌های کلیدی در این قرن تبدیل شده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ تا ۱۰۰ درصد غذای بیشتر نیاز خواهد داشت. تأمین این نیاز باید با در نظر داشتن تأثیر منفی تغییرات اقلیم، کاهش زمین‌های کشاورزی و کمبود فزاینده آب در تولید محصولات کشاورزی و همچنین حفظ منابع طبیعی و معیشت کشاورزان همراه باشد (Charles *et al.*, 2010).

به طور کلی گیاهان زراعی از نظر وضعیت تولید و عملکرد

³. Actual Yield

¹. Potential Yield

². Attainable Yield

خلاء عملکرد گندم انجام شده بود نشان داد بهبود روش‌های مدیریت مزرعه و معرفی ارقام جدید موجب افزایش عملکرد واقعی گندم در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی شده است، با این وجود هنوز هم میزان میانگین خلاء عملکرد برای سه استان فوق به ترتیب ۳/۷، ۴/۳ و ۲/۸ تن در هکتار بود (Nassiri Mahalati and Koocheki, 2009). در پژوهشی دیگر بررسی اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در ایران نشان داد عملکرد واقعی به دلیل ضعف‌های مدیریتی و فناوری کمتر از عملکرد پتانسیل است و در بین عوامل اقلیمی بارندگی و تابش اثر مثبت و دما اثر منفی بر عملکرد پتانسیل گندم داشت (Koocheki et al., 2017). این محققین محدوده خلاء عملکرد گندم در ایران را بین ۱۶۴۶ تا ۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۹ تا ۵۸ درصد متغیر گزارش کرده و راهکار کاهش این خلاء را در وهله اول مدیریت آب و کود بیان کردند. همان‌گونه که نتایج برخی از مطالعات پیشین نشان داد در مناطق اقلیمی مختلف برای تولید محصولات زراعی مختلف شرایط و موانع متفاوتی وجود دارد.

از جمله ابزارهای مناسب برای تحلیل خلاء عملکرد استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی است. با بررسی ۲۲۱ پژوهش انجام شده از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۰ مشخص شد که از بین ۷۰ مدل مختلف که در این مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مدل‌های خانواده CERES که مدل‌های بسته نرم‌افزاری DSSAT به شمار می‌روند با ۶۳ بیشترین کاربرد را داشته‌اند (White et al., 2011). این تعداد نشان‌دهنده استفاده وسیع‌تر از مدل‌های خانواده CERES نسبت به دیگر مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گندم در دنیا می‌باشد. از طرف دیگر نیز مدل CERES-Wheat نسبت به دیگر مدل‌های شبیه‌سازی کننده رشد و نمو گندم دارای جامعیت بیشتری است. بنابراین این مدل قادر است ضمن آنالیز کمی اثر فاکتورهای اقلیمی و مشخص کردن اثر هر عامل بر تولید گندم بهترین توصیه مدیریتی را برای هر منطقه مشخص کرد (White et al., 2011). در مطالعه‌ای که توسط مدل DSSAT-CERES-Wheat برای بررسی تغییرات آب و هوایی بر عملکرد و فنولوژی گندم دوروم در مناطق مدیترانه‌ای جنوب ایتالیا انجام شده بود، گزارش شد که این مدل برای ارزیابی پاسخ گیاه به تغییرات شرایط آب و هوایی قابل اعتماد است و

نیز سبب کاهش میزان عملکرد و رسیدن به سطح عملکرد واقعی می‌شوند (Asseng et al., 2002).

یک مشکل بزرگ در تولید محصولات کشاورزی تفاوت قابل ملاحظه بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل یا توان بالقوه تولید گیاهان زراعی است (Yaghoobi et al., 2017) که اصطلاحاً به آن خلاء یا شکاف عملکرد می‌گویند (Van Ittersum et al., 2013). برای کاهش خلاء عملکرد گیاهان زراعی سه گام اساسی تعیین پتانسیل عملکرد، تعیین اختلاف بین پتانسیل عملکرد هر منطقه با عملکرد واقعی (خلاء عملکرد) و بهینه‌سازی نظام تولید در راستای کم کردن این خلاء وجود دارد (Kamkar et al., 2007). مدیریت نامناسب زراعی گیاهان در کشاورزی موجب می‌شود که در بسیاری از شرایط، عملکردی که برداشت می‌شود فاصله قابل توجهی با آنچه که می‌توان برداشت کرد داشته باشد. بنابراین شناسایی عوامل محیطی و زراعی تعیین کننده، کاهش دهنده و محدود کننده عملکرد دارای اهمیت زیادی است که این سه عامل با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهی قابل بررسی و تحلیل است (Hajishabani et al., 2020; Mondani, 2018; Van Ittersum et al., 2013; Torabi et al., 2012).

تحلیل خلاء عملکرد راهکار مفیدی برای اولویت‌بندی تحقیقات و سیاست‌های تولید در بخش کشاورزی است (Affholder et al., 2013) که یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه مشخص را فراهم می‌آورد و یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی است (Van Wart et al., 2013). با این وجود در ایران تحلیل خلاء عملکرد به صورت پراکنده و برای گیاهان زراعی محدودی انجام شده است. برای مثال در تحقیقی که جهت برآورد تحلیل خلاء عملکرد در استان خراسان رضوی انجام شده بود، مشخص شد شرایط نامناسب رطوبتی سبب بروز ۵۴ درصد کاهش تولید نسبت به پتانسیل نخود شد (Amiri Deh Ahmadi et al., 2015). در مطالعه‌ای دیگر که به منظور تحلیل خلاء عملکرد زیره سبز در استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی گزارش گردید مهمترین عامل کاهش دهنده عملکرد عملکرد زیره، بیماری‌های گیاهی است (Kamkar et al., 2007). نتایج تحقیقی دیگر که با هدف پهنه بندی آگرواکولوژیک و تحلیل

دارای اقلیم نیمه خشک و سرد، معتدل و مرطوب و سرد و مرطوب هستند.

تشریح مدل

به منظور شبیه سازی رشد و نمو گندم از مدل سامانه گیاهی گندم (CSM- CERES-Wheat) از بسته نرم افزار DSSAT نسخه ۴/۶ استفاده شد (Hoogenboom *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2015). CERES-Wheat مدلی است که رشد و نمو و تولید دانه گندم را با در نظر گرفتن ویژگی های آب و هوایی، خاک و هم چنین میزان نیتروژن و آب شبیه سازی می کند و هم چنین امکان تعیین استراتژی های مدیریت مزرعه بر اساس تفاوت واکنش ارقام مختلف به زمان کشت و مقدار کود نیتروژن مورد استفاده و تیمار آبیاری را می دهد (Abeledo *et al.*, 2008). ورودی های این مدل شامل ۱: داده های گیاهی، داده های مدیریت زراعی، خصوصیات ارقام (ضرایب ژنتیکی)، فنولوژی و تولید ماده خشک گیاهی ۲: کلیه ویژگی های شیمیایی و فیزیکی خاک و ۳: داده های هواشناسی در دوره مورد مطالعه (برای سال های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ میلادی) بود. برای شبیه سازی توسط این مدل لازم است که داده های مورد نیاز ابتدا تحت فایل های خاصی سازماندهی و به عنوان ورودی مدل تعریف شوند.

می تواند به عنوان یک ابزار مفید تهیه استراتژی های سازگاری و اقدامات مدیریتی به کار رود (Dettori *et al.*, 2017).

بنابراین ضرورت اجرای تحقیقات منطقه ای و محلی با هدف تعیین و تحلیل خلاء عملکرد می تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و ساماندهی تحقیقات و سیاست گذاری ها ایفاء کند. از این رو این مطالعه با هدف برآورد عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و تعیین عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل CSM- CERES-Wheat برای برخی از مهمترین مناطق آب و هوایی استان کرمانشاه اجرا شد.

مواد و روش ها

ویژگی های جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن، استان کرمانشاه منطقه نیمه خشک و سرد محسوب می شود. این استان دارای ۷۹۵۵۶۳ هکتار زمین کشاورزی است که از این مقدار ۱۷۱۹۰۳ هکتار اراضی آبی و ۶۲۳۶۶۰ هکتار نیز به صورت دیم می باشد. در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مجموع حدود ۹۷ هزار هکتار از اراضی آبی استان زیر کشت محصول گندم رفته است که از این میزان حدود ۶۸/۵ درصد از آن زیر کشت گندم رقم پیشگام بود (MAJ, 2017). در استان کرمانشاه شهرستان های کرمانشاه، کنگاور و روانسر در تولید گندم دارای اهمیت فراوانی می باشند که بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن به ترتیب

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

عمق Depth (cm)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	وزن مخصوص		نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point (m ³ m ⁻³)	نقطه ظرفیت زراعی Field capacity (m ³ m ⁻³)	رطوبت اشباع Saturation (m ³ m ⁻³)
							اسیدیته pH	ظاهری Balk density (g cm ⁻³)			
0-30	Clay-Silt	44.3	39.0	16.7	1.48	0.17	7.4	1.42	0.205	0.325	0.490
30-60	Clay-Silt	44.7	38.7	16.7	1.12	0.11	7.4	1.45	0.205	0.325	0.495
60-90	Clay-Silt	42.3	40	17.7	0.98	0.07	7.4	1.55	0.225	0.355	0.495

فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی با یکدیگر تفاوت دارند، این اختلافات روی رشد، نمو و عملکرد آن ها تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین اختلافات وارپته ای باید به نوعی در مدل های شبیه سازی گیاهان زراعی در نظر گرفته شوند تا پیش بینی قابل قبولی انجام شود. در گندم این مشخصه ها به وسیله هفت پارامتر و

یکی از مهمترین بخش های مدل سیستم گیاهی گندم در بسته نرم افزار DSSAT اطلاعات مربوط به ارقام گیاهان زراعی است که در فرایند واسنجی مدل بر مبنای تنظیم و تعیین یک سری ضرایب ژنتیکی برای رقم مورد نظر بکار برده می شود. از آنجا که ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر ویژگی های

شد. تمامی کودهای فسفره و پتاسه در زمان کشت به خاک محل آزمایش اضافه گردید. کود اوره نیز در ۳ نوبت مصرف شد، به این ترتیب که یک سوم از آن در مرحله ۲ تا ۴ برگی و بقیه در انتهای مرحله پنجه زنی و انتهای ساقه رفتن به مزرعه اضافه گردید.

اندازه گیری‌ها شامل ثبت مراحل نمو فنولوژیک گندم برحسب روز پس از کشت و نمونه برداری‌های تخریبی از بوته‌های گندم بود. برای نمونه برداری‌های تخریبی از مرحله نموی ساقه رفتن تا رسیدگی کامل، نمونه‌های تصادفی با رعایت اصول حاشیه جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و وزن خشک کل با استفاده از کوادراتی به ابعاد 50×30 سانتی‌متر برداشت شدند. سپس نسبت به تفکیک اندام‌های گیاهی شامل برگ، ساقه و دانه اقدام گردید و هر کدام به تفکیک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و سپس توزین شدند. در پایان دوره رشد و رسیدگی فیزیولوژیک محصول نیز یک متر مربع از هر کرت با رعایت اصول حاشیه برداشت گردید. نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و سپس عملکرد کل و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. در پایان از اطلاعات صفات اندازه‌گیری شده برای واسنجی و ارزیابی مدل استفاده شد که نتایج آن در مقاله‌ای دیگر به انتشار رسیده است (Mondani et al., 2018).

برآورد خلاء عملکرد

شیبه سازی عملکرد پتانسیل

پس از ارزیابی مدل CERES-Wheat، از بخش ICSim بسته نرم‌افزاری DSSAT که به منظور محاسبه عملکرد محصول در سطوح تولید پتانسیل و قابل حصول طرح ریزی شده است، استفاده شد. برای محاسبه عملکرد پتانسیل در بخش ICSim بسته نرم‌افزاری DSSAT سویچ‌های مربوط به تأثیر عناصر غذایی و آب بر میزان تولید در حالت خاموش قرار داده شد. به این صورت خروجی مدل بیانگر آن میزان محصولی بود که در شرایط ایده‌آل رشد گیاه بدست می‌آید. این فرآیند برای یک دوره ۱۸ ساله (طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵) انجام شد.

به نام ضرایب ژنتیکی در مدل CERES-Wheat ارائه شده‌اند. این ضرایب مشخص می‌کنند که چگونه یک ژنوتیپ نسبت به عوامل محیطی مانند درجه حرارت، طول روز، محتوای آب خاک و نیتروژن واکنش نشان می‌دهد و یا اینکه طول دوره رشد و مرفولوژی رقم چگونه است (Hunt et al., 1993).

آزمایش‌های مزرعه‌ای

به منظور واسنجی و ارزیابی مدل CERES-Wheat جهت پیش بینی مراحل فنولوژیک و عملکرد دانه برای تعیین و تحلیل خلاء عملکرد گندم از اطلاعات مستخرج از دو آزمایش استفاده شد. به این صورت که یک آزمایش به منظور استخراج ضرایب ژنتیکی برای واسنجی مدل و آزمایش دیگر به منظور ارزیابی مدل بود. این آزمایش‌ها در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع حدود ۱۳۲۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. میانگین بلندمدت سالانه بارندگی محل اجرای آزمایش ۴۳۷ میلی‌متر و میانگین بلندمدت دمای سالانه منطقه ۱۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. آب و هوای منطقه بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن نیمه خشک و سرد است. در این مطالعه اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرمانشاه که در فاصله ۴ کیلومتری از محل اجرای آزمایش‌ها قرار دارد تهیه گردید. هر دو آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد.

تیمارهای آزمایش شامل کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن در چهار سطح ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز گیاه گندم به نیتروژن که به ترتیب معادل ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار در نظر گرفته شد. قبل از هر گونه کود دهی و کاشت به منظور تجزیه عناصر و تعیین بافت و کاربرد مناسب کودهای شیمیایی در طول سال زراعی، از خاک محل انجام آزمایش در عمق‌های مختلف نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال گردید (جدول ۱). در این مطالعه میزان کودهای مورد نیاز گندم با توجه به نتایج آزمون خاک انجام گرفته ۳۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در نظر گرفته

پرسشنامه تهیه، توزیع و جمع‌آوری و تحلیل گردید. تعداد پرسشنامه‌ها بر اساس روش نیمان مشخص گردید (Yamane, 1967).

تعیین و تحلیل خلاء عملکرد

خلاء عملکرد گندم از طریق تفاضل عملکرد پتانسیل که توسط مدل شبیه‌سازی شده با عملکرد واقعی که از طریق اطلاعات مستخرج از پرسشنامه‌ها (طی سال ۱۳۹۵) و جهاد کشاورزی استان (طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵) برای شهرستان‌های کرمانشاه، روانسر و کنگاور بدست آمده بود، محاسبه گردید. شهرستان‌های مورد مطالعه بر اساس بولتن پهنه‌بندی اقلیمی استان کرمانشاه (۱۳۹۵) دارای اقلیم‌های متفاوتی هستند. در پایان نیز به منظور تحلیل خلاء موجود و تعیین سهم هر یک از عوامل محدود کننده و کاهنده تولید، با استفاده از عملکردهای به دست آمده در شرایط پتانسیل، محدودیت آب، محدودیت نیتروژن و نیز عملکرد واقعی کشاورزان، خلاء عملکرد در هر شهرستان در ۴ حالت زیر محاسبه گردید.

- ۱- خلاء عملکرد کل: اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی کشاورز
- ۲- خلاء عملکرد در شرایط محدودیت آب: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط محدودیت آب
- ۳- خلاء عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط محدودیت نیتروژن
- ۴- خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل: اختلاف بین خلاء عملکرد کل و مجموع خلاء عملکرد ناشی از شرایط محدودیت آب و نیتروژن

نتایج و بحث

عملکرد پتانسیل

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده تفاوت قابل توجه عملکرد پتانسیل گندم آبی برای سال‌های مورد بررسی در مناطق مختلف بود (شکل ۱). بیشترین عملکرد پتانسیل برای سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ در شهرستان کنگاور به میزان

شبیه‌سازی عملکرد قابل حصول

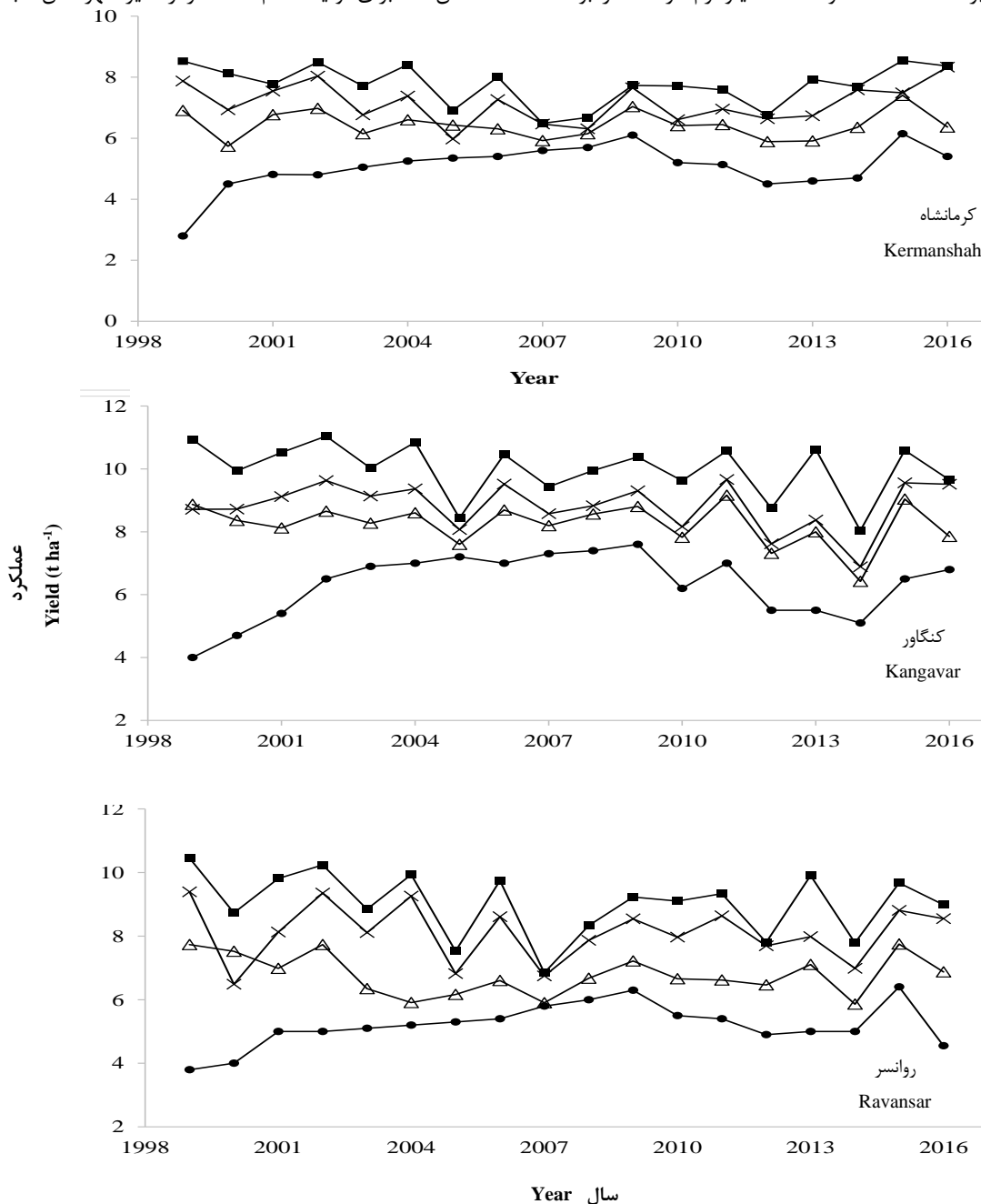
به منظور محاسبه عملکرد قابل حصول در شرایط محدودیت آب و نیتروژن (با تکیه بر عنصر نیتروژن که مهمترین عامل محدود کننده تولید است) ابتدا در بخش ICSim بسته نرم‌افزاری DSSAT ورودی میزان آب در شرایط مطلوب رشد گیاه و ورودی نیتروژن براساس شرایطی که کشاورز در عمل در مزرعه کود نیتروژن را مصرف می‌کند، قرار داده شد. بنابراین خروجی مدل در این قسمت نشان‌دهنده عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن بود. در مرحله بعد در بخش ICSim بسته نرم‌افزاری DSSAT ورودی نیتروژن براساس شرایط مطلوب رشد گیاه و ورودی میزان آب بر اساس شرایطی که کشاورز در عمل در مزرعه آب را مصرف می‌کند قرار داده شد. بنابراین خروجی مدل بیانگر عملکرد در شرایط محدودیت آب بود. لازم به ذکر است که در این بخش اثر آب و نیتروژن بر رشد و عملکرد گندم براساس مشاهده عامل تنش که در خروجی مدل نمایش داده می‌شود، تعیین گردید. عامل تنش بین صفر تا یک در نوسان است، به این صورت که عدد صفر بیانگر عدم تنش آب و نیتروژن و عدد یک بیانگر حداکثر میزان تنش آب و نیتروژن در شرایط رشد گندم است. هم‌چنین میزان دقیق مصرف نیتروژن و آب توسط کشاورز نیز از طریق پرسشنامه‌هایی که به این منظور طراحی و توزیع شده بود، تعیین و در مدل وارد گردید.

ثبت داده‌های عملکرد واقعی

به منظور برآورد عملکرد واقعی گندم در شهرستان‌های کرمانشاه، روانسر و کنگاور که بخش عمده‌ای از تولید گندم آبی استان کرمانشاه را به خود اختصاص داده‌اند، میانگین تولید گندم آبی طی یک دوره ۱۸ ساله (از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵) از بانک داده‌های ثبت شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان استفاده شد. هم‌چنین به منظور تعیین نقش مدیریت زراعی بر میزان تولید گندم اطلاعات مدیریتی که شامل پرسش‌هایی نظیر عملیات تهیه بستر بذر، تاریخ کشت بذر، رقم، تاریخ و میزان آبیاری مزرعه، زمان و میزان مصرف انواع کود، کنترل آفات و علف‌های هرز، تاریخ مراحل فنولوژی گندم، زمان برداشت و میزان عملکرد دانه بودند، با همکاری کارشناسان مراکز جهاد کشاورزی در دهستان‌های مختلف در قالب ۴۲۸

براساس نتایج شبیه سازی‌ها شهرستان کنگاور در تمام سال‌های مورد بررسی از پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به شهرستان‌های روانسر و کرمانشاه برخوردار بود. بنابراین به نظر می‌رسد اقلیم کنگاور با توجه به درجه حرارت پایین‌تر به ویژه در زمان پر شدن دانه برای تولید گندم مساعدتر از سایر شهرستان‌ها باشد.

۱۱۰۴۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ در شهرستان کرمانشاه به میزان ۶۷۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد پتانسیل گندم در دوره ۱۸ ساله مورد بررسی برای شهرستان‌های کنگاور، روانسر و کرمانشاه به ترتیب برابر ۹۹۹۰، ۹۰۱۶ و ۷۷۴۷ کیلوگرم در هکتار بود.



شکل ۱- عملکرد در شرایط پتانسیل (■)، محدودیت آب (×)، محدودیت نیتروژن (Δ) شبیه سازی شده، و همچنین عملکرد واقعی (●) گندم تحت مدیریت زراعی مختلف

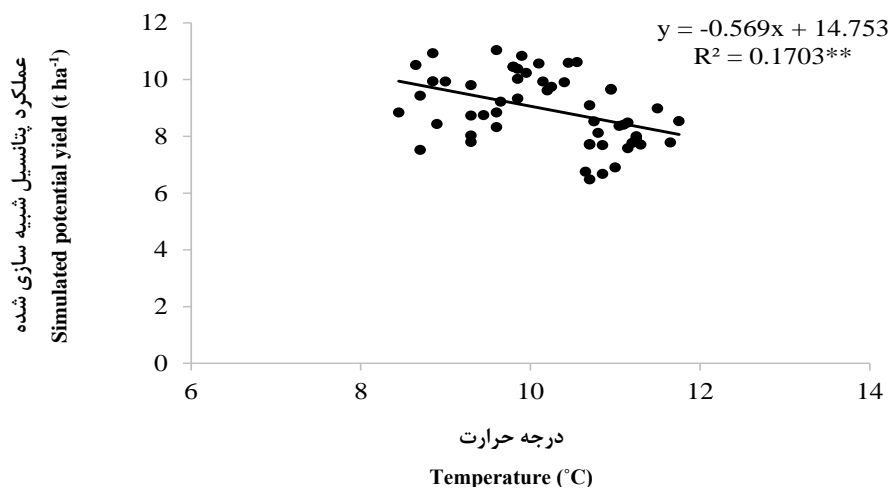
Figure 1- Simulated potential (■), water limitation (×) and nitrogen limitation (Δ) yields, and also actual yield (●) of wheat under different management practices

و نمو گندم نشان داد در سال‌های مختلف دوره مورد مطالعه

بررسی تغییرات میانگین دمای شهرستان‌ها طی دوره رشد

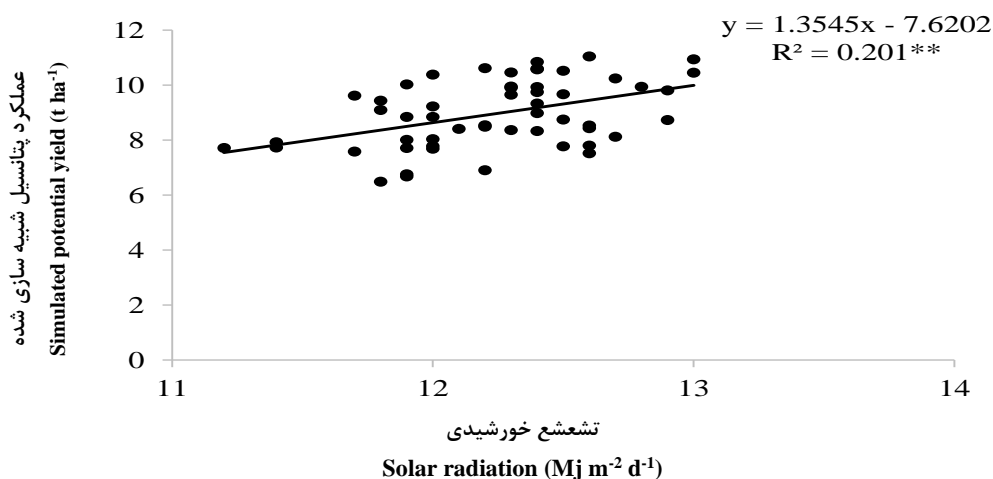
تغییرات میانگین دما در دوره مورد مطالعه برای شهرستان‌های نام‌برده نیز به ترتیب ۲/۶، ۷/۷ و ۷/۹ درصد بود. نوسانات عملکرد پتانسیل در یک منطقه در سال‌های مختلف تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل دما و تشعشع خورشیدی است (Aggarwal and Kalra, 1994). نتایج این مطالعه نشان داد طی دوره زمانی بلند مدت، با افزایش میانگین دمای دوره رشد گیاه، میانگین عملکرد پتانسیل گندم آبی در شهرستان‌های مورد مطالعه کاهش یافت (شکل ۲).

میانگین دما در این مناطق دارای نوسان بود، کمترین میانگین دمای سالانه دوره رشد در سال ۱۳۸۷ در شهرستان روانسر به وقوع پیوست که مقدار آن ۸/۶ درجه سانتی‌گراد بود. همچنین بیشترین میانگین دمای سالانه دوره رشد در سال ۱۳۹۴ و برابر ۱۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد بود که در شهرستان کرمانشاه به وقوع پیوست. به‌طور کلی میانگین دمای دوره رشد گیاه طی سال‌های مورد مطالعه در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب برابر ۱۱، ۹/۹ و ۹/۸ درجه سانتی‌گراد بود و ضریب



شکل ۲- ارتباط میانگین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده بلند مدت با میانگین دمای فصل رشد برای سه مکان مورد مطالعه

Figure 2- Association of long-term mean simulated potential yield with mean crop season temperature for three studied locations



شکل ۳- ارتباط میانگین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده بلند مدت با میانگین تشعشع خورشیدی فصل رشد برای سه مکان مورد مطالعه

Figure 3- Association of long-term mean simulated potential yield with mean crop season solar radiation for three studied locations

نظر می‌رسد وجود گرد و غبار موجود در هوای استان که خود

علاوه بر افزایش درجه حرارت در طول دوره رشد گیاه، به

نسبت به میانگین همان دوره در شهرستان کرمانشاه از ۱۶/۳۱- تا ۱۶/۶+ درصد نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز ۹ درصد بود. در شهرستان کنگاور نیز میزان تغییرات عملکرد در شرایط محدودیت آب نسبت به میانگین از ۲۱/۹- تا ۹/۵+ نوسان داشت و ضریب تغییرات در این شرایط حدود ۸/۷ درصد بود. در شهرستان روانسر تحت شرایط محدودیت آب در دوره زمانی مورد بررسی نسبت به میانگین همان دوره از ۲۰- تا ۱۵/۸+ درصد نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز حدود ۱۱ درصد بود. محققین دیگر نیز بیان کردند در شرایط کمبود رطوبت، کاهش فتوسنتز و هم‌چنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف گیاه اتفاق می‌افتد که سبب کاهش ماده خشک بوته می‌شود و در نهایت عملکرد دانه کاهش خواهد یافت (Arofa *et al.*, 2007).

عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن

مقدار عملکرد دانه در شرایط محدودیت نیتروژن در مناطق مورد مطالعه طی سال‌های مختلف دارای نوسان بود (شکل ۱). در شهرستان کرمانشاه بیشترین (۷۴۰۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۵۷۳۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه شبیه‌سازی شده به ترتیب برای سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۷۹-۱۳۷۸ بود. میانگین عملکرد دانه در دوره مورد بررسی برابر ۶۴۳۲ کیلوگرم در هکتار، دامنه عملکرد دانه در شرایط محدودیت نیتروژن ۱۶۷۱ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به میانگین از ۱۵/۱۴+ تا ۱۰/۸۳- درصد نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز ۷ درصد بود. در شهرستان کنگاور کمترین (۷۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین (۹۱۶۶ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب برای سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ مشاهده شد (شکل ۱). میانگین عملکرد دانه ۸۲۴۲ کیلوگرم در هکتار، دامنه تغییرات عملکرد دانه ۱۵۴۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به میانگین از ۷/۵- تا ۱۱/۲+ نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز حدود ۸/۲ درصد بود. هم‌چنین در شهرستان روانسر کمترین (۵۸۵۷ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین (۷۷۵۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه در شرایط به ترتیب برای سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ و ۱۳۹۴-۱۳۹۳ بدست آمد. میانگین عملکرد در این شرایط برابر ۶۷۸۵ کیلوگرم در هکتار، دامنه تغییرات عملکرد برابر ۱۸۹۵ کیلوگرم

باعث کاهش میزان تشعشع خورشیدی روزانه می‌شود دلیل دیگری برای کاهش میزان عملکرد پتانسیل گندم بود. بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان، طی دوره زمانی مورد مطالعه میزان تشعشع دریافتی در شهرستان‌ها دارای نوسان بود. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد با کاهش میزان تشعشع خورشیدی عملکرد پتانسیل گندم در مناطق مختلف استان کاهش یافت (شکل ۳).

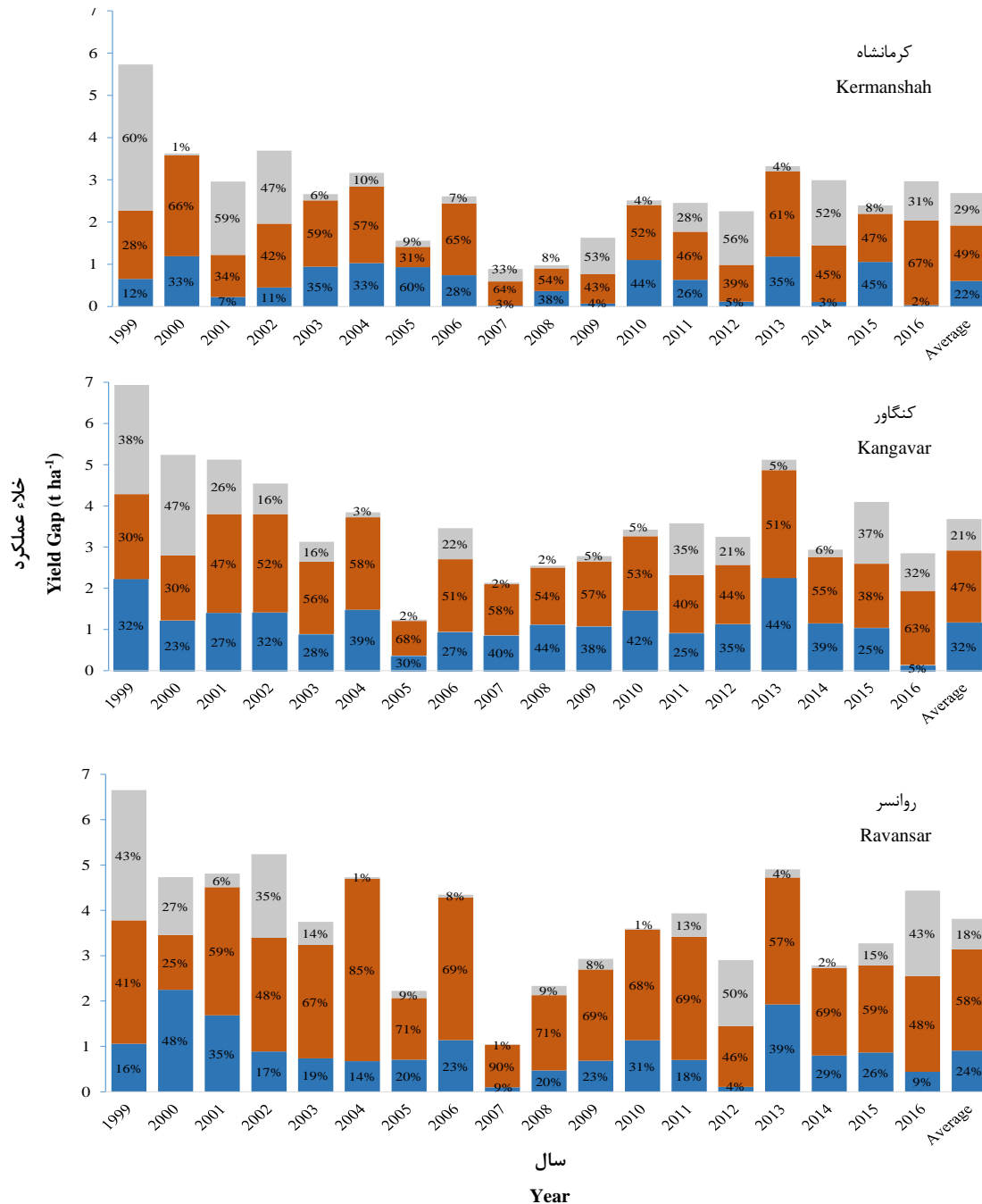
کمترین و بیشترین میانگین روزانه میزان تشعشع دریافتی طی دوره رشد گیاه در دوره بلند مدت به ترتیب مربوط به شهرستان کرمانشاه با مقدار ۱۱ مگاژول در متر مربع در روز و روانسر با مقدار ۱۲/۴ مگاژول در متر مربع در روز بود. برازش خط رگرسیون روی داده‌های مقادیر تشعشع خورشیدی در شهرستان‌ها نیز نشان داد طی دوره بلندمدت مورد مطالعه تشعشع دریافتی در این مناطق روند کاهشی داشته است. بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی استان، میانگین تعداد روزهای همراه با غبار در دوره آماری ۵۰ ساله پیش از سال ۲۰۰۵ میلادی تنها ۱۶ روز بوده است. اما در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی میانگین تعداد روزهای همراه با غبار در استان کرمانشاه به ۱۳۰ روز رسیده است. هم‌چنین تا پیش از سال ۲۰۰۵ هیچ‌گاه تراکم غبار به بحران نمی‌انجامید و مشاهده گرد و خاک غلیظ با ماندگاری یک شبانه روز یک رویداد تازه است. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد طوفان گرد و غبار در سال ۱۳۸۸ در استان کرمانشاه باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی به میزان ۷۲۶ هزار تن شد (Khaledi, 2013).

عملکرد در شرایط محدودیت آب

نتایج این مطالعه نشان داد عملکرد دانه گندم در مناطق مورد مطالعه تحت تأثیر میزان آب قرار داشت (شکل ۱). بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب به ترتیب در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ در شهرستان کنگاور (۹۶۶۲ کیلوگرم در هکتار) و در سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در شهرستان کرمانشاه (۵۹۷۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. میانگین عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب طی دوره زمانی مورد بررسی در شهرستان‌های کنگاور، روانسر و کرمانشاه برابر ۸۸۲۰، ۸۱۰۷ و ۷۱۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. میزان تغییرات عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب در دوره مورد بررسی

که در گسترش و توسعه برگ‌ها دارد، یکی از عوامل مهم در تعیین میزان عملکرد دانه می‌باشد و کمبود نیتروژن در دسترس گیاه سبب کاهش عملکرد می‌شود.

در هکتار بود که نسبت به میانگین از ۱۳/۷- تا ۱۴/۲+ نوسان داشت و ضریب تغییرات عملکرد نیز حدود ۹/۳ درصد بود. نیتروژن محدود کننده‌ترین عنصر غذایی در عملکرد گندم به شمار می‌رود. عرضه مواد غذایی به ویژه نیتروژن به لحاظ اثری



شکل ۴- خلاء عملکرد کل و خلاء ناشی از محدودیت آب (نمودار آبی)، محدودیت نیتروژن (نمودار نارنجی) و سایر موارد (نمودار خاکستری) برای سه مکان مورد مطالعه

Figure 4- Total yield gap and yield gap due to water limitation (blue chart), nitrogen limitation (orange chart) and other (grey chart) for three studied locations

عملکرد واقعی

در شهرستان کرمانشاه میانگین عملکرد واقعی بلند مدت حدود ۵۰۵۸ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. بیشترین (۶۱۵۰) کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۲۸۰۰) کیلوگرم در هکتار) عملکرد واقعی به ترتیب در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شد (شکل ۱). متوسط عملکرد واقعی در کنگاور برابر ۶۳۱۱ کیلوگرم بود. بیشترین عملکرد واقعی در سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ به میزان ۷۶۰۰ کیلوگرم و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به میزان ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در شهرستان روانسر نیز میانگین عملکرد حدود ۵۲۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین (۶۴۰۰) کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۸۰۰) کیلوگرم در هکتار) عملکرد واقعی به ترتیب در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شد.

خلاء عملکرد کل

نتایج این بررسی نشان داد که مقادیر خلاء عملکرد کل در مناطق و سال‌های مختلف با هم تفاوت داشت (شکل ۴). در شهرستان کرمانشاه بیشترین میزان خلاء عملکرد کل در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شد که برابر ۵۷۲۹ کیلوگرم در هکتار که معادل ۶۷/۲ درصد بود. هم‌چنین کمترین میزان خلاء عملکرد کل نیز در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ مشاهده شد که برابر ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار که معادل ۱۴/۷ درصد بود. در شهرستان کنگاور نیز بیشترین خلاء عملکرد کل در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ برابر ۶۹۳۶ کیلوگرم در هکتار که معادل ۶۳/۴ درصد بود و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ که برابر ۱۲۳۸ کیلوگرم در هکتار و معادل ۱۴/۷ درصد بود، مشاهده شد (شکل ۴).

در شهرستان روانسر بیشترین میزان خلاء عملکرد کل در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ برابر ۶۶۵۳ کیلوگرم در هکتار و معادل ۶۴ درصد و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۱۰۴۵ کیلوگرم در هکتار و معادل ۱۵ درصد بود (شکل ۴). در طی دوره مطالعه میانگین خلاء عملکرد کل در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب ۲۶۸۹، ۳۶۷۹ و ۳۸۱۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که نسبت به میانگین عملکرد پتانسیل به ترتیب میزان خلاء ۳۴/۰، ۳۶/۴ و ۴۱/۴ درصدی را نشان داد. به نظر می‌رسد از جمله دلایل خلاء

عملکرد محاسبه شده در این بررسی را بتوان به اختلاف در میزان و زمان بارندگی‌ها، دما و تشعشع روزانه ارتباط داد.

خلاء عملکرد تحت شرایط محدودیت آب

در شهرستان کرمانشاه کمترین اثر محدودیت آب در ایجاد خلاء عملکرد در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۲۴ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ به میزان ۱۱۹۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۴). در شهرستان کنگاور نیز کمترین اثر محدودیت آب در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ به میزان ۱۳۷ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به میزان ۲۲۲۲ کیلوگرم در هکتار بود. در روانسر نیز کمترین خلاء عملکرد محدودیت آب در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۹۸ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ به میزان ۲۲۴۸ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴). به‌طور میانگین محدودیت آب در طول دوره مورد مطالعه در کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب باعث ۷/۷، ۱۱/۶ و ۹/۹ درصد افت عملکرد نسبت به شرایط پتانسیل شد (شکل ۴). ضریب تغییرات خلاء عملکرد در شرایط محدودیت آب برای سال‌های مورد مطالعه برای شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب برابر ۷۱/۹، ۴۴/۵ و ۶۲/۶ درصد بود. نتایج هم‌چنین نشان داد خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آب نسبت به میانگین دوره زمانی مورد بررسی در کرمانشاه به میزان ۹۶/۱- تا ۱۹۷+ درصد، در کنگاور به میزان ۸۸/۳- تا ۱۹۰+ درصد و در روانسر به میزان ۸۹/۲- تا ۲۴۷/۳+ درصد در نوسان بود. به نظر می‌رسد تغییر سیستم آبیاری از حالت سنتی به تحت فشار، تأکید بیشتر بر زمان مصرف آب طی ساعات مناسب شبانه روز و شناسایی مراحل نمو حساس گیاه به تنش کمبود آب و آبیاری مزرعه بر مبنای آن، می‌تواند نقش بسزایی بر کاهش خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب داشته باشد. تأثیر آب در تولید سطح برگ و تأثیر تنش ناشی از کمبود این عامل بر پیری برگ‌ها توسط محققین متعددی گزارش شده است. با کاهش سطح برگ در اثر کمبود آب که به دلیل زوال برگ اتفاق می‌افتد، جذب تشعشع خورشیدی کاهش خواهد یافت که نتیجه آن کاهش عملکرد است (Gammelvind et al., 1996). در مطالعه‌ای دیگر که تحت شرایط آب و هوایی مشهد بیان شد که

۵۷/۷- تا ۱۸۰/۳+ درصد در نوسان بود. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که نیتروژن به عنوان مهمترین عامل ایجاد خلاء عملکرد در شهرستان‌های مورد بررسی بود (شکل ۴). به نظر می‌رسد مصرف اصولی و منطبق بر آزمون خاک، زمان مناسب مصرف، نوع کود مصرفی و روش‌های مناسب مصرف نیتروژن می‌تواند به شدت منجر به کاهش خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن شود. عرضه مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن به لحاظ اثری که در گسترش و توسعه برگ‌ها دارد، یکی از عوامل مهم در تعیین میزان عملکرد دانه می‌باشد و کمبود نیتروژن در دسترس گیاه، سبب کاهش عملکرد می‌شود. نیتروژن از طریق چندین واکنش در گیاه، رشد و نمو محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رابطه نیتروژن با فتوسنتز، توزیع نیتروژن بین برگ‌ها، گسترش سطح برگ و آرایش برگ‌ها و همچنین اثر بر جذب نور از آن جمله هستند. بنابراین تأمین نیاز نیتروژن در زمان‌های مختلف رشد و مطابق با نیاز گیاه و افزایش جذب آن می‌تواند روی سرعت رشد گیاه و تولید آن اثر گذار باشد (Gastal and Lemaire, 2002). در تحقیقی دیگر دومین عامل محدود کننده عملکرد گندم میزان کود نیتروژن معرفی شد (Torabi et al., 2012). آن‌ها نشان دادند در گندم شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل و میزان جذب نیتروژن همگی تحت کنترل مدیریت مصرف کود نیتروژن هستند. بنابراین میزان مصرف و مدیریت تغذیه نیتروژن را یکی از عوامل محدود کننده عملکرد پتانسیل گندم در منطقه گرگان دانستند. محدودیت آب و مواد غذایی توسط محققین دیگر نیز به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد معرفی شده‌اند (Kalra et al., 2007).

خلاء عملکرد تحت تاثیر سایر عوامل

سایر عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد، شامل کلیه عوامل نظیر آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز به استثنای آب و نیتروژن بود که می‌توانند عملکرد گندم را کاهش دهند. میانگین این عوامل در طول دوره مورد مطالعه در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب، ۹/۷، ۷/۴ و ۷/۲ درصد بود. نتایج این مطالعه نشان داد مدیریت کشاورزان در بهره‌برداری از زمین در تولید محصول گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه بهبود یافته است و مقدار خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل کاهش یافته است (شکل ۴). در شهرستان کرمانشاه

اعمال تنش رطوبتی در مراحل حساس نمو گندم تأثیر منفی بسیار شدیدی بر فرآیندهای متابولیکی مرتبط با فتوسنتز و انتقال و اختصاص مواد داشت، به طوری که پس از رفع تنش و انجام آبیاری مجدد نیز اثر منفی تنش جبران نشد (Ghods et al., 2003). در مطالعه‌ای نشان داده شد تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم در داراب شد، به طوری که میانگین عملکرد در شرایط نرمال ۴۶۹۱ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی انتهایی ۳۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود (Rajaie et al., 2015).

خلاء عملکرد تحت شرایط محدودیت نیتروژن

در شهرستان کرمانشاه در طی دوره مطالعه خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن از ۴۸۱ تا ۲۳۸۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد و سهم محدودیت نیتروژن حدود ۱۶/۶ درصد بود (شکل ۴). خلاء عملکرد در کرمانشاه تحت شرایط محدودیت نیتروژن نسبت به میانگین دوره زمانی مورد مطالعه، در سال‌های مختلف به میزان ۶۳/۴- تا ۱۸۱/۶+ درصد در نوسان بود. در شهرستان کنگاور خلاء ناشی از محدودیت نیتروژن از ۸۳۹ تا ۲۳۹۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. میانگین مقادیر خلاء عملکرد محدودیت نیتروژن نیز برابر ۱۷۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. به طور کلی سهم محدودیت نیتروژن در خلاء عملکرد کل در دوره مورد مطالعه در کنگاور حدود ۱۷/۴ درصد بود (شکل ۴). نتایج هم‌چنین نشان داد خلاء عملکرد دانه گندم در کنگاور تحت شرایط محدودیت نیتروژن نسبت به میانگین دوره زمانی مورد مطالعه، در سال‌های مختلف به میزان ۵۲- تا ۱۳۷/۲+ درصد در نوسان بود. در شهرستان روانسر نیز کمترین خلاء ناشی از محدودیت نیتروژن در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ بود که برابر ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار بود و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ بود که برابر ۴۰۲۳ کیلوگرم در هکتار بود. دامنه تغییرات خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن در طول دوره مورد مطالعه برابر ۳۰۸۳ کیلوگرم و میانگین مقادیر این خلاء برابر ۲۲۳۱ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین سهم محدودیت نیتروژن در خلاء عملکرد کل در شهرستان روانسر در دوره مورد مطالعه حدود ۲۴/۳ درصد بود (شکل ۴). خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت نیتروژن نسبت به میانگین دوره زمانی مورد بررسی، در سال‌های مختلف به میزان

پتانسیل در شهرستان‌ها به دلیل افزایش درجه حرارت طی دوره مطالعه کاهش نشان داد. بیشترین (۸۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۷۱۴۲ کیلوگرم در هکتار) میانگین عملکرد در شرایط محدودیت آب به ترتیب در کنگاور و کرمانشاه مشاهده شد. شهرستان کنگاور با میانگین ۸۲۴۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین و شهرستان کرمانشاه با ۶۴۳۲ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن را داشتند. بیشترین (۶۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۵۰۵۸ کیلوگرم در هکتار) عملکرد واقعی به ترتیب متعلق به کنگاور و کرمانشاه بود. خلاء عملکرد کل در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب ۲۶۸۹، ۳۶۷۹ و ۳۸۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. بالاترین سهم محدودیت آب (۳۱/۸ درصد)، نیتروژن (۵۸/۵ درصد) و سایر عوامل (۲۸/۶ درصد) در ایجاد خلاء عملکرد به ترتیب در شهرستان‌های کنگاور، روانسر و کرمانشاه مشاهده شد. نتایج نشان داد که عنصر نیتروژن با وجود مصرف بیش از اندازه در مزارع توسط کشاورزان دارای بیشترین تأثیر بود که ممکن است به علت مصرف غیر اصولی، زمان نامناسب مصرف، نوع کود مصرفی و روش‌های مصرف کود باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای مدیریت بهتر کاهش خلاء عملکرد تأکید تحقیقات و سیاست‌گذاری‌های پیش رو در مرحله نخست بر کاهش سهم نیتروژن و در مرحله بعدی سهم آب صورت پذیرد.

کمترین و بیشترین خلاء عملکرد ایجاد شده بر حسب درصد نسبت به عملکرد پتانسیل به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۷۸ به وقوع پیوست که برابر ۰/۵ و ۴۰/۵ درصد بود (شکل ۴). در شهرستان کنگاور کمترین اثر سایر عوامل در ایجاد خلاء عملکرد واقعی نسبت به عملکرد پتانسیل در سال‌های زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و ۱۳۸۶-۱۳۸۵ مشاهده شد که معادل ۰/۴ درصد بود و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ بود که سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۴۴۴ کیلوگرم در هکتار شد که معادل ۲۴/۶ درصد بود (شکل ۴). در روانسر نیز کمترین اثر سایر عوامل در ایجاد خلاء در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۰/۱ درصد و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به میزان ۲۷/۵ درصد مشاهده شد (شکل ۴). در مطالعه روند بلند مدت تولیدات غلات در ایران نیز مشخص شد که افزایش عملکرد ناشی از مدیریت بهتر نهاده‌های تولید عامل اصلی افزایش تولید گندم کشور در سال‌های اخیر بود (Zarea Feizabadi *et al.*, 2006).

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه میانگین عملکرد پتانسیل در شهرستان‌ها نشان داد کنگاور با میانگین ۹۹۹۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد پتانسیل و کرمانشاه با ۷۷۴۷ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد پتانسیل را در دوره مورد مطالعه داشتند. عملکرد

References

- Abeledo, L.G., Savin, R. and Slafer, G.A., 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal Agronomy*, 28, pp.541-550. doi: 10.1016/j.eja.2007.12.001
- Affholder, F., Poeydebat, C., Corbeels, M., Scopel, E. and Tittonell, P., 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: assessment and analysis through field surveys and modelling. *Field Crops Research*, 143, pp.106-118. doi: 10.1016/j.fcr.2012.10.021
- Aggarwal, P.K. and Kalra, N., 1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat II. Climatically potential yields and management strategies. *Field Crops Research*, 38, pp.93-103. doi: 10.1016/0378-4290(94)90003-5
- Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., Bannayan Aval, M., Nassiri Mahalati, M. and Deihimfard, R., 2015. Yield gap analysis of Chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. *International Journal of Plant Production*, 8, pp.531-548. doi/10.22069/ijpp.2014.1723
- Arora, V.K., Singh H. and Singh B., 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and

- fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. *Agricultural Water Management*, 94, pp.22–30. doi: **10.1016/j.agwat.2007.07.002**
- Asseng, S., Turner, N.C., Ray, J.D. and Keating, B.A., 2002. A simulation analysis that predicts the influence of physiological traits on the potential yield of wheat. *European Journal of Agronomy*, 17, pp.123-141. doi: **10.1016/s1161-0301(01)00149-6**
- Charles, H., Godfray, J., Beddington, J.R., Curte, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pertry, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C., 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327, pp.812-818. doi: **10.1126/science.1185383**
- Dettori, M., Cesaraccio, C. and Duce, P., 2017. Simulation of climate change impacts on production and phenology of durum wheat in Mediterranean environments using CERES-Wheat model. *Field Crops Research*, 206, pp.43–53. doi: **10.1016/j.fcr.2017.02.013**
- Gammelvind, L.H., Schjoerring, J.K., Mogensen, V.O., Jensen, C.R. and Bock, J.G.H., 1996. Photosynthesis in leaves and siliques of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil*, 186, pp.227-236. doi: **10.1007/bf02415518**
- Gastal, F. and Lemaire, G., 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53, pp.789-799. doi: **10.1093/jexbot/53.370.789**.
- Ghodsi, M., Jalal Kamali, M.R., Chaichi, M.R. and Mazaheri, D., 2003. Dry matter accumulation and remobilization in bread wheat cultivars under water stress during pre- and post-anthesis stages in field conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 1, pp.205-216. [In Persian]. doi: **20.1001.1.20081472.1382.1.2.8.6**
- Hajishabani, H., Mondani, F. and Bagheri, A., 2020. Simulation Effects of Sowing Date on Growth and Yield of Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) by CROPGRO-CHICKPEA Model. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18, pp.197-212. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v18i2.82684**
- Hoogenboom, G., Jones, J.W. P., Wilkens, W., Porter, C.H., Boote, K.J., Hunt, L.A., Singh, U., Lizaso, J.I., White, J.W., Uryasev, O., Ogoshi, R., Koo, J., Shelia, V. and Tsuji, G.Y., 2015. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (<http://dssat.net>). DSSAT Foundation, Prosser, Washington.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, pp.235-265. doi: **10.1016/s1161-0301(02)00107-7**
- Khaledi, K., 2013. Economic loss of dust storms in Iran west provinces case study of Ilam, Khuzestan and Kermanshah. *Journal of Economic Modelling*, 7, pp.105-125.
- Kalra, N., Chakaborty, D., Ramesh Kumar, P., Jolly, M. and Sharma, P.K., 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. *Agricultural Water Management*, 93, pp.54–64. doi: **10.1016/j.agwat.2007.06.004**
- Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M. and Rezvani Moghaddam, P., 2007. Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan provinces using modelling approach. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 5,

- pp.332-341. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v5i2.1155**
- Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M., Mansouri, H. and Moradi, R., 2017. Effect of climate and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran with using WOFOST model. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 15, pp.244-256. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v15i2.54278**
- Lobel, D.B., Burke, M.B., Claudia, T., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. and Naylor, R.L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319, pp.606-610. doi: **10.1126/science.1152339**
- Ministry of Agriculture of Iran (MAJ). 2017. Portal of Iranian agriculture, <http://www.maj.ir/english/Main/Default.asp>.
- Mondani, F., Gholami, B., Bagheri, A.R. and Mohammadi, Gh.R., 2018. Simulation of changes in soil and plant nitrogen by CERES-Wheat model. *Journal of Water and Soil*, 32, pp.691-707. [In Persian]. doi: **10.22067/jsw.v32i4.70443**
- Mondani, F., 2018. Simulation of nitrogen fertilizer effect on maize (*Zea mize*) production by CERES-Maize Model under Kermanshah climate condition. *Journal of Water and Soil*, 3, pp.1665-1678. [In Persian]. doi: **10.22067/jsw.v31i6.61895**
- Nassiri Mahalati, M. and Koocheki, A., 2009. Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 15, pp.695-709. [In Persian].
- Rajaie, M., Tahmasebi, S., Bidadi, M.J., Zare, K. and Sarfarazi, S., 2015. The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes. *Cereal Research*, 4, pp.341-352. [In Persian]. doi: **20.1001.1.22520163.1394.5.4.4.1**
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zeinali, E., 2012. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Crop Production*, 4, pp.1-17. [In Persian]. doi: **20.1001.1.2008739.1390.4.4.1.9**
- Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. and Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research*, 143, pp.4-7. doi: **10.1016/j.fcr.2012.09.009**
- Van Ittersum, M.K. and Rabbing, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52, pp.197-208. doi: **10.1016/s0378-4290(97)00037-3**
- Van Wart, J., Van Bussel, L. G.J., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Muller, N.D., Claesseng, L., Van Ittersum, M.K. and Cassman, K.G., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*, 143, pp.44-55. doi: **10.1016/j.fcr.2012.11.023**
- Yaghoobi, M., Aghayari, F. and Mostafavi, Kh., 2017. Factors affecting wheat yield gap in Savojbolagh, Iran. *Advances in Bioresearch*, 8, pp.84-92. doi: **10.15515/abr.0976-4585.8.1.8492**
- Yamane, T., 1967. Elementary sampling theory. Englewood Cluis, NJ, USA: Prentice- Hall.
- White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A. and Wall, G.W., 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research*, 124, pp.357-368. doi: **10.1016/j.fcr.2011.07.001**
- Zarea Feizabadi, A., Koocheki, A. and Nassiri Mahalati, M., 2006. Trend analysis of yield, production and

cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 4, pp.49-70. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v4i1.1318

Yield gap analysis for irrigation wheat (*Triticum aestivum* L.) production system in some location of Kermanshah province using CERES-Wheat model

Farzad Mondani^{1*}, Babak Gholami², Alireza Bagheri¹, Gholamreza Mohammadi¹

¹ Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

² MSc Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding Author: f.mondani@razi.ac.ir

Received: 21 February 2023

Accepted: 24 May 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.385845.1320

Abstract

Introduction: Crops yield can be considered in different situations, which is called different production levels. Potential yield level is that determined by radiation, temperature and cultivar traits without limitations of biotic or abiotic factors; while attainable yield level is that limited by water or nutrient supply, and actual yield level is that determined in the present of the limiting (water or nutrient) and reducing factors (such as weed, harmful insects and plant diseases). The yield gap is the difference between the potential yield level and actual yield level. Identifying the yields at different production levels and quantifying the yield gaps through field experiments may involve many years of data collection on which to make meaningful inferences. Crop simulation models are an alternative tool for analyzing interactions between water and nitrogen availabilities on yield generation. The objectives of the present study was to estimate potential yields and yield gaps for irrigated wheat using the CERES-Wheat model, and other limiting and reducing factors in the main wheat growing regions of Kermanshah province.

Materials and Methods: The study was conducted at 3 locations in Kermanshah province, which is located in west of Iran. Historical weather data for 1999 to 2016 were obtained from the Iran Meteorological Organization for the 3 locations. The weather data included daily solar radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), daily maximum and minimum temperatures ($^{\circ}\text{C}$), and daily rainfall (mm). The CERES-Wheat model was calibrated for Pishgam cultivar of wheat and validated for a main wheat growing region to estimate yield gaps in some locations of Kermanshah province in west Iran. In order to calibrate and validation of the model, in another study, leaf area index, phenological growth stages, total dry weight yield and grain yield were used. The validated model was used to simulate long-term yield under three management conditions (potential, water-limited, nitrogen-limited). The experiments were conducted in the Campus of Agriculture and Natural Resources Field at Razi University, Kermanshah, Iran ($34^{\circ}19' \text{N}$, $47^{\circ}50' \text{E}$, altitude 1320 m) on soil classified as Inceptisol typic during 2014-2015 and 2015-2016. The treatments were included 4 levels of nitrogen fertilizer application (90, 180, 300 and 360 kg ha^{-1} urea).

Results and Discussion: The simulation results indicated that averaged simulated potential yield was 8.9 t ha^{-1} , while water and nitrogen limitation yields were 8.0 and 7.1 t ha^{-1} , indicating 10.3% and 20.2% reduction in wheat yield, respectively. The potential yields changed spatially due to changes in temperature and solar radiation. The average actual yield was 5.5 t ha^{-1} which was 3.4, 2.7 and 1.8 t ha^{-1} less than potential, water limitation and nitrogen limitation yields, respectively. There was fairly large gap between the actual and the potential yields (about 3.4 t ha^{-1}). When averaged over years, total yield gap obtained for Kermanshah was 2.7 t ha^{-1} , for Kangavar was 3.7 t ha^{-1} , and for Ravansar was 3.8 t ha^{-1} . Across locations, contribution of yield gap from water limitation was 26%, for nitrogen limitation was 51.3% and for other limiting and reducing factors was 22.7%.

Conclusion: It can be concluded that the management timing of nitrogen application might reduce yield gap across locations. On the other hand, improved irrigation methods might lead to improved actual yield through preventing of the water and nitrogen leaching which it can reduce the total yield

gap. In this study, only the role of water and nitrogen limitation was evaluated. The data collected from questionnaires showed that the yield gap of wheat was affected by the unsuitable of crop management practices, including optimum planting date, and pest and weed management that were not studied in the simulations.

Keywords: CERES-Wheat model, Nitrogen limitation, Potential yield, Water limitation

ارزیابی عملکرد ژنوتیپ متحمل به ریزش کنجد در آرایش کاشت و تراکم‌های مختلف در اقلیم گرم و خشک جنوب شرق

مجید غلامحسینی^{۱*}، احمد آیین^۲، بهنام بخشی^۳، سعدالله منصور^۱، فرناز شریعتی^۱

۱- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

۳- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
* مسئول مکاتبه: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.396251.1341

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷

چکیده

آزمایشی طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مزارع پژوهشی دو مرکز تحقیقات کشاورزی در استان‌های کرمان (جیرفت) و سیستان و بلوچستان (زابل) به صورت بلوک‌های خرد شده (نواری) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش اثر فاصله ردیف‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری و فاصله گیاهان روی ردیف‌های ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴ سانتی‌متری بر عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و عملکرد روغن ژنوتیپ متحمل به ریزش کنجد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد عملکرد دانه در منطقه زابل تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. در منطقه جیرفت و در تمامی سطوح تیماری فاصله بین گیاهان، کشت در فواصل ۳۰ سانتی‌متری در مقایسه با سایر فواصل بین ردیف (۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر) از برتری معنی‌داری در سطح پنج درصد برخوردار بود. حداکثر عملکرد دانه در این منطقه از آرایش کاشت ۳۰×۱۴ سانتی‌متر (۲۴ بوته در مترمربع) به مقدار ۱۴۳۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد که پتانسیل عملکرد ژنوتیپ متحمل به ریزش در منطقه زابل در مقایسه با متوسط عملکرد کنجد در این منطقه پایین‌تر بود و بنابراین کشت این ژنوتیپ در منطقه زابل توجیهی ندارد. در مقابل، حداکثر عملکرد دانه بدست آمده از این ژنوتیپ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از متوسط عملکرد دانه کنجد در منطقه جیرفت بیشتر بود. بنابراین ژنوتیپ متحمل به ریزش بویژه در آرایش کشت ۳۰×۱۴ سانتی‌متر پتانسیل قابل قبولی برای کشت در منطقه جیرفت دارد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، درصد روغن دانه، عملکرد دانه، فواصل بین ردیف

مقدمه

برآورد شده است. همچنین استان سیستان و بلوچستان با سطح کشت ۱۲۰۰ هکتار و متوسط عملکرد ۸۳۳ کیلوگرم در هکتار و منطقه جیرفت در جنوب استان کرمان با سطح کشت ۷۵۰۸ هکتار و متوسط عملکرد ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از مهم‌ترین مناطق تولید کنجد در کشور محسوب می‌شوند (Anonymous, 2023).

علی‌رغم خواص تغذیه‌ای مطلوب کنجد و همچنین سازگاری مناسب این گیاه به شرایط اقلیمی کشور، زراعت این گیاه نسبت به دانه‌های روغنی دیگر ابتدایی بوده و برای ارتقای عملکرد کمی و کیفی آن به پژوهش‌های به‌زراعی در زمینه بهبود روش‌های مدیریت مزرعه نیاز است (Sadeghi Garmaroodi et al., 2023). از جمله این مدیریت‌ها آرایش کاشت و تراکم بوته می‌باشد. توزیع بوته‌های یک جمعیت را

امروزه مصرف عمده روغن‌های خوراکی در جهان، مربوط به روغن‌های گیاهی است و دانه‌های روغنی به عنوان یکی از منابع بزرگ روغن، پروتئین و لنتزوی، پس از غلات دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (Andargie et al., 2021). در بین دانه‌های روغنی، گیاه کنجد محصولی است که نه تنها از لحاظ اقتصادی در کشاورزی معیشتی مناطق خشک و نیمه خشک کشور اهمیت دارد، بلکه از نظر ویژگی‌های زراعی نیز مهم می‌باشد. این گیاه سازگاری مناسبی به شرایط اقلیمی کشور دارد و مهم‌تر آنکه نیاز آبی آن نیز در مقایسه با سایر محصولات تابستانه دانه‌های روغنی پایین‌تر است (Sadeghi Garmaroodi et al., 2023). در سال ۱۴۰۱، سطح کشت کنجد در ایران ۴۹ هزار هکتار با تولیدی نزدیک به ۴۹ هزار تن

بلوچستان (زابل) و کرمان (جیرفت)، این پژوهش برنامه‌ریزی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مزارع پژوهشی دو مرکز تحقیقات کشاورزی در استان‌های سیستان و بلوچستان (زابل) و کرمان (جیرفت) اجرا شد. ویژگی‌های اقلیمی مناطق اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. در این پژوهش اثر فاصله ردیف‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری و فاصله گیاهان روی ردیف‌های ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴ سانتی‌متری (جدول ۲) بر صفات رشدی و عملکرد ژنوتیپ کنجد متحمل به ریزش (جدول ۳) شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، عملکرد، اجزای عملکرد، درصد روغن و عملکرد روغن مورد بررسی قرار گرفت. در هر مکان، آزمایش به صورت بلوک‌های خرد شده (نواری) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین، بذور ضد عفونی شده با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (با غلظت دو در هزار) در ۲۰ و ۲۳ تیر ماه در زابل و ۲۴ و ۱۷ تیر ماه در جیرفت به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش در کرت‌های آزمایشی کشت شدند. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر بود. بذرها در واحدهای آزمایشی ابتدا به صورت متراکم کشت شده و سپس در مراحل اولیه رشد و نمو (دو تا سه برگی) تنک شدند به طوری که فاصله بین بوته‌های مورد نظر در هر یک از تیمارهای آزمایشی حاصل گردد. آبیاری واحدهای آزمایشی به روش قطره‌ای (تیپ) و پس از استقرار بوته‌ها هر ۱۰ تا ۱۲ روز یکبار انجام شد. همچنین عملیات وجین در طول فصل رشد به طور مرتب و در فواصل زمانی کوتاه انجام گرفت. در زابل کود نیتروژن‌دار (اوره) به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و در جیرفت به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت تقسیط شده در دو مرحله، نیمی در مرحله سه تا چهار برگی و مابقی به صورت جایگذاری کنار ردیف‌های کاشت در عمق پنج تا هشت سانتی‌متری، در مرحله هفت تا هشت برگی به کار برده شد. همچنین به ترتیب در زابل و جیرفت ۱۰۰ و ۱۴۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ و

می‌توان با تغییر در فاصله بین ردیف کاشت و فاصله بوته‌ها روی ردیف کاشت تنظیم نمود و یکنواختی توزیع گیاهان را افزایش داد (Afe, 2014). در مورد اثر آرایش کاشت و تراکم بوته بر عملکرد کنجد در تحقیقات گذشته نتایج مختلفی گزارش شده است. به عنوان مثال برخی از پژوهشگران (Ajibola and Kolawole, 2019) بیان داشتند که تفاوت معنی‌داری در عملکرد کنجد در آرایش‌های مختلف کشت مشاهده نکردند در صورتی که سایرین (Azanaw and Singh, 2023) بر این باورند که حداکثر عملکرد کنجد زمانی حاصل می‌شود که فاصله ردیف‌ها نزدیک بهم و آرایش کاشت مربعی و یا نزدیک به مربعی باشد. علت تناقض و تفاوت نتایج پژوهشگران را باید در عکس‌العمل‌های متفاوت کنجد به آرایش کشت تحت تأثیر ویژگی‌های ارقام (به‌ویژه از لحاظ تیپ شاخه‌دهی)، تاریخ کاشت، روش آبیاری، حاصلخیزی خاک و طول فصل رشد جستجو کرد. باید توجه داشت که اگر چه کنجد دارای پتانسیل مناسبی برای تولید می‌باشد، اما میزان عملکرد آن معمولاً کم است (در اکثر نقاط جهان از جمله ایران کمتر از یک تن در هکتار) چرا که این گیاه عمدتاً در خاک‌های نیمه بارور و با حداقل نهاده‌های کشاورزی رشد داده می‌شود و مهم‌تر اینکه بخش قابل توجهی از دانه تولید شده در اثر ریزش تلف می‌شود (Sadeghi, Garmaroodi et al., 2023). بنابراین ارقام اصلاح شده کنجد بویژه از نظر مقاومت به ریزش در کنار مدیریت به‌زراعی صحیح شاید تنها گزینه موجود برای توسعه کشت کنجد در کشورهای مستعد کشت این گیاه از جمله ایران باشد. تعدادی رقم مقاوم به ریزش و پرمحصول کنجد توسط موسسه تحقیقاتی سیساکو در آمریکا معرفی شده است (Langham, 2012). از آن جمله بذر یک ژنوتیپ متحمل به ریزش کنجد از طریق مجری دفتر طرح دانه‌های روغنی کشور در سال ۱۳۹۵ در اختیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی قرار گرفت که امیدواری زیادی را برای توسعه کشت کنجد در کشور به همراه داشته است. با این حال در ارتباط با پتانسیل عملکرد و مدیریت زراعی این ژنوتیپ از جمله آرایش کاشت بهینه و تراکم مناسب آن اطلاعاتی در اختیار نیست. در مجموع با توجه به کمبود اطلاعات جامع جهت پاسخ به سوالات مطرح در خصوص آرایش کاشت و تراکم مناسب ژنوتیپ وارداتی متحمل به ریزش کنجد در دو استان سیستان و

۱۴۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم قبل از کاشت استفاده گردید. آفتی مشاهده نشد هیچگونه سم شیمیایی در آزمایش استفاده همچنین با توجه به اینکه در طول دوره رشد طغیان بیماری یا نشد.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی، ویژگی‌های اقلیمی و خاکی مناطق اجرای آزمایش

Table 1- Geographical coordinates, climatic and soil characteristics of study areas

محل اجرای آزمایش Place of experiment	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی latitude	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level (m)	میانگین دمای سالانه Average annual temperature (°C)	میانگین دما در فصل تابستان Average temperature in summer season (°C)
زابل Zabol	61° 41'	30° 54'	492	23	35
جیرفت Jiroft	57° 51'	28° 32'	1100	25	34

محل اجرای آزمایش Place of experiment	میانگین بارندگی سالانه Average annual precipitation (mm)	میانگین بارندگی در فصل تابستان Average precipitation in summer season (mm)	ویژگی و نوع اقلیم Characteristics and type of climate	بافت خاک Soil texture	ماده آلی خاک Soil organic matter (%)
زابل Zabol	63	0	Hot and dry desert (Bwh)	Sandy loam	0.24
جیرفت Jiroft	180	0	Hot and dry desert (Bwh)	Clay loam	0.14

ویژگی‌های و نوع اقلیم بر اساس روش تقسیم بندی اقلیمی کوپن-گایگر تعیین شده است. ویژگی‌های خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری ثبت شده است.

The characteristics and type of the climate have been determined based on the Köppen-Geiger climate classification method. The characteristics of the soil are recorded at a depth of 0 to 30 cm.

جدول ۲- تیمارهای آزمایشی

Table 2- Experimental treatments

تراکم Density (plant m ⁻²)	فاصله بین گیاهان Plant spacing (cm)	فاصله بین ردیف Row spacing (cm)
67	5	30
42	8	
30	11	
24	14	
44	5	45
28	8	
20	11	
16	14	
33	5	60
21	8	
15	11	
12	14	

اساس رطوبت شش درصدی دانه محاسبه گردید. جهت تعیین اجزاء عملکرد از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت، پنج بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و سپس ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد کپسول در بوته اندازه‌گیری شد. برای ثبت تعداد

برداشت در تاریخ ۲۷ و ۳۰ آبان ماه در زلیل و ۱۳ و ۲۸ آبان ماه در جیرفت به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش انجام گرفت. مساحت برداشت شده هر کرت از دو ردیف میانی با لحاظ کردن اثر حاشیه، بالغ بر دو مترمربع بود. عملکرد دانه بر

اندازه‌گیری، این صفت صرفاً در نمونه‌های منطقه جیرفت ارزیابی شد)، پس از خشک کردن دانه‌ها، با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیس هسته (Nuclear Magnetic Resonance, Bruker, minispec mq 20 NMR Analyzer, Rheinstetten, Germany) اندازه‌گیری شد.

دانه در کپسول از هر واحد آزمایشی ۲۰ کپسول به‌طور تصادفی انتخاب و پس از بوجاری و شمارش تعداد بذور موجود در آنها، متوسط تعداد دانه در کپسول برای هر واحد آزمایشی مشخص شد. برای تعیین وزن هزار دانه نیز دو نمونه ۵۰۰ تایی از بذور هر یک از کرت‌ها شمارش و توزین گردید و بر اساس آن وزن هزار دانه محاسبه شد. درصد روغن دانه (به دلیل محدودیت‌های

جدول ۳- ویژگی‌های ژنوتیپ متحمل به ریزش*

Table 3- Characteristics of the shattering tolerant sesame genotype

رنگ بذر Seed color	شاخه دهی Branching	طول دوره رشد The length of growing period (day)	شرکت معرفی کننده Introducing company	منشاء Origin	نام ژنوتیپ Genotype name
کرم روشن Light cream	چند شاخه Multi-branching	130±10	سزاکو Sesaco	آمریکا United State	S29
شاخص حفظ بذر** Seed retention index (TIKETO)	تحمل به ریزش Shattering tolerant	درصد روغن دانه Seed oil percentage	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	متوسط عملکرد دانه Average seed yield (kg ha ⁻¹)
776	+	50±2	2.39±0.1	137±5	1100±50

* به نقل از صادقی گمارودی و همکاران (Sadeghi Garmaroodi *et al.*, 2023) Quoted by

** این شاخص بیانگر قدرت نگهداری بذر درون کپسول است و هر رقم آن از صفر تا هشت متغیر می‌باشد و هر چه عدد بزرگتر باشد نشان‌دهنده مقاومت بیشتر کپسول به ریزش دانه است.

** This index indicates the ability of the seed to be kept inside the capsule, and each number varies from zero to eight, and the higher the number, the greater the tolerant of the capsule to seed Shattering.

رگرسیون از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی

اثر اصلی فاصله بین گیاهان در منطقه جیرفت و اثر اصلی فاصله بین ردیف‌ها در زابل در سطح آماری پنج درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). در جیرفت تیمارهای فاصله بین گیاهان ۱۱ و ۱۴ سانتی‌متری از نظر ارتفاع بوته در گروه آماری برتر و دو تیمار فاصله بین گیاهان ۵ و ۸ سانتی‌متری در گروه آماری بعدی قرار داشتند (جدول ۵). در زابل دو تیمار فاصله بین ردیف‌های ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری در مقایسه با فاصله بین ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متری گیاهان بلندتری را حاصل کردند (جدول ۵). در منطقه جیرفت همچنان که تغییر در فاصله بین ردیف‌ها تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت، تغییرات ارتفاع بوته در تراکم‌های مختلف نیز یکنواخت و بدون افزایش یا

قبل از انجام تجزیه واریانس، مفروضات تجزیه واریانس از جمله نرمال بودن داده‌ها با استفاده از رویه univariate (آزمون شاپیرو-ویلک) توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ بررسی شد. همچنین از آنجائیکه فرض تجانس واریانس‌ها در هر دو سال و برای هر مکان در صفات مختلف منطبق بر نتایج آزمون بارلت صادق بود، در این آزمایش از تجزیه مرکب داده‌ها با فرض اثر تصادفی سال و با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS استفاده شد. شایان ذکر است به دلیل عدم تجانس واریانس‌ها بین دو منطقه، داده‌های هر منطقه به‌طور جداگانه تجزیه شد. برای مقایسه میانگین اثرات اصلی از آزمون LSD (گزاره means) در سطح آماری پنج درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Ismeans (گزاره‌های slice و pdiff) انجام گرفت. شایان ذکر است برای محاسبه و ترسیم هیتمپ (نقشه حرارتی) همبستگی بین صفات از نرم‌افزار R نسخه V4.3.0 و برای رسم شکل‌های

تعداد کپسول در بوته شد این اثر در فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متری بارزتر بود (جدول ۶). همچنین در هر دو منطقه با افزایش تراکم کاشت، تعداد کپسول در بوته به طور خطی کاهش یافت (شکل ۳). به همان نسبت که منطقه جیرفت تعداد کپسول بیشتری در مقایسه با منطقه زابل داشت، شدت کاهش تعداد کپسول در بوته در آن نیز با افزایش تراکم بیشتر بود. همچنین هیچکدام از تیمارهای آزمایشی در منطقه جیرفت تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول نداشتند (جدول ۴). با این حال در منطقه زابل علاوه بر اثر اصلی فاصله بین گیاهان، اثر متقابل سال در فاصله بین ردیف‌ها در فاصله بین گیاهان ($Yr \times A \times B$) در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). برش‌دهی این اثر متقابل نشان می‌دهد که در سال اول آزمایش در تیمار فاصله بین ردیف‌های ۳۰ سانتی‌متری افزایش فاصله بین گیاهان با افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول همراه بوده است (شکل ۴).

این روند در سال دوم با شدت کمتری تکرار شد. در سایر تیمارهای فاصله بین ردیف‌ها روند مذکور مشاهده نشد و در اکثر موارد با افزایش فاصله بین گیاهان به ۱۴ سانتی‌متر از تعداد دانه در کپسول کاسته شد (شکل ۴). همچنین در هر دو منطقه افزایش تراکم کاشت با کاهش تعداد دانه در کپسول همراه بود (شکل ۳). با این حال شدت این کاهش در مقایسه با صفت تعداد کپسول در بوته با شیب کمتری ادامه داشت.

در تراکم‌های بالاتر (در این پژوهش بیشتر از ۴۰ بوته در مترمربع) به دلیل رقابت بیشتر بین دانه‌های در حال نمو جهت دریافت آسمیلات‌ها، تعدادی از دانه‌ها در ابتدای تکامل سقط شده و از بین می‌روند و در نتیجه تعداد دانه در کپسول کاهش می‌یابد. در بررسی تأثیر سه آرایش کاشت 60×10 سانتی‌متر، 60×15 سانتی‌متر و 75×10 سانتی‌متر به ترتیب با تراکم‌های متناظر ۱۷، ۱۱ و ۱۳ بوته در مترمربع گزارش شده است که با کاهش تراکم تعداد دانه در کپسول افزایش می‌یابد و بیشترین تعداد دانه در کپسول (۶۴ عدد) مربوط به آرایش کاشت 60×15 سانتی‌متر بود (Raikwar and Srivastva, 2013).

از آنجا که با افزایش تراکم، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول کاهش پیدا می‌کند، بنابراین افت عملکرد تک بوته با افزایش تراکم قابل پیش‌بینی است، اما این کاهش اجزای عملکرد در تک بوته با افزایش تعداد

کاهش شدید بود (شکل ۱). در زابل افزایش تراکم بوته تا ۴۰ بوته در مترمربع ارتفاع بوته را افزایش داد اما افزایش بیشتر تراکم موجب کاهش این صفت شد (شکل ۱).

با افزایش تراکم، سایه‌اندازی بوته‌ها بر یکدیگر زیاد شده و میزان اکسین در گیاهانی که در سایه قرار دارند کمتر توسط نور تجزیه می‌شود و این افزایش اکسین منجر به افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Ijoyah et al., 2016). با این حال به نظر در کشت‌های خیلی متراکم (بیش از ۴۰ بوته در مترمربع) به دلیل فشار رقابتی بین گیاهان توانایی بوته‌ها برای افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد.

در هر دو منطقه جیرفت و زابل اثر متقابل سال در فاصله بین ردیف‌ها در فاصله بین گیاهان ($Yr \times A \times B$) بر تعداد شاخه فرعی در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در جیرفت علاوه بر اینکه تعداد شاخه فرعی در سال اول اجرای آزمایش در مقایسه با سال دوم بیشتر بود، با افزایش فاصله بین ردیف‌ها و فاصله بین گیاهان بر تعداد شاخه فرعی افزوده شد (شکل ۲). در زابل و در سال اول بیشترین تعداد شاخه فرعی در آرایش کاشت‌های 60×11 سانتی‌متر و 60×14 سانتی‌متر (چهار عدد) و در سال دوم در آرایش کاشت 45×11 سانتی‌متر (پنج عدد) ثبت شد (شکل ۲).

همچنین در هر دو منطقه با افزایش تراکم کاشت تعداد شاخه فرعی کاهش یافت (شکل ۱). این نتایج با یافته‌های برخی از پژوهشگران (Sangma et al., 2022) مطابقت دارد. در تراکم‌های بالا به دلیل رقابت بین بوته‌های مجاور، گیاه ترجیح می‌دهد که تعداد شاخه فرعی کمتری تولید کند در حالی که کشت در فواصل بین ردیف و بین گیاهی عریض‌تر موجب می‌شود که نور به عمق پوشش گیاهی نفوذ کند، جوانه‌های جانبی را تحریک کرده و تعداد شاخه‌های فرعی را افزایش دهد.

تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول

در منطقه جیرفت اثر فاصله بین گیاهان و اثر متقابل $A \times B$ در سطح آماری پنج درصد بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). در منطقه زابل صرفاً اثر سال بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل $A \times B$ در منطقه جیرفت نشان می‌دهد که گرچه در هر سه فاصله بین ردیف‌های کاشت، افزایش فاصله بین گیاهان موجب افزایش

بوته در واحد سطح جبران شده و از این رو در تراکم‌های بالاتر، تعداد دانه بیشتری در واحد سطح تولید می‌گردد.

جدول ۴- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در جیرفت و زابل

Table 4- Analysis of variance (mean square) of traits measured in Jiroft and Zabol

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	جیرفت Jiroft								زابل Zabol					
		ارتفاع H	تعداد شاخه فرعی SB	تعداد کپسول در گیاه CP	تعداد دانه در کپسول SC	وزن هزار دانه SW	عملکرد دانه SY	درصد روغن دانه OP	عملکرد روغن OY	ارتفاع H	تعداد شاخه فرعی SB	تعداد کپسول در گیاه CP	تعداد دانه در کپسول SC	وزن هزار دانه SW	
سال Yr	1	253 ^{ns}	26.5 [*]	420 ^{ns}	60.5 ^{ns}	0.07 ^{ns}	265356 ^{ns}	3.55 ^{ns}	45050 ^{ns}	2080 ^{ns}	2.00 ^{ns}	4334 [*]	338 ^{ns}	0.84 ^{ns}	83708 ^{ns}
تکرار در سال R(Yr)	4	26.2	0.01	47.9	28.1	0.004	13972	7.69	2307	766	0.09	18.1	9.25	0.004	1795
فاصله بین ردیف A	2	8.84 ^{ns}	0.59 ^{ns}	656 ^{ns}	195 ^{ns}	0.008 ^{ns}	252467 [*]	1.04 ^{ns}	48821 ^{**}	580 [*]	3.23 ^{ns}	228 ^{ns}	138 ^{ns}	0.57 ^{ns}	3438 ^{ns}
سال × فاصله بین ردیف Yr×A	2	86.2 ^{ns}	1.82 ^{**}	128 ^{ns}	29.2 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2727 ^{ns}	1.09 ^{ns}	489 ^{ns}	10.2 ^{ns}	2.46 ^{ns}	263 ^{ns}	108 ^{ns}	0.07 ^{ns}	9146 ^{ns}
خطای اول R×A(Yr)	8	13.8	0.10	13.2	6.08	0.005	28690	4.92	6898	155	0.25	9.55	21.8	0.08	5018
فاصله روی ردیف B	3	90.8 [*]	0.25 ^{ns}	888 [*]	9.03 ^{ns}	0.15 [*]	273770 ^{**}	1.64 ^{ns}	64502 [*]	36.3 ^{ns}	5.46 ^{ns}	232 ^{ns}	80.1 [*]	0.72 [*]	17317 ^{ns}
سال × فاصله روی ردیف Yr×B	3	3.64 ^{ns}	0.04 ^{ns}	97.5 ^{ns}	15.3 ^{ns}	0.01 ^{ns}	8240 ^{ns}	1.88 ^{ns}	2693 ^{ns}	4.23 ^{ns}	2.02 ^{ns}	99.8 ^{ns}	9.03 ^{ns}	0.05 ^{ns}	3183 ^{ns}
خطای دوم R×B(Yr)	12	7.33	0.05	19.4	19.6	0.01	9816	1.21	1672	117	0.13	21.0	7.26	0.04	3050
فاصله بین ردیف × فاصله روی ردیف A×B	6	58.8 ^{ns}	0.04 ^{ns}	90.8 [*]	14.1 ^{ns}	0.02 ^{ns}	66455 ^{**}	1.18 ^{ns}	14442 ^{**}	74.3 ^{ns}	0.86 ^{ns}	17.2 ^{ns}	52.6 ^{ns}	0.07 ^{ns}	5117 ^{ns}
سال × فاصله بین ردیف × فاصله روی ردیف Yr×A×B	6	17.3 ^{ns}	0.11 ^{**}	13.6 ^{ns}	21.1 ^{ns}	0.03 ^{**}	1519 ^{ns}	1.68 ^{ns}	328 ^{ns}	19.2 ^{ns}	1.67 ^{**}	42.1 ^{ns}	32.1 [*]	0.08 ^{ns}	3835 ^{ns}
خطای سوم Error	24	10.8	0.01	19.5	18.0	0.007	14242	2.63	3529	46.6	0.19	28.6	11.05	0.06	2585
ضریب تغییرات C.V.(%)		3.28	6.01	6.09	7.02	2.93	10.30	3.52	11.13	10.84	15.10	14.89	9.59	12.07	13.36

Yr: سال، R: تکرار، A: فاصله بین ردیف، B: فاصله روی ردیف، df: درجه آزادی، H: ارتفاع، SB: تعداد شاخه فرعی، CP: تعداد کپسول در بوته، SC: تعداد دانه در کپسول، SW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه، OP: درصد روغن دانه، OY: عملکرد روغن

Yr: Year ; R: Replication; A: Distance between rows ; B: Distance of plants on the rows; df: degree of freedom; H: Height; SB: Number of Secondary Branch ; CP: Number of Capsule in Plant; SC: Number of Seed in Capsule ; SW: 1000-Seed Weight; SY: Seed Yield ; OP: Seed Oil Percentage; OY: Oil Yield;

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns: غیر معنی‌دار

* , ** Significant at the 0.05, 0.01 probability level, respectively. ns: non-significant

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی

Table 5- Mean comparison of main effects of experimental treatments

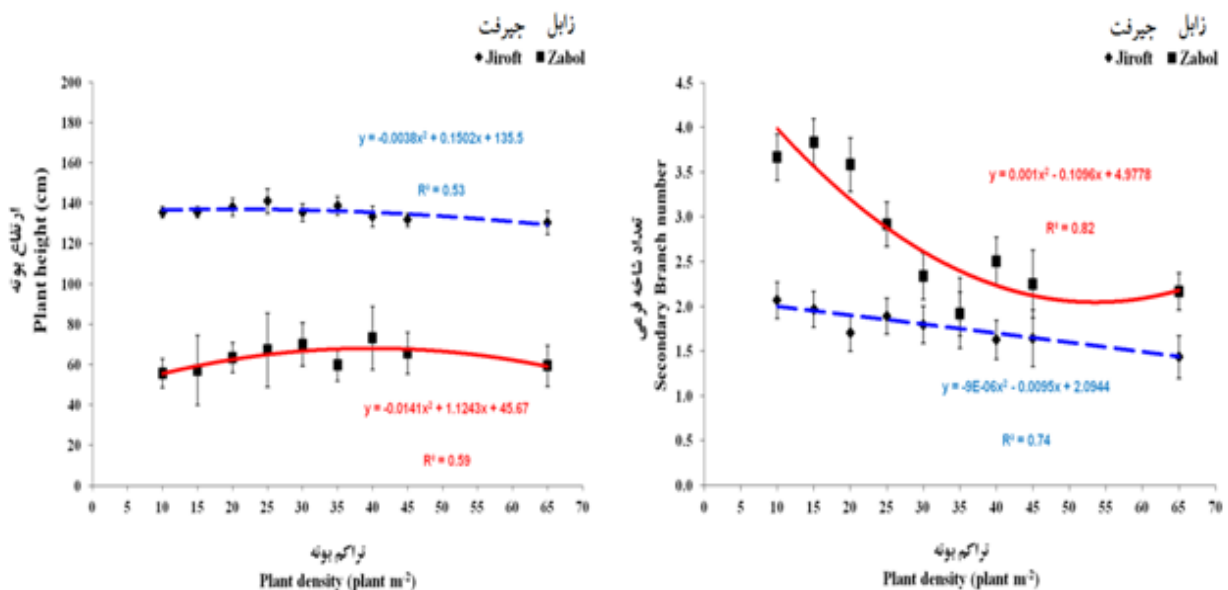
		جیرفت Jiroft								زابل Zabol					
		ارتفاع Height (cm)	تعداد شاخه فرعی SB	تعداد کپسول در گیاه CP	تعداد دانه در کپسول SC	وزن هزار دانه SW (g)	عملکرد دانه SY (kg ha ⁻¹)	درصد روغن دانه OP (%)	عملکرد روغن OY (kg ha ⁻¹)	ارتفاع Height (cm)	تعداد شاخه فرعی SB	تعداد کپسول در گیاه CP	تعداد دانه در کپسول SC	وزن هزار دانه SW (g)	عملکرد دانه SY (kg ha ⁻¹)
فاصله	30	135 a	2 c	67 a	58 a	2.91 a	1225 a	46 a	563 a	67 a	3 a	33 a	33 a	1.98 a	375 a
بین ردیف	45	135 a	3 b	72 a	61 a	2.95 a	1208 a	46 a	556 a	64 a	3 a	39 a	36 a	2.27 a	394 a
A (cm)	60	136 a	4 a	78 a	63 a	2.92 a	1040 b	46 a	481 b	58 b	3 a	36 a	31 a	2.22 a	372 a
فاصله	5	134 b	2 b	62 c	59 a	2.79 b	987 c	46 a	451 c	62 a	2 a	31 a	30 b	1.86 b	372 a
بین بوته	8	134 b	2 b	73 b	61 a	2.95 a	1186 b	46 a	547 b	65 a	3 a	37 a	34 a	2.20 a	416 a
B (cm)	11	136 a	3 a	77 a	61 a	2.97 a	1281 a	46 a	594 a	64 a	3 a	37 a	35 a	2.28 a	391 a
B (cm)	14	138 a	3 a	78 a	60 a	3 a	1175 b	46 a	540 b	62 a	3 a	39 a	35 a	2.28 a	343 a
سال	1	134 a	2 b	70 a	61 a	2.89 a	1097 a	46 a	508 a	58 a	3 a	30 b	36 a	2.69 a	414 a
Year	2	137 a	3 a	75 a	60 a	2.96 a	1218 a	46 a	559 a	68 a	3 a	42 a	31 a	2.05 a	346 a

A: فاصله بین ردیف، B: فاصله روی ردیف.

A: Distance between rows ; B: Distance of plants on the rows;

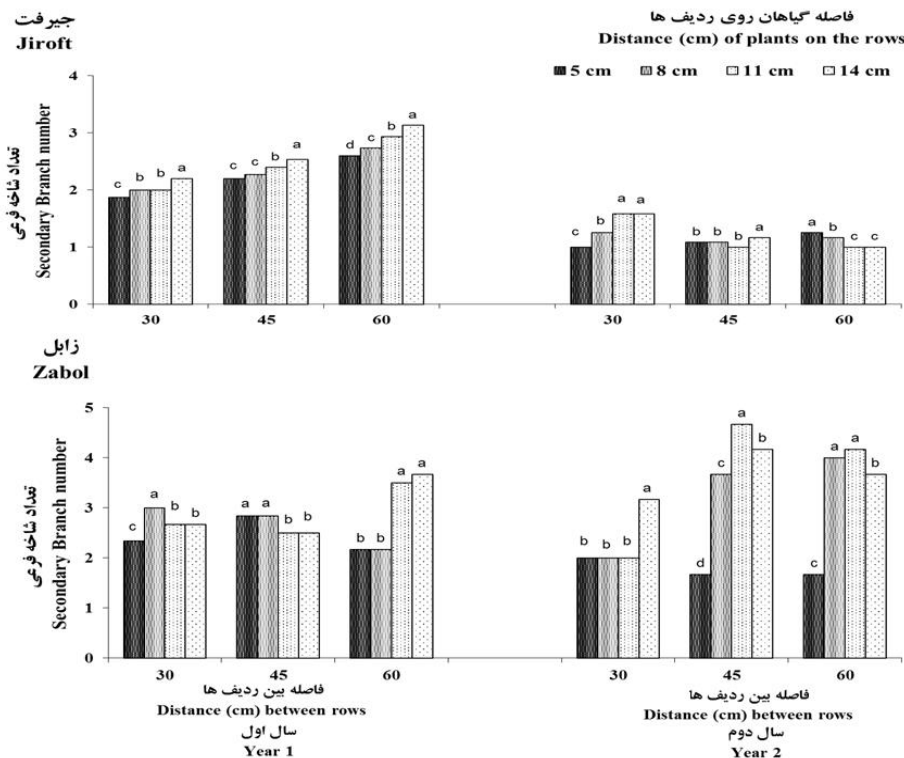
در هر صفت و برای هر تیمار، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

In each trait and for each treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۱- اثر تراکم‌های مختلف بر ارتفاع بوته (سمت چپ) و تعداد شاخه فرعی (سمت راست). ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 1- The effect of different densities on plant height (left) and the number of secondary branch (right). The error bars are the standard deviation.



شکل ۲- برش دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل $Yr \times A \times B$ در صفت تعداد شاخه فرعی در جیرفت و زابل. در هر تیمار فاصله بین ردیف، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 2- Slicing and mean comparing of $Yr \times A \times B$ interaction effect in secondary branch number trait in Jiroft and Zabol. In each distance between rows treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها

Table 6- Mean comparison of interaction effects of treatments

		جیرفت Jiroft		زابل Zabol
فاصله بین ردیف A (cm)	فاصله روی ردیف B (cm)	تعداد کپسول در گیاه CP	عملکرد روغن OY (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه SY (kg ha ⁻¹)
30	5	54 c	399 c	347
	8	64 b	603 ab	392
	11	73 a	664 a	395
	14	77 a	585 b	365
45	5	65 b	504 b	365
	8	73 a	569 ab	439
	11	77 a	604 a	414
	14	74 a	547 ab	357
60	5	68 c	450 a	402
	8	82 a	470 a	417
	11	79 b	516 a	363
	14	81 a	489 a	305

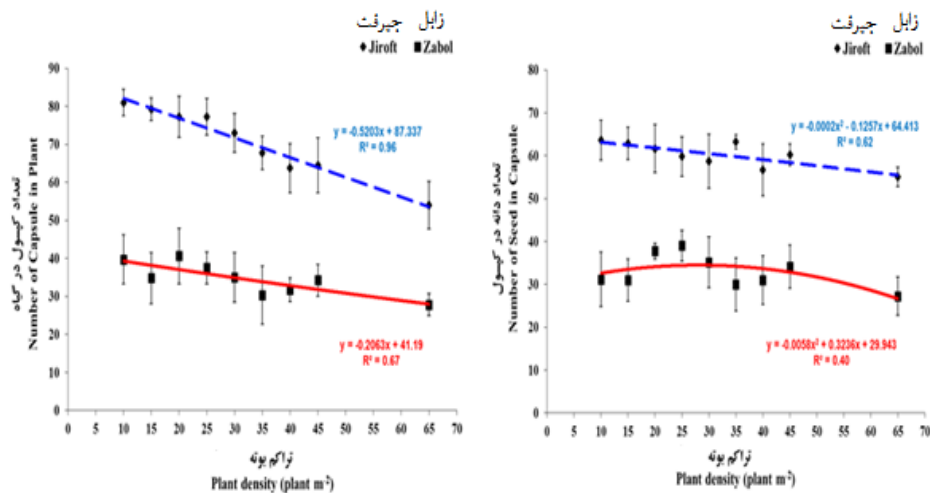
A: فاصله (سانتی‌متر) بین ردیف، B: فاصله (سانتی‌متر) روی ردیف، CP: تعداد کپسول در بوته، OY: عملکرد روغن، SY: عملکرد دانه

A: Distance (cm) between rows; B: Distance (cm) of plants on the rows; CP: Number of Capsule in Plant ; OY: Oil Yield ; SY: Seed Yield; در هر صفت و در هر تیمار فاصله بین ردیف، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

In each trait and in each A treatment (distance between rows), means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

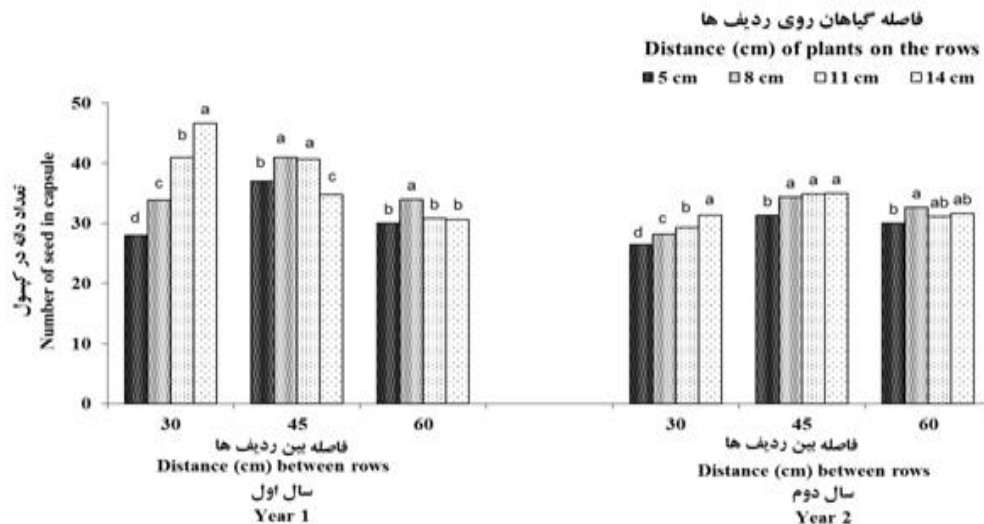
در صفاتی که میانگین‌ها حروف‌گذاری نشده‌اند، اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبوده است.

In traits where means are not lettered, the interaction effect of $A \times B$ was not significant.



شکل ۳- اثر تراکم‌های مختلف بر تعداد کپسول در گیاه (سمت چپ) و تعداد دانه در کپسول (سمت راست). ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 3- The effect of different densities on number of capsule in plant (left) and the number of seed in capsule (right). The error bars are the standard deviation.



شکل ۴- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل $Yr \times A \times B$ در صفت تعداد دانه در کپسول در زابل. در هر تیمار فاصله بین ردیف، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 4- Slicing and mean comparing of $Yr \times A \times B$ interaction effect in number of seed in capsule trait Zabol. In each distance between rows treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

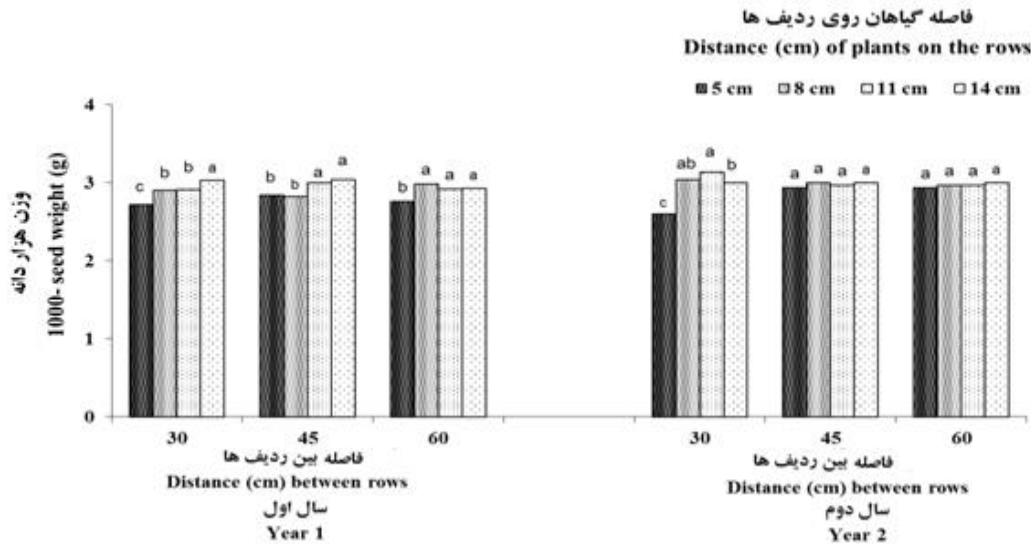
هر دو سال آرایش کاشت 30×5 سانتی‌متر حداقل وزن هزار دانه را دارا بود (شکل ۵). همچنین علاوه بر اینکه وزن دانه‌ها در منطقه جیرفت در مقایسه با زابل سنگین‌تر بود، با شیب کمتری نیز به افزایش تراکم کاشت پاسخ داد (شکل ۶). با این حال در هر دو منطقه سبک‌ترین دانه‌ها از متراکم‌ترین کاشت (۶۵ بوته در مترمربع) حاصل شد. گزارش شده است که با کاهش فاصله ردیف و افزایش تراکم، وزن هزار دانه کنجد افزایش می‌یابد (Oloniruha *et al.*, 2021). همچنین کاهش وزن هزار دانه کنجد با افزایش تراکم از ۲۰ به ۴۰ بوته در مترمربع توسط سایر

وزن هزار دانه

اثر اصلی فاصله بین گیاهان در هر دو منطقه و اثر متقابل سال در فاصله بین ردیف‌ها در فاصله بین گیاهان در منطقه جیرفت بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). در زابل افزایش فاصله بین گیاهان با افزایش وزن هزار دانه همراه بود با این حال بین سه تیمار فاصله ۸، ۱۱ و ۱۴ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). در جیرفت بیشترین وزن هزار دانه به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش در آرایش کاشت 45×14 سانتی‌متر و 30×11 سانتی‌متر ثبت شد درحالی‌که در

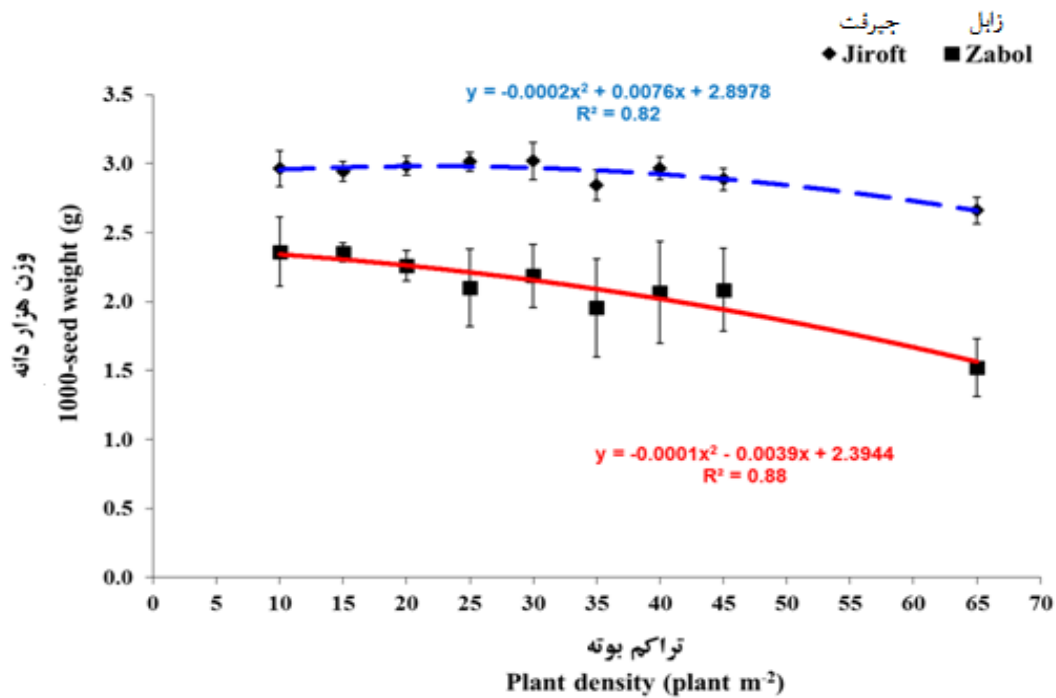
(Tamiru *et al.*, 2019)، زیرا در تراکم‌های بالا، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی روی برگ‌های قسمت میانی و پایینی گیاه بیشتر می‌شود.

پژوهشگران (Öztürk and Şaman, 2012) نیز گزارش شده است. علت کاهش وزن دانه‌ها در شرایطی که بوته‌ها نزدیک هم باشند می‌تواند در اثر کاهش شدید فتوسنتز خالص باشد



شکل ۵- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل $Yr \times A \times B$ در صفت وزن هزار دانه در زابل. در هر تیمار فاصله بین ردیف، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 5- Slicing and mean comparing of $Yr \times A \times B$ interaction effect in 1000-seed weight trait Zabol. In each distance between rows treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۶- اثر تراکم‌های مختلف بر وزن هزار دانه. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 6- The effect of different densities on 1000-seed weight. The error bars are the standard deviation.

در منطقه جیرفت تا آستانه تراکمی ۳۳ بوته در مترمربع افزایش یافته و به حداکثر مقدار برابر با ۱۳۱۷ کیلوگرم در هکتار می‌رسد و پس از آن با افزایش بیشتر تراکم کاشت از مقدار عملکرد دانه کاسته می‌شود (شکل ۸). در منطقه جیرفت به همان نسبت که تراکم‌های کم از عملکرد دانه می‌کاهد، کشت‌های متراکم (بیشتر از ۳۳ بوته در مترمربع) نیز در حصول به عملکرد مطلوب ناتوان هستند. به‌ویژه آنکه تراکم‌های خیلی بالا (۶۵ بوته در مترمربع) حداکثر عملکرد را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که اگرچه افزایش تراکم بوته منجر به کاهش دو جزء مهم عملکرد یعنی تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول شد و در نتیجه عملکرد تک بوته کاهش یافت. اما افزایش تعداد بوته در واحد سطح تا حد تراکم بهینه توانست کاهش در عملکرد تک بوته را جبران کند. گزارش شده است که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، سایه‌انداز گیاه سریع‌تر بسته شده، جذب نور بیشتری صورت گرفته و در نتیجه گیاه در واحد سطح ماده خشک بیشتری تولید می‌کند و این امر منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Lakew *et al.*, 2018). بنابراین در زراعت کنجد نیز ایجاد یک تراکم گیاهی کافی و یکنواخت برای دستیابی به عملکرد دانه بالا ضروری است. نتایج حاکی از آن است که تراکم بهینه‌ای وجود دارد که در کشت‌های متراکم‌تر از آن به دلیل افزایش رقابت بین بوته‌ها و در کشت‌های تنک‌تر از آن به دلیل عدم بهره‌برداری مناسب از منابع، امکان دستیابی به حداکثر عملکرد مقدور نمی‌باشد.

از طرف دیگر نتایج نشان داد که ژنوتیپ وارداتی متحمل به ریزش پتانسیل مطلوبی برای کشت در منطقه زابل ندارد به این دلیل که متوسط عملکرد (میانگین دو سال آزمایش ۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و حتی حداکثر عملکرد آن (میانگین حداکثر عملکرد دو سال آزمایش ۴۵۵ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با متوسط عملکرد منطقه (۸۳۳ کیلوگرم در هکتار) به نقل از (Anonymous, 2023) پایین‌تر است. در مقابل در منطقه جیرفت متوسط عملکرد این ژنوتیپ (میانگین دو سال آزمایش ۱۱۵۸ کیلوگرم در هکتار) با متوسط عملکرد منطقه (۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به نقل از (Anonymous, 2023) برابری داشته و حداکثر عملکرد حاصله از این ژنوتیپ (میانگین حداکثر عملکرد دو سال آزمایش ۱۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از متوسط عملکرد کنجد در منطقه جیرفت

با افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر، میزان مواد حاصل از فتوسنتز در مقایسه با کربوهیدرات‌های مصرف شده در تنفس کمتر بوده و در نتیجه برگ‌های قرار گرفته در سایه به جای آنکه تولید کننده باشند خود به‌صورت یک مقصد فیزیولوژیک عمل کرده و رقیب دانه‌ها برای مصرف کربوهیدرات‌های ساخته شده توسط برگ‌های بالایی می‌شوند. در این شرایط مقدار آسمیلات‌هایی که به دانه منتقل می‌شود کاهش می‌یابد و در نهایت وزن هزار دانه کم می‌شود (Sangma *et al.*, 2022).

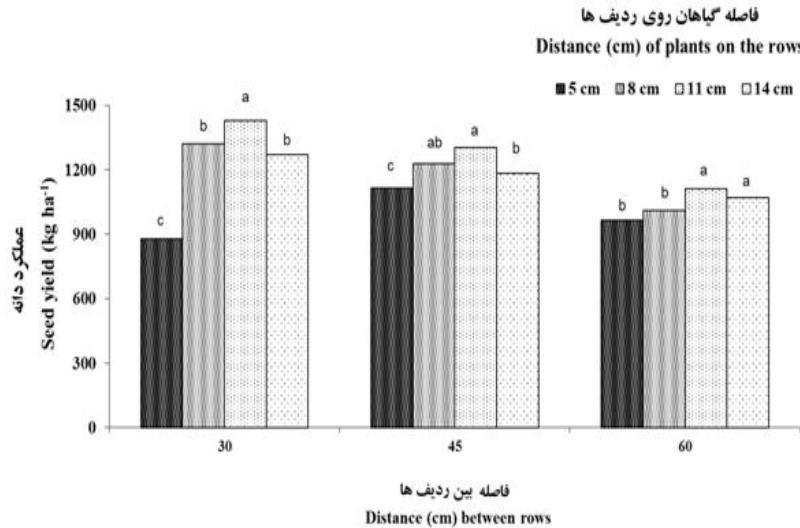
عملکرد دانه

علاوه بر اثر اصلی تیمارهای آزمایشی، اثر متقابل آنها نیز بر عملکرد دانه در منطقه جیرفت معنی‌دار بود (جدول ۴). در مقابل این صفت در منطقه زابل تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۴). برش‌دهی اثر متقابل $A \times B$ بر عملکرد دانه در جیرفت نشان می‌دهد که در تمامی سطوح تیماری فاصله بین گیاهان به استثناء فاصله پنج سانتی‌متری، کشت در فواصل ردیف ۳۰ سانتی‌متری در مقایسه با سایر فواصل بین ردیف (۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر) از برتری برخوردار است (شکل ۷). حداکثر عملکرد دانه در این منطقه از آرایش کاشت 30×14 سانتی‌متر به مقدار ۱۴۳۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که به ترتیب در مقایسه با تیمار مشابه در فواصل بین ردیف ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری، ۱۰ و ۲۹ درصد بیشتر بود. این نتایج گواهی است بر این واقعیت که کاهش فاصله بین ردیف‌ها با حفظ فاصله مناسب بین بوته‌ها می‌تواند در حصول به عملکردهای بالا در کنجد مؤثر باشد. اظهار شده است که با کاهش فاصله بین ردیف‌ها، عملکرد کنجد افزایش پیدا می‌کند (Lakew *et al.*, 2018). سایر پژوهشگران نیز بیان داشتند که بیشترین عملکرد دانه کنجد زمانی بدست آمد که کشت در فواصل نزدیک به هم (آرایش کاشت 30×10 سانتی‌متر) انجام شد (Golla, 2020).

از طرف دیگر بررسی پاسخی عملکرد دانه به تراکم‌های مختلف در این دو منطقه نشان می‌دهد که اولاً عملکرد دانه در منطقه زابل تا سه برابر کمتر از منطقه جیرفت بود و همچنین عملکرد دانه در زلیل واکنش مشخصی به افزایش یا کاهش تراکم نشان نداد (شکل ۸). این در حالی است که عملکرد دانه

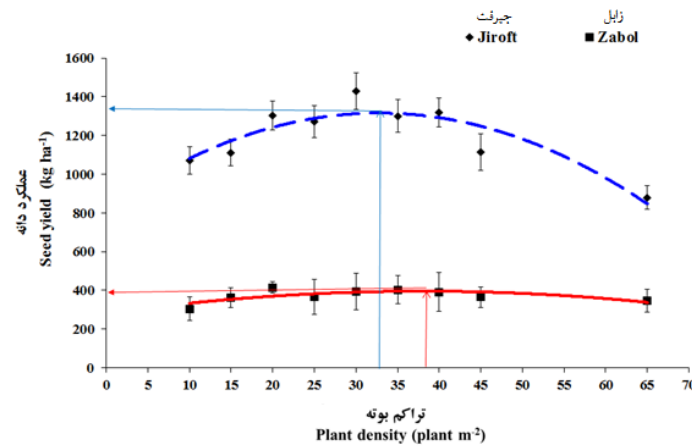
در هزینه‌های زراعت این کنگد صرفه‌جویی می‌شود (Sadeghi Garmaroodi et al., 2023) که برای اقتصاد زارع بسیار حایز اهمیت است.

بیشتر است. بنابراین این ژنوتیپ پتانسیل مناسبی برای کشت در منطقه جیرفت دارد. ذکر این نکته نیز قابل توجه است که با توجه به ویژگی تحمل به ریزش این ژنوتیپ و امکان برداشت مکانیزه آن، به طور متوسط هکتاری چهار تا شش میلیون تومان



شکل ۷- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل A×B در صفت عملکرد دانه در جیرفت. در هر تیمار فاصله بین ردیف، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 7- Slicing and mean comparing of A×B interaction effect in seed yield trait in Jiroft. In each distance between rows treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).



	معادله رگرسیون Regression eq.	R ²	تراکم بهینه Optimal Density (plant m ⁻²)	حداکثر عملکرد Maximum Yield (kg ha ⁻¹)
جیرفت Jiroft	SY = -0.4520 D ² + 29.622 D + 831	82	33	1316
زابل Zabol	SY = -0.0792 D ² + 6.0221 D + 281	55	38	396

SY: Seed Yield; Optimal Density (Vertical arrows); Maximum Yield (Horizontal arrows)

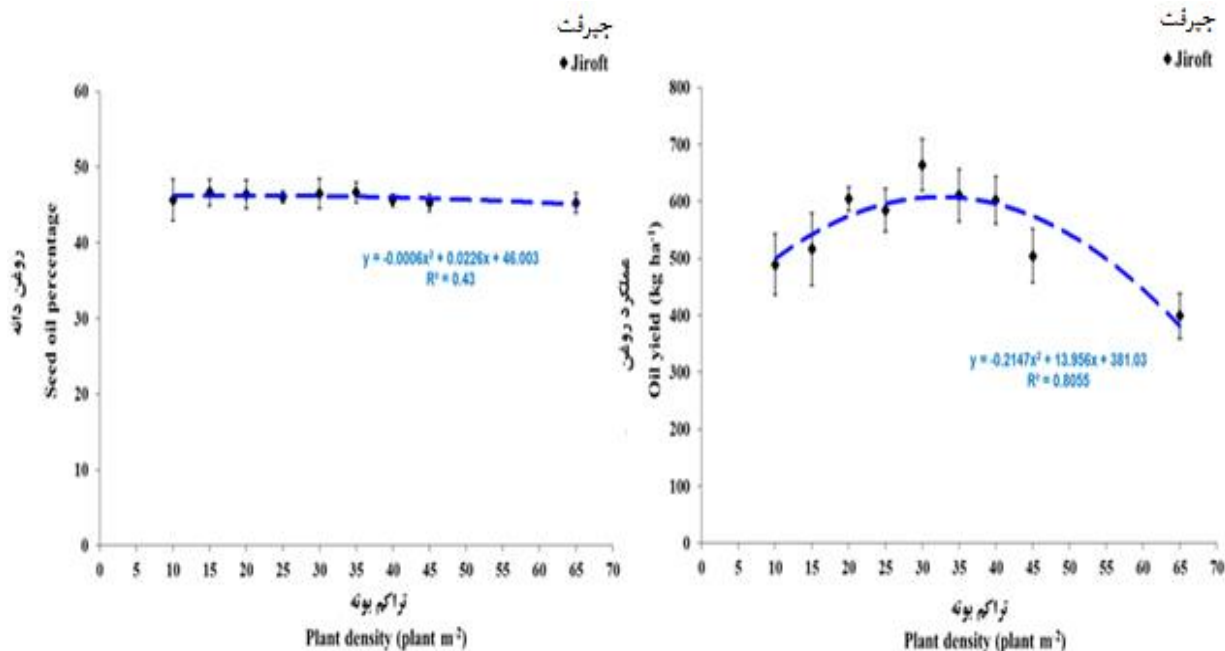
شکل ۸- اثر تراکم‌های مختلف بر عملکرد دانه. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 8- The effect of different densities on seed yield. The error bars are the standard deviation.

افزایش تراکم از ۱۰ به ۳۰ بوته در مترمربع عملکرد روغن را افزایش داد و با افزایش بیشتر تراکم از عملکرد روغن کاسته شد (شکل ۹). گزارش‌های دیگری نیز مشابه با نتایج این تحقیق در خصوص عدم تأثیرپذیری درصد روغن دانه کنجد (Öztürk and Şaman, 2012) و یا سایر دانه‌های روغنی از جمله گلرنگ (Mundel *et al.*, 1994) از تیمارهای آرایش کاشت و یا تراکم در دسترس است. این نتایج اظهارات برخی از پژوهشگران (Hopkins and Hunter, 2004) مبنی بر اینکه صفت محتوی روغن دانه عمدتاً تحت کنترل عوامل ژنتیکی می‌باشد را تایید می‌کند.

درصد روغن دانه و عملکرد روغن

نتایج نشان داد درصد روغن دانه تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۴). در مقابل اثر اصلی تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل آنها بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۴). حداکثر عملکرد روغن به مقدار ۶۶۴ کیلوگرم در هکتار از آرایش کاشت ۳۰×۱۱ سانتی‌متر و حداقل آن به مقدار ۳۹۹ کیلوگرم در هکتار از آرایش کاشت ۳۰×۵ سانتی‌متر بدست آمد (جدول ۶). همچنین درصد روغن در تراکم‌های مختلف تغییرات محسوسی نداشت (شکل ۹) این در حالی است که واکنش عملکرد روغن به صورت تابع درجه دو بود به‌طوری‌که



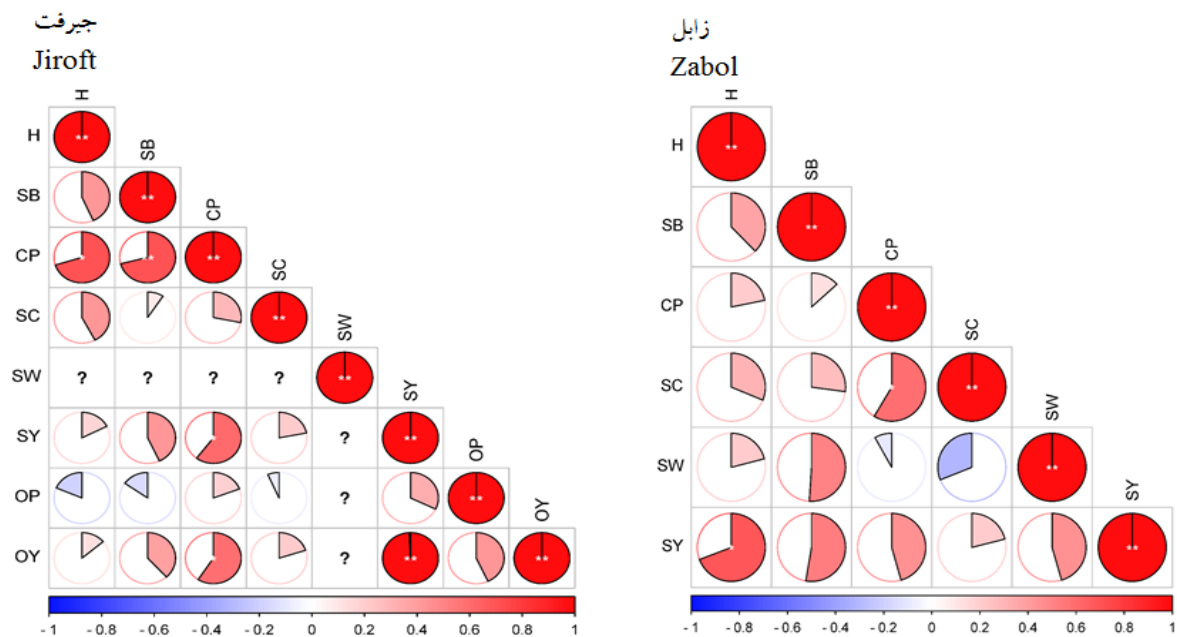
شکل ۹- اثر تراکم‌های مختلف بر درصد روغن دانه (سمت چپ) و عملکرد روغن (سمت راست). ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 9- The effect of different densities on seed oil percentage (left) and oil yield (right). The error bars are the standard deviation.

دیگر همراه است، همانند آنچه در روابط اجزای عملکرد سایر گیاهان زراعی نیز دیده می‌شود (Azanaw and Singh, 2023). همچنین همبستگی عملکرد روغن با عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد روغن با درصد روغن دانه بیش از سه برابر بود (شکل ۱۰). این نتایج گواه این مطلب است که عملکرد روغن به‌عنوان یک صفت تعیین کننده در گیاهان دانه روغنی بیشتر وابسته به عملکرد دانه است تا درصد روغن دانه. علاوه بر این هیچ یک از صفات مورد بررسی حتی عملکرد روغن با درصد روغن دانه همبستگی معنی‌داری نداشتند (شکل ۱۰).

همبستگی بین صفات

در بین صفات اندازه‌گیری شده در هر دو منطقه، بالاترین همبستگی مستقیم و معنی‌دار عملکرد دانه به ترتیب در منطقه چیرفت و زابل با صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه فرعی بود (شکل ۱۰). در هر دو منطقه اگرچه به صورت غیر معنی‌دار ولی بین وزن هزار دانه و تعداد دانه در کپسول همبستگی منفی مشاهده شد (شکل ۱۰). این نتایج تایید کننده روابط جبرانی حاکم بر اجزاء عملکرد کنجد است به‌نحوی که افزایش یک جزئی عملکرد با کاهش یافتن جزئی



شکل ۱۰- همبستگی بین صفات در منطقه جیرفت (سمت چپ) و زابل (سمت راست). * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

Figure 10- Correlation between traits in Jiroft (left) and Zabol (right). *, ** Significant at the 0.05, 0.01 probability level, respectively.

H: ارتفاع، SB: تعداد شاخه فرعی، CP: تعداد کیسول در بوته، SC: تعداد دانه در کیسول، SW: وزن هزار دانه، SY: عملکرد دانه، OP: درصد روغن دانه، OY: عملکرد روغن

H: Height; SB: Number of Secondary Branch; CP: Number of Capsule in Plant; SC: Number of Seed in Capsule; SW: 1000-Seed ; OP: Seed Oil Percentage; OY: Oil Yield ; SY: Seed Yield Weight

می‌سازد. حداکثر عملکرد دانه بدست آمده از این ژنوتیپ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از متوسط عملکرد کنجد در منطقه جیرفت بیشتر بود. بنابراین ژنوتیپ متحمل به ریزش بویژه در آرایش کشت ۱۴×۳۰ سانتی متر پتانسیل قابل قبولی برای کشت در منطقه جیرفت دارد.

سپاسگزاری

از مسئولان محترم مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به خاطر تأمین هزینه‌های اجرایی این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد عملکرد دلنه ژنوتیپ وارداتی متحمل به ریزش در منطقه زابل تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت. همچنین پتانسیل عملکرد این ژنوتیپ در منطقه زابل در مقایسه با متوسط عملکرد کنجد در این منطقه پایین‌تر بود و بنابراین کشت این ژنوتیپ در منطقه زابل توجیهی ندارد. در منطقه جیرفت نه تنها عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت بلکه حداکثر عملکرد دانه در این منطقه از آرایش کشت مربع مستطیلی با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی متر و فاصله بین گیاهان ۱۴ سانتی متر حاصل شد که اهمیت کشت در فواصل بین ردیف باریک را در زراعت کنجد خاطر نشان

References

- Afe, A.I., 2014. Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by population density of component cowpea in a cowpea-sesame mixture. *Journal of Experimental Agriculture International*, 17(1), pp.1-6. doi: 10.9734/jeai/2017/32221
- Ajibola, A.T. and Kolawole, G.O., 2019. Agronomic evaluation of performance of sesame varieties in maize-based

- cropping system in the southern guinea savanna of Nigeria. *Journal of Experimental Agriculture International*, 37(3), pp.1-10. doi: **10.9734/jeai/2019/v37i330269**
- Andargie, M., Vinas, M., Rathgeb, A., Möller, E. and Karlovsky, P., 2021. Lignans of sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review. *Molecules*, 26, pp.883-987. doi: **10.3390/molecules26040883**
- Anonymous, 2023. Agricultural statistics of 2022. The first volume: Crops. Vice President of Statistics, Information Technology Center. Ministry of Jahade Keshavarzi. [In Persian].
- Azanaw, M. and Singh, S., 2023. Exploiting morpho-physiological variation driven by plant density to maximize sesame (*Sesamum indicum* L.) yield and oil production in Northwest Ethiopia. *Russian Agricultural Sciences*, 49, pp.405–412. doi: **10.3103/s1068367423040043**
- Golla, W.N., 2020. Yield performance of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties at different levels of plant population in optimum moisture areas of Western Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 10, pp.16–21. doi: **10.7176/jbah/104-03**
- Hopkins, W.G. and Hunter, N.P., 2004. Introduction to plant physiology. 3rd ed. John Wiley and Sons publication. New York, United States. 541 pp.
- Ijoyah, M.O., Anyogo, J.O. and Ugese, F.D., 2016. Yield response of maize (*Zea mays* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) intercrop as influenced by planting densities and varieties of sesame at Makurdi, Nigeria. *World Scientific News*, 37, pp.25-49. doi: **10.452/g1588367548763**
- Lakew, S., Ayalew, D. and Assefa, F., 2018. Optimum inter-row spacing and seeding rate of sesame for harnessing the maximum productivity potential in dry land area of Abergelle District, Northeast Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), pp.148-158.
- Langham, D.R. 2012. Non-dehiscent sesame IND variety Sesaco 33. US Patent Application. No. 8,207397 B1.
- Mundel, H.H., Morrison R.J., Entz ,T., Blackshaw, R.E., Roth, B.T., Kiehn, F. and Vandenberg, A., 1994. Row spacing and seeding rates to optimize safflower yield on the Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, pp.319-321. doi: **10.4141/cjps94-060**
- Oloniruha, J.A., Ogundare, S.K. and Olajide, K., 2021. Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by plant population density and organo-mineral fertilizer rates. *Agro-Science*, 20(1), pp.15–21. doi: **10.4314/as.v20i1.3**
- Öztürk, O. and Şaman, O., 2012. Effects of different plant densities on the yield and quality of crop sesame. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6, pp.644–649. doi: **10.5281/zenodo.1082385**
- Raikwar, R.S. and Srivastva, P., 2013. Productivity enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) through improved production technologies. *African Journal of Agricultural Research*, 8, pp.6073–6078. doi: **10.5897/ajar2013.6782**
- Sadeghi Garmaroodi, H., Gholamhoseini, M. and Habibzadeh, F., 2023. Sesame production, challenges and approaches. Emam Khomeini International University Publication. Qazvin, Iran. 268 pp. [In Persian].
- Sangma, D.M., Longkumer, L.T., Singh, A.P. and Virosanuo, S., 2022. Effect of planting density and integrated

nutrient management in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agricultural Science Digest*, 42, pp.26–31. **doi: 10.18805/ag.d-5247**

Tamiru, D., Brehanu, W., Fikeremariam, T. and Getnet, A., 2019. Determination of optimum spatial arrangement and plant population in sesame sorghum intercropping. *International Journal of Development Research*, 29(8), pp.192-291. **doi: 10.225548/ijdr-5547**

Yield evaluation of a shattering tolerant sesame genotype grown under different planting arrangements and densities in the hot and dry climate of the South East

Majid Gholamhoseini^{1*}, Ahmad Aein², Behnam Bakhshi³, Saadollah Mansouri¹, Farnaz Shariati¹

¹ Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

² Horticulture Crops Research Department, South of Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kerman, Iran

³ Horticulture Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

*Corresponding Author: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir

Received: 7 May 2023

Accepted: 5 July 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.396251.1341

Abstract

Introduction: Despite the desirable nutritional profile of sesame and the appropriate adaptation of this crop to the country's climatic conditions, the cultivation of this crop is not given that attention compared to other oilseeds. Because of its highly variable seed yield further agronomic research and management strategies are critical to improve sesame quantitative and qualitative yield. Planting arrangements and planting density are the most important agronomic practices that need attention. In addition, like many other sesame-producing countries, Iran has numerous local sesame populations adapted to their respective production regions' climatic and soil conditions. However, these populations are not suitable for large-scale cultivation and mechanized farming. In 2016, a sesame genotype resistant to seed shattering was imported into the Iran suggesting its potential contribution to sesame cultivation programs in the country. Due to the lack of comprehensive information to answer the questions rose regarding the planting arrangement and suitable planting density of the imported shattering tolerant sesame genotypes, this research was planned and executed.

Materials and Methods: Field experiments were conducted in Sistan and Baluchistan (Zabol) located at 61° 41' longitude and 30° 54' latitude, with an elevation of 492 meters above sea level and Kerman (Jiroft) located at 57° 51' longitude and 28° 32' latitude, with an elevation of 1100 meters above sea level provinces in 2021 and 2022. In this study, the effects of row spacing (30, 45, and 60 cm) and plant spacing (5, 8, 11, and 14 cm) were investigated on growth characteristics (plant height, number of sub-branches), seed yield, yield components, oil percentage and oil yield of a shattering tolerant sesame genotype. In each location, the experimental design was a randomized complete block design arranged in split blocks (strips) with three replications. The collected data were analyzed using SAS software (version 9.4), and Bartlett's test confirmed homogeneity in the variance of all studied traits. The mean values for both years were presented since the data were consistent. It is important to note that the data from each region were analyzed separately due to inconsistent variances between regions. Statistical significance was determined using an F-test, and protected LSD was used to separate the main effects when necessary. Furthermore, significant interaction effects were separated using the slicing method.

Results and Discussion: The results showed that seed yield was not affected by experimental treatments in the Zabol region. In the Jiroft region, the results indicated that in all the treatments of plant spacing, cultivation in row spacing of 30 cm was significantly superior compared to other row spacing (45 and 60 cm). The maximum seed yield in this area (1430 kg ha⁻¹) was obtained from the planting arrangement of 14 × 30 cm, which was 10 and 29% higher, compared to the same treatment in the row spacing of 45 and 60 cm, respectively. Also, the results indicate that the seed yield in Zabol did not show a specific reaction to the increase or decrease in density. In contrast, seed yield in the

Jiroft region increased up to the density threshold of 33 plants per square meter, and after that, seed yield was reduced with a further increase in planting density.

Conclusion: This research showed that the yield potential of the imported shattering tolerant sesame genotype in the Zabol region was lower than the average yield in this region. Therefore cultivation of this genotype in the Zabol region is not suitable. In the Jiroft region, the maximum seed yield obtained from this genotype was up to 300 kg ha⁻¹, higher than the average yield of sesame in the Jiroft region. Therefore, the shattering tolerant genotype, especially in the 30 × 14 cm cultivation arrangement, has a good potential for cultivation in the Jiroft region.

Keywords: Row spacing, Seed oil percentage, Seed yield, Yield components

ارزیابی کارایی شاخص‌های WAASBY، WAASB و مدل اثرهای مختلط خطی (LMM) برای شناسایی ژنوتیپ‌های عدس پر محصول سازگار با مناطق دیم

پیام پزشکیپور^{۱*}، محمد آرمیون^۲، برزو رستمی^۳

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: papezeshkpour@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.376438.1301

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

چکیده

ادغام دو روش ارزیابی پایداری بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) و اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش‌های ضرب‌پذیر (AMMI) در آزمایش‌های ناحیه‌ای بر پایه شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، به ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌های گیاهی و دستیابی به نتایج دقیق‌تر کمک می‌کند. در پژوهش حاضر پایداری ۱۸ ژنوتیپ پیشرفته عدس، در سه منطقه خرم‌آباد (لرستان)، زنجره (ایلام) و سرارود (کرمانشاه) طی سه سال زراعی (۱۳۸۹-۹۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر پایه نتیجه آزمون درست‌نمایی نسبی (LRT)، امکان تجزیه داده‌ها به روش BLUP وجود داشت. بر این اساس بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۲ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۴، ۱۹، ۵ و ۱ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده بیشتر از میانگین کل داشتند. به‌منظور فراهم کردن امکان‌پذیر هم‌زمان بر اساس عملکرد و پایداری، با تلفیق دو شاخص عملکرد دانه و پایداری WAASB، شاخص WAASBY به دست آمد. با در نظر گرفتن سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، ۱۴ ژنوتیپ دارای WAASBY بالاتر از میانگین بودند. مقدار WAASBY به‌ویژه در مورد ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲، ۴، ۶، ۱ و ۳ به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و بر این اساس به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. در مجموع با توجه به استفاده از مدل مختلط و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY، به نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: بای پلات، تجزیه مقادیر منفرد، گزینش هم‌زمان، میانگین وزنی نمرات مطلق

مقدمه

کمک‌کنند، چرخه‌های بیماری را مختل کرده و به‌طور کلی به ایجاد محیط تولید بهتر برای سایر محصولات، کمک کند (Gan *et al.*, 2017). یکی از دلایل اصلی کاهش کشت عدس فقدان ارقام اصلاح‌شده و پایداری ضعیف آن‌ها در شرایط مختلف محیطی است (Zaccardelli *et al.*, 2010). حدود ۹۵ درصد سطح زیرکشت عدس در کشور به‌صورت دیم می‌باشد که عملکرد آن تابعی از میزان و پراکنش بارش‌های آسمانی می‌باشد. بروز تغییرات اقلیمی طی سال‌های اخیر و تغییر در میزان و پراکنش بارش‌های جوی، عوامل مهم محدودکننده عملکرد عدس در شرایط دیم می‌باشند و در این راستا دستیابی به رقم‌هایی که سازگاری مناسبی با این شرایط داشته باشند، حائز

عدس منبع مهم پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی انسان است (Karakov *et al.*, 2012). علاوه بر این، غنی از مواد معدنی و کربوهیدرات است که گاه آن علوفه با ارزشی برای حیوانات را فراهم می‌کند (Muehlbaure *et al.*, 2006; Sarker and Singh, 2003). عدس از بقولات دانه‌ای سرمادوست است که عموماً در مناطق معتدل نیمه‌خشک کشت می‌گردد (Sánchez-Gómez *et al.*, 2019). ورود بقولات دانه‌ای مانند عدس در سیستم‌های زراعی و تناوب با سایر محصولات، می‌تواند از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفر به خاک، به پایداری چرخه نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک

WAASB^۲ بر اساس انحراف مطلق است که منجر به افزایش استحکام و عدم حساسیت به داده‌های پرت می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019 a).

تجزیه AMMI (بر اساس روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی یا تجزیه مقادیر منفرد) بر روی ماتریس بهترین پیش بینی‌های ناریب خطی (BLUP ها) از برهمکنش‌های ژنوتیپ × محیط حاصل از یک مدل اثر مختلط خطی (LMM) انجام شده است و به بیانی دیگر بخشی از مزیت‌های دو روش AMMI و BLUP با یکدیگر ترکیب شده‌اند. برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در مدل‌های مختلط از جمله مزیت‌های عمده روش BLUP می‌باشد (Olivoto *et al.*, 2019 b). افزون بر این در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را امکان‌پذیر می‌سازد (Smith *et al.*, 2005). روش BLUP کارایی خود را در بهبود دقت پیش‌بینی اثرهای تصادفی ثابت کرده است (Piepho *et al.*, 2008). ادغام دو روش BLUP و AMMI موجب افزایش کارایی هر دو روش می‌شود و یافته‌های حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق‌تر تفسیر خواهند شد (Ajay and Singh, 2021). روش BLUP این ویژگی را دارد که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط، تخمین بزند (Nardino *et al.*, 2016; Olivoto *et al.*, 2019 a; Olivoto *et al.*, 2019 b).

در روش BLUP، در وهله نخست اثرهای مدل ANOVA تخمین زده می‌شوند و سپس وزن‌هایی به این اثرها داده می‌شود. در گیاهان زراعی مانند ذرت (Baretta *et al.*, 2016) و نیشکر (Barbosa *et al.*, 2014)، روش‌های مبتنی بر BLUP در ارزیابی کارایی ژنوتیپ‌ها و پیش‌بینی دقیق اجزای واریانس ژنوتیپی مؤثر بوده‌اند.

میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات (WASSB) BLUP و مقدار میانگین عملکرد، انتخاب همزمان برای ارزیابی و پایداری را از طریق یک شاخص برتر به نام WASSBY تسهیل می‌کند (Olivoto *et al.*, 2019 a). در پژوهش‌هایی مختلفی برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط در عدس گزارش شده است (Sellami *et al.*, 2021; Shobeiri *et al.*, 2021; Tadesse)

اهمیت می‌باشد. توزیع نامناسب بارندگی و کاهش بارندگی از عوامل عمده کاهش عملکرد عدس در واحد سطح است (Pezeshkpour *et al.*, 2021)، بنابراین به‌کارگیری ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط نامساعد محیطی، می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد در چنین شرایطی داشته باشد (Karakov *et al.*, 2012). معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مورد ویژگی‌های کمی همچون عملکرد دانه، موجب کاهش همبستگی فنوتیپی، ژنوتیپی و محدودیت در پیشرفت فرایند گزینش ژنوتیپ برتر می‌شود و بنابراین در فرایند گزینش باید مورد توجه قرار گیرد (Meng *et al.*, 2016). برهمکنش ژنوتیپ × محیط موجب ناپایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون می‌شود و تابعی از متغیرهای گوناگون آگرو-اکولوژیکی، اقلیمی، زراعی و ژنتیکی می‌باشد. ژنوتیپی که در شرایط محیطی گوناگون عملکرد بالا و پایداری داشته باشد به‌عنوان ژنوتیپی پایدار و سازگار شناخته می‌شود (Pawar *et al.*, 2010). رایج‌ترین روش آماری به‌منظور ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط در آزمایش‌های یکنواخت سراسری چند محیطی، تجزیه مرکب می‌باشد. البته مؤثر بودن این روش منوط به یکنواختی واریانس خطا و افزایشی بودن اثرها می‌باشد و در صورت نقض این شرایط، موجب خطا در برآورد برهمکنش ژنوتیپ × محیط می‌شود. (Elias *et al.*, 2016).

ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط با دو روش پارامتری (تک متغیره و چند متغیره) و ناپارامتری انجام می‌گیرد. سرعت فرآیندهای به‌نژادی برای صفات کمی در گیاهان زراعی، وابسته به وجود برهمکنش‌های ژنوتیپ × محیط است و هر چه این واکنش‌ها بیشتر باشند، گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس فنوتیپ مشکل‌تر خواهد بود (Sharifi, 2020). این برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌ویژه برای عملکرد دانه، به‌عنوان یک صفت کمی پیچیده از اهمیت بیشتری برخوردار است (Elias *et al.*, 2016). تحت آزمایش‌های عملکرد چند ناحیه‌ای، عملکرد تحت تأثیر ساختار ژنتیکی، شرایط محیطی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرد (Yan *et al.*, 2006).

مدل پایداری AMMI^۱ که متداول‌ترین مدل پایداری مورد استفاده است، بر اساس انحراف مربع است، برعکس شاخص

² - Weighted average of absolute scores; WAASB

¹ - Additive main effect and multiplicative interaction (AMMI)

۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به هنگام آماده‌سازی زمین، به‌طور یکنواخت در کرت‌های آزمایشی مصرف شد. بذرهاى ارقام و ژنوتیپ‌های آزمایش قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از بیماری‌های قارچی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان بذر مصرفی ۲۰۰ دانه در متر مربع تعیین شد. کاشت بذرها در چهار خط به طول چهار متر و به فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر انجام شد.

کلیه عملیات داشت شامل کود دهی و وجین به‌صورت یکسان برای همه کرت‌ها انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ به‌صورت وجین دستی و با استفاده از کولتیواتور دستی در دو مرحله در طول دوره رشد رویشی انجام شد. برداشت محصول پس از حذف حاشیه شامل دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۱/۷۵ مترمربع انجام شد. قبل از تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی واریانس خط‌های آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام شد. آزمون نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری‌شده، با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف و نرم‌افزار MINITAB16 انجام شد.

هر محیط ترکیبی از سال و مکان بود؛ بنابراین، ۹ محیط برای تجزیه و تحلیل پایداری ۲۰ ژنوتیپ انتخاب شد. با ثابت در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر محیط، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت. برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپی، از تجزیه مقادیر منفرد، بر روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی برهمکنش‌های ژنوتیپ × محیط^۱ با یک مدل اثر مختلط خطی استفاده شد. در محاسبه شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی (Best linear unbiased predictors, BLUPs)، تجزیه AMMI به‌جای اینکه بر روی داده‌های خام انجام گیرد بر روی بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی انجام می‌شود و به نحوی دو روش AMMI و BLUP در یکدیگر تلفیق می‌شوند. در این محاسبات از آماره‌های تجزیه AMMI و نیز آماره‌های مبتنی بر تجزیه AMMI بر ماتریس برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌دست‌آمده از بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی استفاده شد.

گوناگون تک متغیره پارامتری و ناپارامتری و چند متغیره، پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارزیابی شده است. پژوهش‌های اندکی درباره برآورد ارزش‌های ژنوتیپی در آزمایش‌های چند محیطی با BLUP گزارش شده است (Bermeio *et al.*, 2020; Karimizadeh *et al.*, 2020;) (Karimizadeh *et al.*, 2021; Selammi *et al.*, 2021) اما مدل‌سازی الگوهای برهمکنش ژنوتیپ × محیط با روش‌های تجزیه GGE بای‌پلات و AMMI در عدس (Jeberson *et al.*, 2019; Karimizadeh and Mohammadi, 2010; Karimizadeh *et al.*, 2020; Pezeshkpour *et al.*, 2021; Tadesse *et al.*, 2021) و دیگر گیاهان مانند نخود (Azam *et al.*, 2020) بیشتر انجام شده است.

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی مدل‌های استفاده شده در تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول عدس سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم معتدل کشور با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف AMMI و ترکیب دو روش AMMI و BLUP با شاخص‌های WAASB و WAASBY و همچنین ترسیم نمودارهای مختلف برای درک بهتر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بوده است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۸ ژنوتیپ پیش‌رفته عدس دانه‌درشت که از آزمایش‌های مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌های پیش‌رفته عدس اقلیم معتدل در سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه دو رقم شاهد کیمیا و گچساران در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب چنگائی خرم‌آباد (لرستان)، زنجیره (ایلام) و سرارود (کرمانشاه) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۸۹) مورد ارزیابی قرار گرفتند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقاتی مذکور در جدول ۲ به نمایش درآمده است. زمین مورد کشت تحت تناوب غلات-حبوبات دیم بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. کود مورد نیاز به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و

^۱ -Genotype × environment interaction (GEI)

جدول ۱- اسامی ارقام و ژنوتیپ‌های امیدبخش عدس مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Names of promising cultivars and genotypes of lentils used in the experiment

نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	کد ژنوتیپ
Genotype Name	Genotype code	Genotype Name	Genotype code
FLIP2006-9L	G11	FLIP2006-37L	G1
FLIP2006-10L	G12	FLIP2003-5L	G2
Flip2007-34L	G13	FLIP2003-5L	G3
Flip2007-11L	G14	FLIP2006-10L	G4
Flip2004-56L	G15	FLIP2003-29L	G5
Flip20073L	G16	FLIP2003-16L	G6
Flip2006-3L	G17	FLIP2004-26L	G7
Flip2005L	G18	FLIP2004-55L	G8
کیمیا	G19	FLIP2005-4L	G9
گچساران	G20	FLIP2005-6L	G10

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی و هواشناسی مکان‌های آزمایشی

Table 2- Geographical and meteorological characteristics of the experimental locations

مکان	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین دمای سالانه	میانگین بارندگی سالانه
Location	Altitude (m)	Longitude	latitude	Average annual temperature (°C)	Average annual rainfall (mm)
خرم‌آباد سال اول				15.1	364.25
Khorramabad first year					
خرم‌آباد سال دوم	1125	48°28'E	33 39 ' N	11.27	294.15
Khorramabad second year					
خرم‌آباد سال سوم				12.42	363.6
Khorramabad third year					
ایلام سال اول				16.51	385.1
Ilam first year					
ایلام سال دوم	975	46°36' E	33 47 ' N	15.36	329.3
Ilam second year					
ایلام سال سوم				17	396.1
Ilam third year					
سرارود سال اول				7.09	351.4
Sararod first year					
سرارود سال دوم	1351	47°20'E	34° 20 ' N	9.58	302.7
Sararod second year					
سرارود سال سوم				10.84	394.9
Sararod third year					

وزنی نمرات مطلق حاصل از تجزیه ارزش منفرد ماتریس، پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها ارزیابی گردید (Olivoto *et al.*, 2019 a). در تمام این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های با مقادیر پایین این شاخص‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شدند. اجزای واریانس با روش حداکثر درست نمایی محدود شده^۱ برآورد شدند و برای ارزیابی معنی‌داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست نمایی^۲ به کار گرفته شد.

تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی (Metan (Olivoto, 2019) و GGE (Wright and Laffont, 2018) در نرم‌افزار R انجام شد. از پارامترهای تجزیه امی و همچنین پارامترهای مبتنی بر تجزیه AMMI که شامل WAASB و WAASBY روی ماتریس برهمکنش ژنوتیپ × محیط حاصل از بهترین پیش‌بینی نارایب خطی بر اساس رابطه‌های ۱ و ۱ استفاده شد. با استفاده از میانگین

² - Likelihood Ratio Test, LRT

¹ - Restricted maximum likelihood, REML

که با توجه به تفاوت‌های زیاد بین محیط‌های آزمایشی از نظر ویژگی‌های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجهی است. نتایج تحقیقات محققان روی سایر گیاهان نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می‌شود (Karimizadeh *et al.*, 2021; Barrios *et al.*, 2016; Akbari *et al.*, 2021; Yadav *et al.*, 2016; Abo – Hegazy *et al.*, 2013). ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده‌ها نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از محیط‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ در تمام محیط‌های مطالعه شده معنی‌دار بود (نتایج ارائه نشده‌اند)؛ بنابراین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی دارای تنوع کافی بودند و برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به تجزیه‌های پایدار بود. متوسط عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها ۹۴۰/۷ کیلوگرم در هکتار با دامنه ۷۲۳/۵ (ژنوتیپ ۲۰) و ۱۰۶۶/۴ (ژنوتیپ ۲) بود (جدول ۵). ابتدا تجزیه واریانس ساده (داده‌ها نشان داده نشده است) برای هر محیط انجام و آزمون بارتلت برای بررسی همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایش‌ها نیز انجام شد. با انجام آزمون بارتلت روی داده‌های ۹ محیط، فرض همگنی واریانس خط‌های آزمایش مورد تأیید قرار گرفت. بر اساس آزمون کولموگروف – اسمیرنوف (Sadiyah and Hadi, 2016; Smirnov, 1948) توزیع داده‌ها نرمال بود. با مقایسه داده‌های بارندگی و متوسط درجه حرارت در زمان آزمایش و داده‌های درازمدت، به نظر می‌رسد که بیشترین میزان کاهش عملکرد، ناشی از کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت و به عبارتی عوامل ناشی از تغییرات تصادفی سال می‌باشد. این نتیجه در برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × سال × مکان نیز دیده می‌شود. در شکل ۲- الف، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها به نمایش گذاشته شده است. همان‌گونه که مشخص است، ایستگاه لرستان کمترین تغییر عملکرد کلی را طی سه سال داشت، در حالی که مقدار این تغییرات در ایستگاه‌های ایلام و سرارود بالاست (شکل ۲-ب). این موضوع می‌تواند از نوسان‌های بیشتر در وضعیت اقلیمی سه سال آزمایش در این دو منطقه که واجد اقلیم معتدل هستند، ناشی شود. پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های عدس را در محیط‌های مختلف

(Olivoto *et al.*, 2019b) (۱)

$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k}$$

(Olivoto *et al.*, 2019b) (۲)

$$WAASBY_i = \frac{\{W_Y \times \left[\left(\frac{GY_i}{GY_{max}} \right) \times 100 \right]\} + \left[W_S \times \left(100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}} \right) \right]}{W_Y + W_S}$$

که در آن، WAASBi، میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات ژنوتیپ نام، $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ نام در Kامین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA) و EP_k ، مقدار واریانس توجیه شده توسط Kامین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019 a). WAASBYi میانگین وزنی WAASB و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ نام، W_Y وزن داده‌شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه)، GY_i میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ نام با توجه به تمام محیط‌ها، GY_{max} بالاترین متوسط عملکرد دانه مشاهده شده، W_S وزن نسبت داده شده به شاخص پایداری (در این مورد، شاخص WAASB) و $WAASB_{min}$ ، کمترین مقدار WAASB مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بیان‌گر این است که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به طور قابل توجهی در محیط‌های مختلف، متفاوت هستند (جدول ۳). از اجزای برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ناهمگونی ناشی از شاخص محیطی (اثر خطی) غیر معنی‌دار بود، در حالی که اثر غیر خطی (جزء باقیمانده) معنی‌دار بود. چنین نتیجه‌ای مشابه یافته‌های پیشین بود (Truberg and Huhn, 2000). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تعیین درجه پایداری برای هر ژنوتیپ ضروری است.

واریانس برآورد شده به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط و باقیمانده تفکیک شد. بر اساس اطلاعات جدول ۴ و شکل ۱، ۳۱/۲۶۶ درصد از واریانس توسط برهمکنش ژنوتیپ × محیط توجیه می‌شود، حال آنکه اثر ژنوتیپ، تنها توجیه‌کننده ۱۵/۴۵ درصد از واریانس برآورد شده است. عمده واریانس (۵۳/۲۹ درصد) نیز توسط اثر باقیمانده توجیه گردید. اثر باقیمانده عمدتاً به اثر محیط مربوط می‌شود

(GE) با بهره‌گیری از نمودار موزاییکی از یکدیگر جدا شدند (شکل ۳- الف). در این نمودار که به‌وسیله (Laffont *et al.*, 2019) پیشنهاد شده است، کل مربع نمودار ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است و نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثر ژنوتیپی یا اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد (Laffont *et al.*, 2007) که در این تحقیق ۱۵/۴۵ درصد از تنوع کل است و نواحی با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را نشان می‌دهد که ۸۴/۵۵ درصد از تنوع کل را در بر می‌گیرد (شکل ۳- الف).

ستون‌های این نمودار وابسته به محورهای مؤلفه اصلی است، به‌گونه‌ای که ستون اول در برگزیده ۳۷/۸ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم ۱۹/۱ درصد از مجموع مربعات کل را در بر می‌گیرد. این دو مؤلفه اصلی، با یکدیگر ۵۶/۹ درصد از مجموع مربعات کل، ۶۷/۹ درصد (۱۱/۶ درصد + ۵۶/۳ درصد) از مجموع مربعات ژنوتیپ و ۵۶/۸۸ درصد (۳۷/۸ + ۱۹/۱ درصد) از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را تشکیل می‌دهند. در هر ستون، ردیف‌های نمودار موزاییکی، آن ستون (محور مؤلفه اصلی) را به بخش برآمده از مجموع مربعات ژنوتیپ و بخش برآمده از مجموع مربعات ژنوتیپ × محیط تقسیم می‌کند.

با توجه به اینکه سهم ژنوتیپ (۸۹/۶ درصد) در نخستین محور مؤلفه اصلی بیشتر از اثر ژنوتیپ × محیط (۱۰/۴۴ درصد) است، می‌توان این محور را محور ژنوتیپ نامید و بر اساس آن تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها را از نظر عملکرد دانه با یکدیگر سنجید. مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی دوم، سهم بیشتری از اثرهای ژنوتیپ × محیط (۸۰/۹۲ درصد) را نسبت به اثرهای ژنوتیپ (۱۹/۰۷ درصد) دارد، بنابراین می‌توان این ستون را به‌عنوان محور برهمکنش ژنوتیپ × محیط نام نهاد، هر چند نقش مؤلفه‌های بعدی به‌ویژه چهارم، پنجم و ششم با سهم به ترتیب ۶/۱۱، ۹/۲ و ۵/۱ درصد را نمی‌توان در این برهمکنش نادیده گرفت و باید از آن برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بهره گرفت، بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌ها در رابطه با عملکرد و پایداری باید بر اساس مجموعه مؤلفه‌ها باشد. از آزمون اسکریت^۱ برای شناسایی بهترین شمار مؤلفه‌های

گزارش کرده‌اند (Abo – Hegazy *et al.*, 2013; Abbas *et al.*, 2019; Karimizadeh *et al.*, 2021; Sellami *et al.*, 2021).

برای پی بردن به پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف از نمودار گرمایی استفاده شد (شکل ۳ ج). رنگ تیره‌تر در هر محیط، عملکرد بالاتر ژنوتیپ در آن محیط را نشان می‌دهد. همچنین گروه‌بندی درختی ژنوتیپ و محیط‌ها نیز به ترتیب در محورهای عمودی و افقی نماش داده شده است.

در این نمودار، ژنوتیپ دارای عملکرد یکنواخت در تمام محیط‌ها می‌تواند پایدار باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های ۶، ۲، ۱۹، ۵، ۴ و ۱ را می‌توان پایدار در نظر گرفت. در این نمودار، عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط بیانگر تنوع درون آن محیط است، به‌طوری که هر اندازه رنگ‌های مربوط به ژنوتیپ‌های درون یک محیط متفاوت‌تر باشند، بیانگر گوناگونی بین ژنوتیپ‌های درون آن محیط است.

در محیط‌های ۱، ۴، ۷، ۲ و ۶ ژنوتیپ‌ها از تنوع بیشتری برخوردار بودند. از طرفی دیگر، عملکرد هر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف نیز برای بررسی تنوع در بین محیط‌ها می‌تواند استفاده شود. به‌طوری که ژنوتیپ‌های ۱۶، ۸، ۷ و ۱۵ دارای تنوع بیشتر در محیط‌های مطالعه شده بودند (شکل ۳ ج). بررسی چشمی پراکنش میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مطالعه شده نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در یک محیط و همچنین تفاوت میانگین آن‌ها از محیطی به محیط دیگر است که نشان می‌دهد، گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر پایه عملکرد دانه در یک مکان، از اعتبار بالایی برخوردار نیست و باید برای به دست آوردن یک نتیجه درست، ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف ارزیابی شوند تا پایداری آن‌ها برآورد شود (Finlay and Wilkinson, 1963). پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های عدس را در محیط‌های مختلف گزارش کرده‌اند (Chen *et al.*, 2022; Shobaeiri *et al.*, 2021; Subedi *et al.*, 2021; Tedesse *et al.*, 2021 b).

پیش از تجزیه پایداری، مجموع مربعات کل (TSS) به دو جزء مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ × محیط

^۱ - Screenshot test

توجیه‌کننده برهمکنش ژنوتیپ × محیط استفاده شد.

نتایج نشان داد که تا مؤلفه اصلی چهارم هر کدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ماتریس ژنوتیپ × محیط حاصل از BLUP داشتند (شکل ۴)، به طوری که مؤلفه اصلی اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۳۷/۸، ۱۹/۱، ۱۴/۷ و ۱۱/۲ درصد از تغییرات را توجیه کردند، بنابراین نتایج تجزیه پایداری فقط بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم ممکن است نتایج اشتباهی در پی داشته باشد.

سهم هریک از مؤلفه‌ها در توجیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط در شکل‌های ۳- ب و ۴ نمایش داده شده است. نتایج تجزیه خطی مخلوط نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۴). برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط نشان داد که بیان فنوتیپی عملکرد دانه یک ژنوتیپ ممکن است در یک محیط بیشتر و در محیطی دیگر کمتر باشد (Thennarasu, 1995)، بنابراین، تجزیه BLUP برای چنین داده‌هایی مناسب است (Olivoto *et al.*, 2019a)؛ از این رو اقدام به برآورد بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUP) گردید و تجزیه پایداری به روش AMMI روی این BLUP ها انجام شد. پژوهشگران دیگری نیز برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × محیط را بر عملکرد دانه عدس با تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات گزارش کرده‌اند (dehghani *et al.*, 2008; Karimizadeh *et al.*, 2013) (Akinci *et al.*, 2018).

بسیاری از تلاش‌ها در گام‌های نهایی برنامه‌های به‌نژادی بر آزمایش‌های چند محیطی استوار است، از این رو، دقت پیش‌بینی، برای گزینش درست ژنوتیپ‌ها، توصیه ژنوتیپ‌ها و شناسایی محیط‌های کلان^۱ بسیار مهم است (Olivoto *et al.*, 2019 b)؛ بنابراین برخی از پارامترهای ژنتیکی برآورد شدند که نشان می‌داد میزان وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه در این تحقیق ۰/۰۶۳ بود. ضریب تبیین برهمکنش ژنوتیپ × محیط و میزان وراثت‌پذیری بر میانگین به ترتیب برابر با ۰/۱۲۹۵ و ۰/۶۳۲۶ درصد بود.

دقت گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها نیز به ترتیب ۰/۷۹۵۴ و ۰/۱۳۸۳ بود.

ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقیمانده و همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به ترتیب برابر با ۶/۲۶۴۵ درصد، ۲۳/۰۲ درصد و ۰/۲۸ بود. نسبت برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر اثر ژنوتیپی دو برابر بود.

برای افزایش دقت پیش‌بینی، استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP)، یکی از گزینه‌های پیش روی به‌نژادگران است که تجزیه پایداری به روش AMMI می‌تواند بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto *et al.*, 2019 b). بر اساس نتایج تجزیه واریانس AMMI، اثر محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار بود (جدول ۶).

چهار مؤلفه اصلی اول نقش مهمی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. این مؤلفه‌های اصلی در مجموع ۸۲/۸ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کردند (جدول ۶).

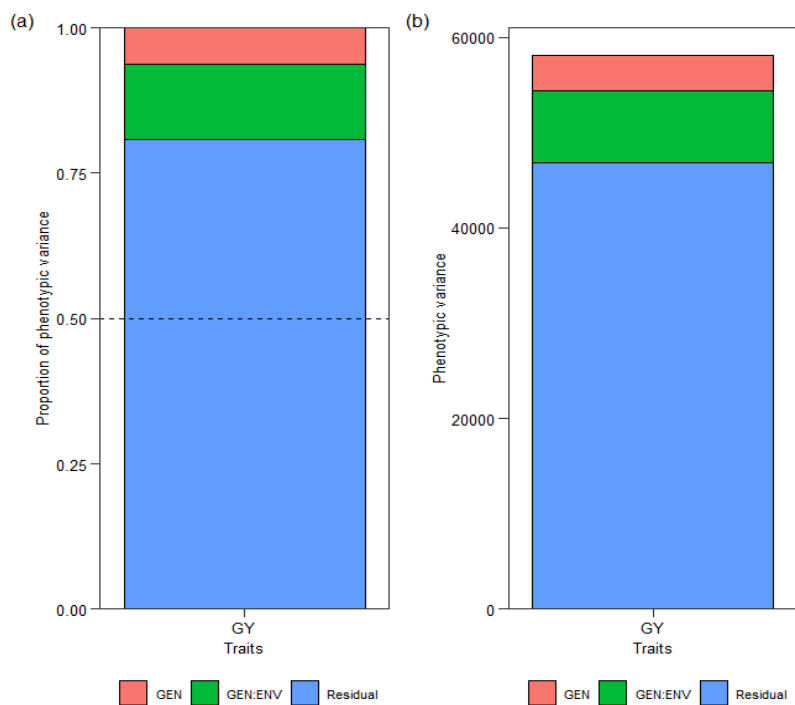
اثر معنی‌دار محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده پیش‌زمینه گسترده مواد ژنتیکی و تنوع مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی است.

نتایج تحقیقات پیشین نیز اثر ژنتیکی و برهمکنش ژنوتیپ × محیط را برای عملکرد دانه عدس گزارش داده‌اند (Abo - Hegazy *et al.*, 2013; Dehghani *et al.*, 2008; Namdari *et al.*, 2022; Shobeiri *et al.*, 2021; Subedi *et al.*, 2021; Tadesse *et al.*, 2021 a).

در شکل ۵، میانگین‌های پیش‌بینی‌شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داده شده است که بیانگر آن است که بالاترین عملکرد پیش‌بینی‌شده با روش BLUP برای ژنوتیپ ۲ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۶، ۴، ۱۹، ۵، ۱، ۱۱، ۱۵، ۳، ۹ و ۱۴ بود که دارای عملکرد پیش‌بینی‌شده‌ی بیشتر از میانگین کل بودند. ژ

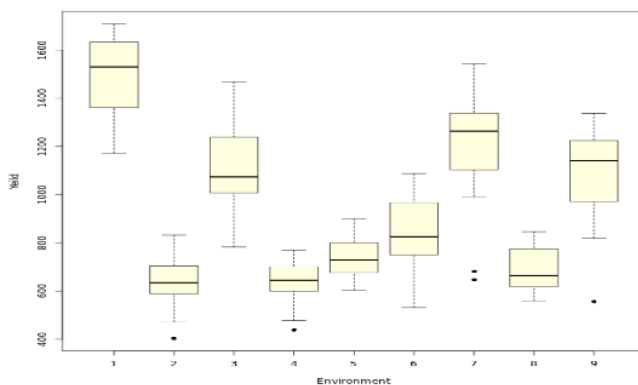
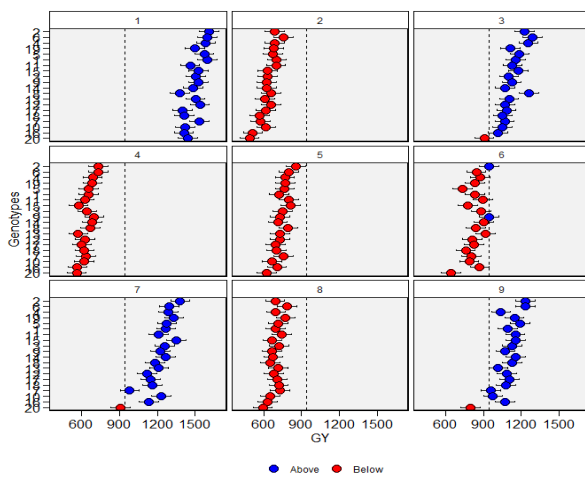
نوتیپ‌های ۸، ۱۴ و ۹ عملکرد پیش‌بینی‌شده بسیار نزدیک به میانگین داشتند و کمترین پیش‌بینی عملکرد با فاصله زیاد از میانگین کل مربوط به ژنوتیپ ۲۰ (رقم شاهد گچساران) بود. در مورد دیگر رقم شاهد یعنی ژنوتیپ ۱۹ (رقم کیمیا) نیز پیش‌بینی عملکردی بالاتر از میانگین صورت گرفت.

^۱ -Mega- environment



شکل ۱- اجزای تنوع در ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی

Figure 1- Components of the diversity of lentil genotypes in multi-environment yield trial



شکل ۲- نمایش باکس پلات میانگین عملکرد دانه (سمت راست ۱- A) و عملکرد ژنوتیپ‌ها (سمت چپ ۱- B) در محیط‌های نه‌گانه

Figure 2- Boxplot showing the average grain yield (A-1-right) and genotypes yield (B-1-left) in nine environments

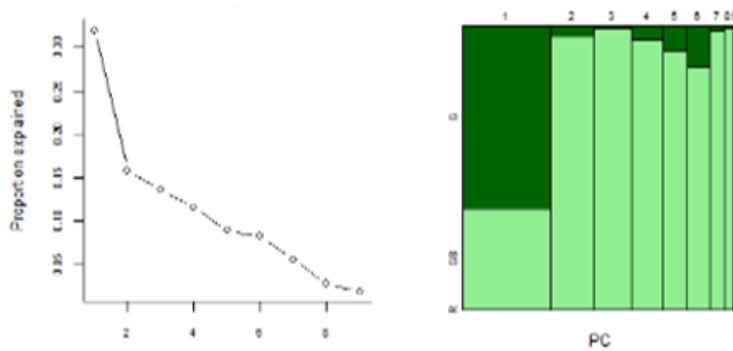
جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه با روش کنگ

Table 3- Analysis of variance of grain yield by kang method

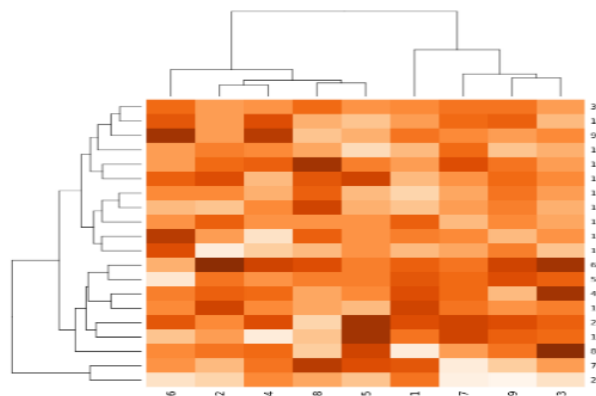
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
S.O.V	df	MS
کل	179	
Total		
ژنوتیپ	19	209281 **
Genotypes		
محیط	8	7339509 **
Environments		
برهمکنش ژنوتیپ × محیط	152	76968 **
Interaction G×E		
ناهمگونی	19	82386 ^{ns}
Heterogeneity		
باقیمانده	133	76194 **
Residual		
خطای ادغام شده	3249	46897
Pooled Error		

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively



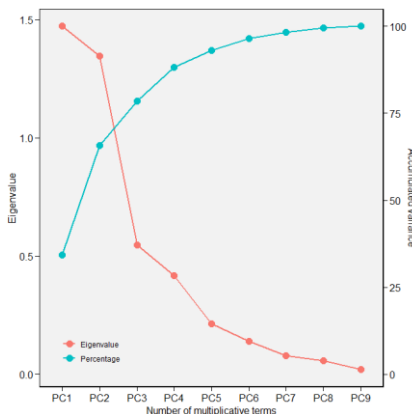
الف و ب



ج

شکل ۳- پیش تجزیه‌های برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI). الف. نمودار موزاییکی جهت نمایش سهم مؤلفه‌ها از واریانس G+GE، ب. ریشه مشخصه ماتریس GEI، ج. نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها.

Figure 3- Pre -an alysis of GEI. a. Mosaic plot for indication of PCs contribution in G+GE; b. Eigenvalues of the BLUP_GEI matrix; c. Heatmap plot for yield of genotypes in environments;



شکل ۴ - مقادیر ویژه ماتریس BLUP GEI عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی

Figure 4- Eigenvalues of the Blup-GEI matrix of seed yield of lentil genotypes in multi- environment yield trial

جدول ۴- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده در ژنوتیپ‌های عدس

Table 4- Evaluation of significance of factors by LRT (χ^2) and estimation of variance components by REML in lentil genotypes

آماره Statistics	آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio test	
	ژنوتیپ در محیط G × E	ژنوتیپ G
کای اسکور χ^2	44.832	19.315
مقدار احتمال p- Value	2.147e-11	1.108e-05
اجزای واریانس Variance components		
پارامترهای برآورد شده به روش درست‌نمایی محدودشده	برآوردها (Estimates (%))	
REML		
واریانس ژنوتیپی GEN σ^2 g	2803 (15.45)	
واریانس ژنوتیپ در محیط σ^2 i GEN:ENV	5671 (31.26)	
واریانس باقیمانده σ^2 e Residual	96697 (53.29)	
واریانس فنوتیپی σ^2 P Phenotypic variance	58095	
وراثت‌پذیری عمومی h ² g Heritability	0.06340	
ضریب تشخیص اثرهای برهمکنش ژنوتیپ در محیط R ² GEI	0.1295	
وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی h ² mg	0.6326	
دقت انتخاب ژنوتیپ As	0.7954	
همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها rge	0.1383	
ضریب تغییرات ژنوتیپی (%) CVg	6.453	
ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده (%) CVe	23.02	
نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقیمانده CVg/CVe ratio	0.2803	
انحراف معیار Standard deviation	378.4	
خطای استاندارد Standard error	14.11	

جدول ۵- عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ‌های عدس در محیط‌های آزمایشی

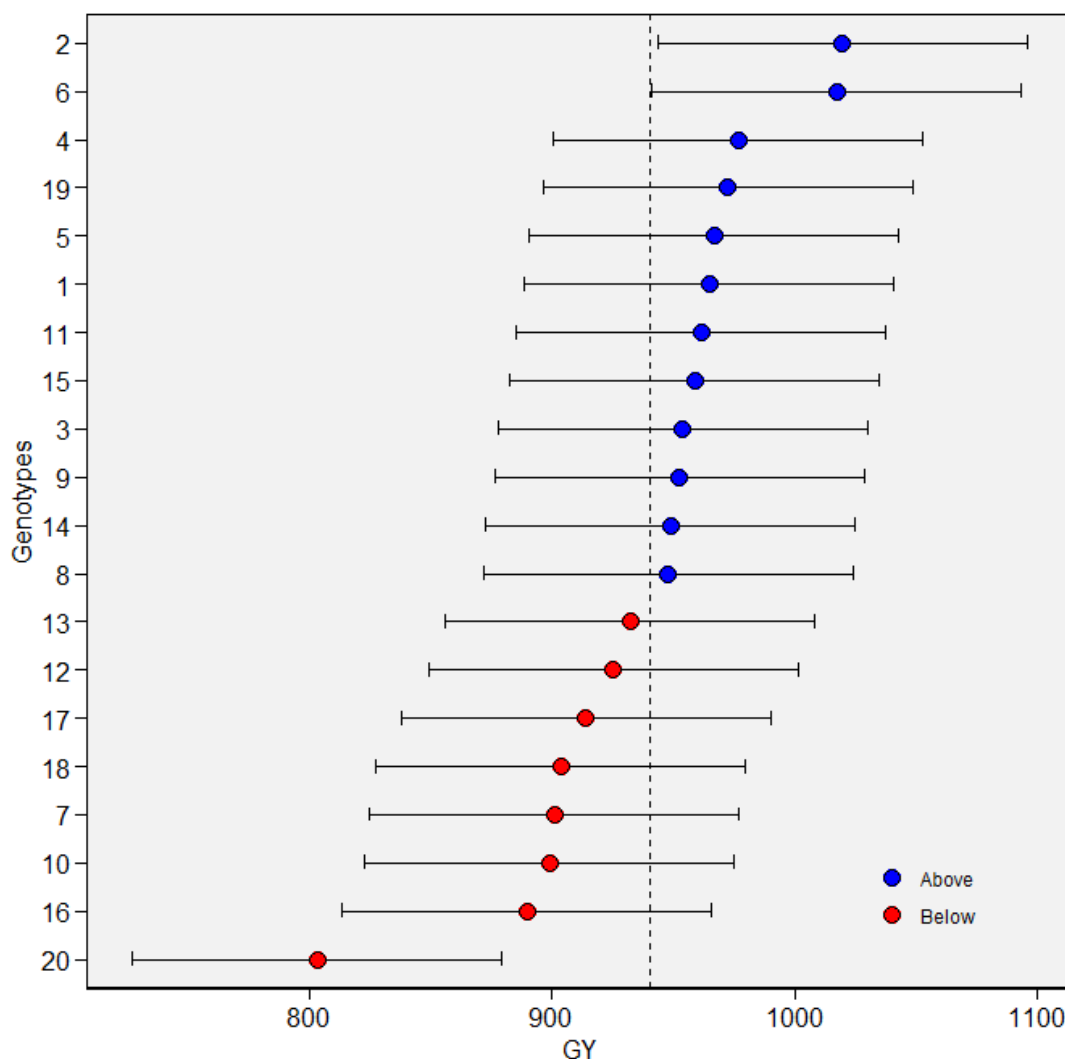
Table 5- Seed Yield (kg ha⁻¹) of lentil genotype in experimental environments

کد ژنوتیپ Genotype code	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	میانگین ژنوتیپ Mean of genotype	بهره‌وری از بارش Precipitation productivity (kg m-3)
1	1708.50	772.25	1165.00	636.00	667.00	825.00	1320.50	651.00	1050.50	977.31	2.76
2	1661.00	642.25	1263.50	743.25	898.75	983.75	1520.50	559.50	1324.75	1066.36	3.02
3	1496.50	603.25	1050.50	624.00	734.50	925.00	1313.25	745.25	1165.00	961.92	2.72
4	1661.50	707.25	1409.00	698.75	748.75	870.00	1349.00	642.25	899.25	998.42	2.82
5	1644.25	684.00	1245.25	628.75	761.75	531.25	1334.75	705.25	1307.50	982.53	2.78
6	1623.00	832.00	1430.00	750.50	759.25	731.25	1299.25	800.75	1337.75	1062.64	3.01
7	1645.75	536.25	1045.25	682.00	839.00	818.75	682.00	839.00	818.75	878.53	2.49
8	1172.25	681.00	1468.75	694.25	862.25	825.00	1120.75	576.50	1170.50	952.36	2.69
9	1545.00	590.25	1107.75	769.25	685.25	1087.50	1227.50	599.50	1027.75	959.97	2.72
10	1357.00	660.25	1006.50	642.25	603.75	775.00	1327.50	643.75	859.25	875.03	2.48
11	1365.00	761.75	1108.75	560.50	852.75	950.00	1170.75	782.00	1216.25	974.19	2.76
12	1617.25	712.50	1008.75	622.25	723.00	800.00	992.25	676.50	1096.25	916.53	2.59
13	1518.50	587.50	1087.00	477.25	722.50	1056.25	1227.50	758.00	915.00	927.72	2.62
14	1442.50	590.00	974.50	735.00	646.00	987.50	1341.75	631.00	1239.00	954.14	2.70
15	1542.25	597.75	1232.25	438.50	895.50	650.00	1542.25	597.75	1232.25	969.83	2.74
16	1349.50	403.25	931.00	527.00	722.25	1001.25	1085.00	605.25	1117.75	860.25	2.43
17	1286.75	626.75	1060.75	577.50	660.00	850.00	1085.00	766.50	1176.50	898.86	2.54
18	1332.00	517.50	1001.00	647.75	685.25	693.75	1141.75	812.25	1112.25	882.61	2.50
19	1440.00	702.00	1051.00	703.50	760.50	768.75	1470.50	846.50	1179.00	991.31	2.80
20	1562.25	470.75	782.50	646.75	645.00	556.25	646.75	645.00	556.25	723.50	2.05
Mean	1498.54	633.93	1121.45	640.25	743.65	834.31	1209.93	694.18	1090.08	940.70	
LSD 0.05	461.32	115.19	205.62	196.51	183.09	250.04	234.54	195.54	307.01	84.11	
CV (%)	26.04	15.37	15.51	25.96	20.86	25.34	16.40	23.83	23.82	23.02	

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب روش امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس

Table 6- AMMI combined analysis of variance for seed yield of lentil genotypes

منابع تغییر Source variation	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Mean square	سطح معنی داری Pr(>F)	درصد Percent
محیط ENV.	8	7347256.44	5.97E-09	
خطای محیط REP(ENV)	27	169697.49	2.23E-09	
ژنوتیپ GEN	19	208707.23	3.40E-05	
ژنوتیپ × محیط GEN × ENV	152	77036.92	0.00E+00	
مؤلفه اصلی اول PC1	26	170285.2	4.00E-03	37.8
مؤلفه اصلی دوم PC2	24	93056.29	3.07E-02	19.1
مؤلفه اصلی دوم PC2	22	78003.61	1.21E-01	14.7
مؤلفه اصلی سوم PC3	20	65389.1	5.18E-01	11.2
مؤلفه اصلی چهارم PC4	18	44701.19	6.86E-01	37.8
خطای آزمایش Residuals	16	37741.34		
کل Total	14	28844.49		



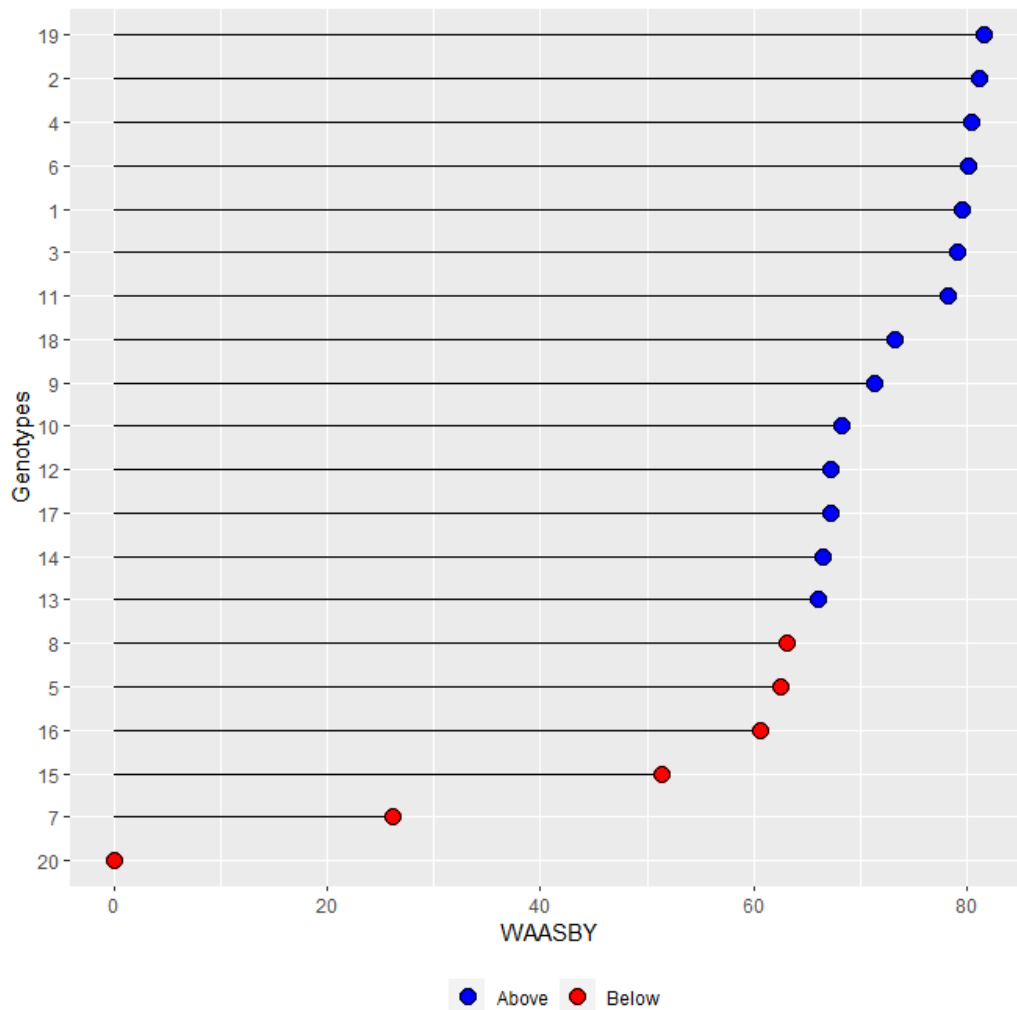
شکل ۵- عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده ژنوتیپ‌های عدس بر پایه بهترین پیش‌بینی ناریب خطی (BLUP)

Figure 5- Predicted seed yield (BLUP) plot for lentil genotypes

را برای گزینش و توصیه ژنوتیپ‌های پایدار عدس بکار برده‌اند (Branković-Radojčić *et al.*, 2018; Karimizadeh *et al.*, 2010). اما (al., 2008; Karimizadeh and Mohammadi, 2010) اگر سهم این مؤلفه‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط پایین باشد، تفسیر نتایج باید با احتیاط انجام گردد، زیرا تنها بخش ساده برهمکنش ژنوتیپ در محیط را می‌توان در مؤلفه‌های اصلی نخست مشاهده کرد و ممکن است بخش پیچیده ژنوتیپ در محیط در این بای‌پلات‌ها حذف شده باشد (Olivoto *et al.*, 2019).

در چنین مواقعی، بای‌پلات $WAASB \times GY$ (شکل ۷) یا نمودار $WAASBY$ (شکل ۸) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پر محصول و با پایداری گسترده می‌تواند بهتر باشد.

در شکل ۶ شناسایی ژنوتیپ‌ها با مقادیر $WAASBY$ انجام شده است که نوعی معیار گزینش همزمان مبتنی بر میانگین عملکرد دانه (Y) و شاخص پایداری (WAASB) است و در محاسبه آن وزن‌های متفاوتی به عملکرد دانه و شاخص $WAASB$ داده شده است. در این نمودار از وزن‌دهی برابر برای هر دو شاخص عملکرد دانه و شاخص پایداری (WAASB) استفاده شد که بیانگر یکسان نگرستن به پایداری و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و اهمیت یکسان هر دو شاخص در گزینش یک ژنوتیپ است. بر اساس وزن‌دهی ۵۰:۵۰ ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۱، ۴، ۶، ۱، ۳ و ۱۱ با داشتن بیشترین مقدار $WAASBY$ ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد دانه بالا بودند. بسیاری از پژوهشگران، ارزش پایداری (ASV) AMMI

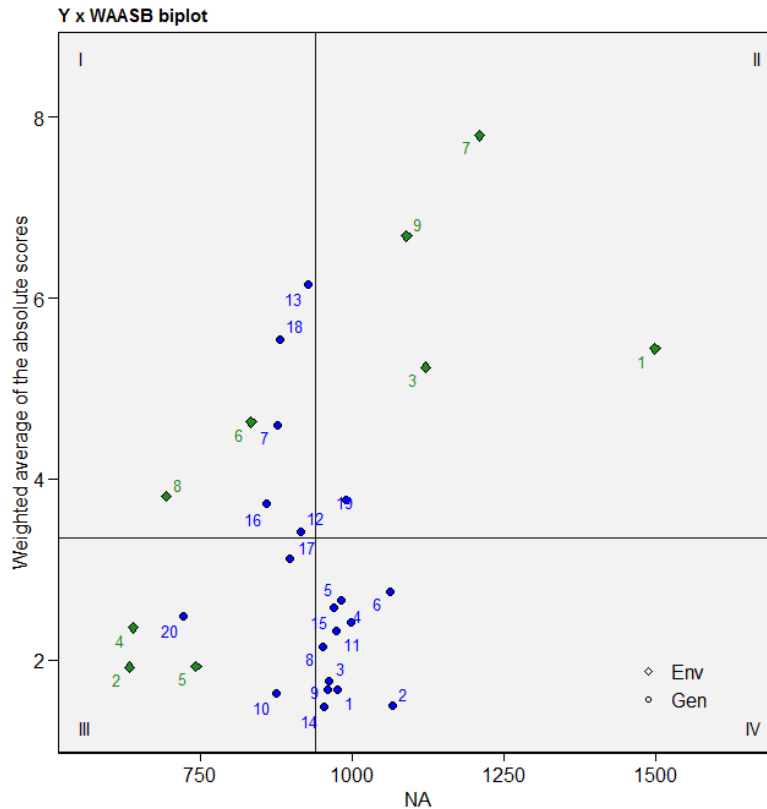


شکل ۶- مقادیر برآورد شده از میانگین وزنی پایداری (WAASB) و میانگین عملکرد (WAASB) (Y) برای ۲۰ ژنوتیپ عدس با توجه به وزن در نظر گرفته شده ۵۰:۵۰ برای عملکرد و پایداری

Figure 6- Estimated values of weighted average of the stability (WAASB) and mean performance (Y) (WAASBY) for 20 lentil Genotypes considering the weights of 50 and 50 for yielding and stability, respectively

WAASB، ناپایدار هستند. محیط‌های واقع در این ناحیه (به‌ویژه محیط ۶) به دلیل داشتن مقادیر بالای متغیر پاسخ و همچنین توانایی تشخیص خوب می‌تواند به‌صورت ویژه مورد توجه واقع شود. ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۰، ۱۷، ۱۶، ۱۲ و ۱۳ در چارک سوم (ربع III)، با آنکه عملکرد کمتر از میانگین کل داشتند، اما به دلیل پایین بودن مقادیر WAASB (هرقدر این شاخص پایین‌تر باشد، عملکرد ژنوتیپ پایدارتر خواهد بود)، دارای عملکرد پایدار شناخته شدند. ژنوتیپ‌های واقع در چارک چهارم (ربع IV) به دلیل بزرگی متغیر پاسخ (دارا بودن عملکرد بالا) و پایداری عملکرد بالا (مقادیر پایین WAASB)، بسیار پر محصول و دارای پایداری عملکرد بیشتری هستند که شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۱۹، ۴، ۹، ۱۴، ۶، ۲، ۳ و ۱۱ بودند.

بای پلات نوع سوم عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق یا (WAASB)، به چهار بخش یا چارک تقسیم شد (شکل ۷) که در آن ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری با شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه به‌طور همزمان ارزیابی می‌شوند. در چارک اول (ربع I)، ژنوتیپ‌های ۷ و ۲۰ با توجه به سهم زیاد در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های ناپایدار و دارای عملکرد کمتر از متوسط کل بودند (Olivoto *et al.*, 2019 a)، بنابراین این ژنوتیپ‌ها علاوه بر ناپایداری بالا، با توجه به اینکه در این چارک هیچ محیطی قرار نداشت، به محیط‌های ویژه‌ای نیز سازگار نیستند و ژنوتیپ‌های مطلوبی محسوب نمی‌شوند. در چارک دوم (ربع II)، ژنوتیپ‌های ۵ و ۱۵ با وجود داشتن عملکرد بالاتر از میانگین کل، به دلیل مقدار بالای



شکل ۷- دیاگرام‌های ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس در ۹ محیط و بای پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی از برهمکنش ژنوتیپ‌ها با محیط (WAASB)

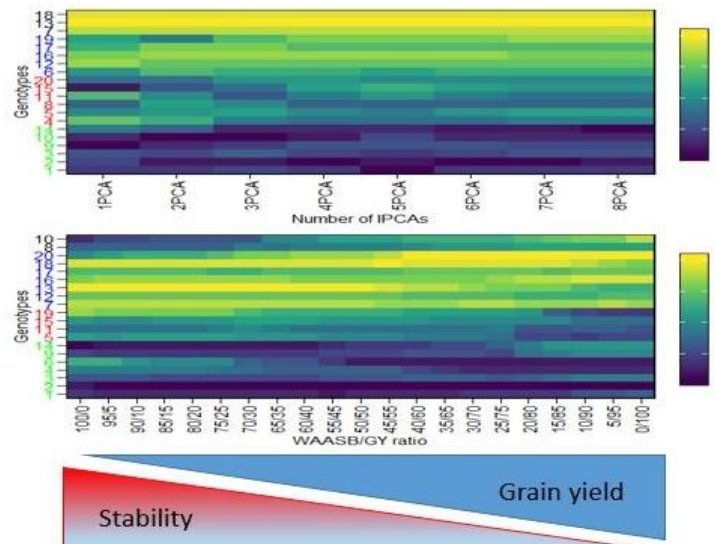
Figure 7- Diagrams for analysis the grain yield of lentil genotypes evaluated in 9 environments and biplot of the seed yield vs weighted average of absolute scores for the best linear unbiased predictions of the genotypes- environment interaction(WAASB)

وزن ۱۰۰ درصد) انجام شده است. نتیجه رتبه‌بندی ۵۰:۵۰ همچون شکل ۶ است که در آن به شاخص پایداری (WAASB) و شاخص متغیر وابسته (GY) هر دو وزن ۵۰ داده شده بود. در نخستین ستون سمت چپ، ژنوتیپ‌های ۲، ۱۴، ۱، ۹، ۱ و ۱۰ پایدارترین هستند و ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۸ و ۷ کمترین پایداری را دارند. البته از آنجا که در این رتبه‌بندی هیچ‌گونه توجهی به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشده است، چنین رتبه‌بندی نمی‌تواند از اعتبار بالایی برخوردار باشد. در آخرین ستون سمت راست هم که رتبه‌بندی فقط بر اساس عملکرد دانه و بدون توجه به پایداری انجام شده است. ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۴ و ۱۹ برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند و ژنوتیپ‌های ۲۰، ۱۶ و ۷ کمترین عملکرد دانه را داشتند. این نتایج همچون نتایج حاصل از شکل ۵ است. خوشه‌های سمت چپ این نمودار، برای شناسایی گروه‌های ژنوتیپی با نمود مشابه پایداری عملکرد و میانگین عملکرد دانه به کار برده می‌شود. ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۹ و ۱۴ دارای عملکرد بالا و پایدار (شماره ژنوتیپ‌های

بای پلات $WAASB \times GY$ (شکل ۸) تفسیر همزمان پایداری و عملکرد را انجام می‌دهد. در شکل ۸ به دو شاخص متغیر وابسته (GY) و پایداری (WAASB) وزن‌های متفاوتی داده شده است. در این شکل مقادیرهای WAASBY با در نظر گرفتن نسبت‌های گوناگون از WAASB و GY ارائه شده‌اند و همان‌گونه که دیده می‌شود رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY بسته به اینکه چه نسبتی از شاخص WAASB و عملکرد در نظر گرفته شوند، دگرگونی زیادی پیدا می‌کند. به طوری که در نخستین ستون سمت چپ این نمودار، رتبه‌بندی فقط بر اساس شاخص پایداری WAASB انجام شده است و در محور X آن، وزن ۱۰۰ به شاخص پایداری (WAASB) و صفر به شاخص متغیر وابسته (GY) داده شده است. در این نمودار از چپ به راست، در هر ستون به وزن متغیر پاسخ (عملکرد دانه) پنج درصد افزوده و از وزن شاخص پایداری (WAASB)، ۵ درصد کاسته شده است و در آخرین ستون سمت راست، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس عملکرد دانه (با

یکی از مزیت‌های شاخص WAASBY این است که بسته به هدف برنامه به‌نژادی می‌توان در محاسبه آن به هریک از دو جزء پایداری و عملکرد وزن‌های گوناگونی داد تا سهم هر جزء پررنگ‌تر یا کم‌رنگ‌تر شود. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با شاخص WAASBY، امکان مد نظر گرفتن همزمان عملکرد (Y) و پایداری (WAASB) ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند. همان‌گونه که نشان داده شده است بر این اساس ژنوتیپ ۲ با فاصله قابل توجه در رتبه نخست قرار می‌گیرد و پس از آن ژنوتیپ‌های ۶ و ۴ قرار دارند. در بخش پایین رتبه‌بندی، هر دو رقم شاهد کیمیا و گچساران قرار دارند.

سبزرنگ)، ژنوتیپ ۵، ۱۱، ۱۵ و ۱۹ بر محصول اماناپایدار (شماره ژنوتیپ‌های قرمز رنگ)، ژنوتیپ‌های ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ پایدار اما کم محصول (شماره ژنوتیپ‌های رنگ آبی) و ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۰ کم محصول و ناپایدار (شماره ژنوتیپ‌های رنگ سیاه) از نظر عملکرد دانه بودند که بر اساس وزن ۵۰:۵۰ برای دو شاخص نیز در رتبه‌های اول تا چهارم گزینش همزمان با پایداری عملکرد و عملکرد دانه (WAASBY) قرار داشتند. با در نظر گرفتن سهم برابر برای پایداری و عملکرد، در میانه شکل دیده می‌شود که ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۶ و ۱۴ در رتبه‌های برتر قرار گرفته‌اند.



شکل ۸- نقشه حرارتی، رتبه‌بندی ژنوتیپ بر اساس محورهای مؤلفه اصلی مورد استفاده برای تخمین شاخص WAASB و رتبه‌های ژنوتیپ‌های عدس با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای پایداری و عملکرد دانه. اولین رتبه سمت چپ، صرفاً بر اساس پایداری به دست آمده است. آخرین رتبه سمت راست نیز با در نظر گرفتن عملکرد دانه به دست آمده است. بیان این دو انتها، رتبه‌ها از وزن‌های مختلف پایداری و عملکرد به دست آمده است. چهار خوشه، چهار گروه ژنوتیپی را نشان می‌دهد: (۱) ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر عملکرد و ناپایدار (سبزرنگ)، (۲): ژنوتیپ‌های پر محصول اما ناپایدار (قرمز رنگ)، (۳) ژنوتیپ‌های پایدار اما کم محصول (رنگ آبی) و (۴) ژنوتیپ‌های بسیار پر محصول و پایدار (اعداد با رنگ سیاه)

Figure 8- Heatmap shows the genotype ranking depending on the number of principal component axes used for estimating the WAASB index. And euclidean distance-based dendrogram is used for grouping the genotype ranking for both genotypes and principal component axes. Ranks of lentil genotypes considering different weights for stability and yielding. The most-left ranks were obtained considering the stability only. The most right-ranks were obtained considering the grain yield only. Between the extremes, the ranks were obtained different weights for stability and yielding. The four clusters represent four classes of genotypes: (1) Poorly productive and unstable genotypes (green color); (2) productive but unstable genotypes (Red color); (3) stable but poorly productive genotypes (blue color); and (4), highly productive and stable genotypes (Numbers in black)

موزاییکی مشاهده شد که نخستین محور مؤلفه اصلی سهم بالایی از تنوع ژنوتیپی و محور مؤلفه اصلی دوم سهم بالایی از تنوع ژنوتیپ در محیط را داشتند. بر اساس این شاخص ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۴ و ۱۹ بسیار پر محصول و پایدار بودند. در مجموع به نظر می‌رسد که برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش پس از به دست آوردن اطمینان از اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط با روش‌های مختلف تجزیه پایداری عملکرد دانه انجام شد و نتایج آن‌ها با یکدیگر سنجیده شد. البته پیش از انجام این تجزیه‌ها با نمودار

شناسایی شدند. با توجه به اینکه از مدل مختلط خطی و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY استفاده شد، به نظر می‌رسد که این شاخص برتر از سایر شاخص‌ها باشد.

سپاسگزاری

این مقاله، برگرفته از نتایج پروژه پژوهشی به شماره مصوب ۰۰۲۹-۹۰-۱۵-۱۵ و با عنوان " بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های عدس در آزمایش‌های یکنواخت سراسری مناطق معتدل دیم" در موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور می‌باشد.

بالا، استفاده از نمودار WAASBY با وزن‌دهی متغیر از صفر تا صد برای شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه می‌تواند به نتایج مطمئن‌تری از تجزیه پایداری با بهره‌گیری از تجزیه‌هایی مانند تجزیه عاملی، BLUP و AMMI در شناسایی ژنوتیپ‌های برگزیده بینجامد. بالاترین عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده با روش BLUP مربوط به ژنوتیپ ۲ و پس از آن ژنوتیپ‌های ۴، ۱۹، ۵ و ۱ بودند که عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده بیشتر از میانگین کل داشتند. با در نظر گرفتن سهم ۵۰ درصد برای هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری، ۱۴ ژنوتیپ دارای WAASBY بالاتر از میانگین بودند. مقدار WAASBY به‌ویژه در مورد ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲، ۴، ۶، ۱، ۳ و ۱۱ به‌طور قابل توجهی بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و بر این اساس به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها

References

- Abbas, G., Asghar, M.J., Shahid, M., Hussain, J., Akram, M. and Ahmad, F., 2019. Yield performance of some lentil genotypes over different environments. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), pp.1-3. doi: **10.2134/age2018.10.0051**
- Abo-Hegazy, S.R.E., Selim, T. and Ashrie, A.A.M., 2013. Genotype× environment interaction and stability analysis for yield and its components in lentil. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(5), pp.85-90. doi: **10.5897/jpbcs12.066**
- Ajay, V. and Singh, G.P., 2021. AMMI with BLUP analysis for stability assessment of wheat genotypes under multi locations timely sown trials in Central Zone of India. *International Journal of Agriculture and Food Science*, (7), pp.118-124. doi: **10.17352/2455-815x.000098**
- Akbari, S., Akbarpour, O. and Pezeshkpour, P., 2021. Evaluation of grain yield stability of lentil genotypes using non-parametric methods. *Plant Genetic Researches*, 8(1), pp.95-114. doi: **10.52547/pgr.8.1.7**
- Akıncı, C., Biçer, B.T., Kızılgöçü, F., Albayrak, Ö. and Yıldırım, M., 2018. Stability parameters in lentil genotypes. *El-Cezeri*, 5(2), pp.287-291.
- Azam, M.G., Iqbal, M.S., Hossain, M.A. and Hossain, M.F., 2020. Stability investigation and genotype× environment association in chickpea genotypes utilizing AMMI and GGE biplot model. *Genetics and Molecular Research*, 19(3), pp.1-15.
- Barrios, A., Aparicio, T., Rodríguez, M.J., de la Vega, M.P. and Caminero, C., 2016. Winter sowing of adapted lines as a potential yield increase strategy in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(2), pp.e0702-e0702. doi: **10.5424/sjar/2016142-8092**
- Barbosa, M.H., Ferreira, A., Peixoto, L.A., Resende, M.D., Nascimento, M. and Silva, F.F., 2014. Selection of sugar cane families by using BLUP and multi-diverse analyses for planting in the Brazilian savannah. *Genetics and Molecular Research*, (13), pp.1619-1626. doi: **10.4238/2014.march.12.14**

- Baretta, D., Nardino, M., Carvalho, I.R., Oliveira, A.D., Souza, V.D. and Maia, L.D., 2016. Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. *Científica*, 44(3), pp. 403-411. doi: **10.15361/1984-5529.2016v44n3p403-411**
- Bermejo, C., Cazzola, F., Maglia, F. and Cointry, E., 2020. Selection of parents and estimation of genetic parameters using BLUP and molecular methods for lentil (*Lens culinaris* Medik.) breeding program in Argentina. *Experimental Agriculture*, 56(1), pp.12-25. doi: **10.1017/s0014479719000061**
- Branković-Radojčić, D.V., Babić, V., Filipović, M., Srđić, J., Girek, Z., Zivanović, T. and Radojčić, A., 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika*, 50(3), pp.1067-1080. doi: **10.2298/genstr1803067b**
- Chen, C., Etemadi, F., Franck, W., Franck, S., Abdelhamid, M.T., Ahmadi, J., Mohammed, Y.A., Lamb, P., Miller, J., Carr, P.M. and McPhee, K., 2022. Evaluation of environment and cultivar impact on lentil protein, starch, mineral nutrients, and yield. *Crop Science*, 62(2), pp.893-905. doi: **10.1002/csc2.20675**
- Dehghani, H., Sabaghpour, S.H. and Sabaghnia, N., 2008. Genotype x environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (3), pp.385-394.
- Elias, A.A., Robbins, K.R., Doerge, R.W. and Tuinstra, M.R., 2016. Half a century of studying genotype× environment interactions in plant breeding experiments. *Crop Science*, 56(5), pp.2090-2105. doi: **10.2135/cropsci2015.01.0061**
- Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6), pp.742-754.
- Gan, Y., Hamel, C., Kutcher, H.R. and Poppy, L., 2017. Lentil enhances agroecosystem productivity with increased residual soil water and nitrogen. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(4), pp.319-330. doi: **10.1017/s1742170516000223**
- Gauch Jr, H.G. and Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37(2), pp.311-326.
- Jeberson, M.S., Shashidhar, K.S., Wani, S.H., Singh, A.K. and Dar, S.A., 2019. Identification of stable lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes through GGE biplot and AMMI analysis for North Hill Zone of India. *Legume Research-An International Journal*, 42(4), pp.467-472. doi: **10.18805/lr-3901**
- Laffont, J.L., Hanafi, M. and Wright, K., 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47(3), pp.990-996. doi: **10.2135/cropsci2006.08.0549**
- Karaköy, T., Erdem, H., Baloch, F.S., Toklu, F., Eker, S., Kilian, B. and Özkan, H., 2012. Diversity of macro-and micronutrients in the seeds of lentil landraces. *The Scientific World Journal*, 2012(1), p.710412. doi: **10.1100/2012/710412**
- Karimizadeh, R., Safikhani Nasimi, M., Mohammadi, M., Seyyedi, F., Mahmoodi, A.A. and Rostami, B., 2008. Determining rank and stability of lentil genotypes in rainfed condition by nonparametric statistics. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 12(43), pp.93-102. [In Persian].

- Karimizadeh, R. and Mohammadi, M., 2010. AMMI adjustment for rainfed lentil yield trials in Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(1), pp.66-73.
- Karimizadeh, R., Mohammadi, M. and Sabaghmia, N., 2013. Site regression biplot analysis for matching new improved lentil genotypes into target environments. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 3(2), pp.51-65.
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A. and Sharifi, P., 2020. Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. *Journal of Crop Breeding*, 12(36), pp.160-170. [In Persian]. doi: **10.52547/jcb.12.36.160**
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P. and Mirzaii, A., 2021. Evaluation of grain yield stability of rainfed lentil genotypes by parametric and non-parametric methods. *Applied Field Crops Research*, 34(3), pp.155-140. [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2022.351573.1500**
- Meng, Y., Ren, P., Ma, X., Li, B., Bao, Q., Zhang, H., Wang, J., Bai, J. and Wang, H., 2016. GGE Biplot-based evaluation of yield performance of barley genotypes across different environments in China. *Journal of Agricultural Science and Technology*, (18), pp.533-543. doi: **10.1149/ma2023-024556mtgabs**
- Muehlbauer, F.J., Cho, S., Sarker, A., McPhee, K.E., Coyne, C.J., Rajesh, P.N. and Ford, R., 2006. Application of biotechnology in breeding lentil for resistance to biotic and abiotic stress. *Euphytica*, 147, pp.149-165. doi: **10.1007/s10681-006-7108-0**
- Namdari, A., Pezeshkpour, P., Mehraban, A., Naseri, A., Vaezi, B. and Nazarli, H., 2022. Evaluation the grain yield stability of promising rainfed lentil genotypes using parametric and non-parametric statistics. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3), pp.153-167. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2021.330502.654854**
- Nardino, M., Baretta, D., Carvalho, I.R., Olivoto, T., Follmann, D.N., Szareski, V.J., Ferrari, M., de Pelegrin, A.J., Konflanz, V.A. and de Souza, V.Q., 2016. Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), pp.4864-4872. doi: **10.5897/ajar2016.11691**
- Olivoto, T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan>. doi: **10.1101/2020.01.14.906750**
- Olivoto, T., Lúcio, A.D., da Silva, J.A., Marchioro, V.S., de Souza, V.Q. and Jost, E., 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), pp.2949-2960. doi: **10.2134/agronj2019.03.0220**
- Olivoto, T., Lúcio, A.D., da Silva, J.A., Sari, B.G. and Diel, M.I., 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6), pp.2961-2969. doi: **10.2134/agronj2019.03.0221**
- Olivoto, T. and Lúcio, A.D.C., 2020. metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), pp.783-789. doi: **10.1111/2041-210x.13384**
- Piepho, H.P., Möhring, J., Melchinger, A.E. and Büchse, A., 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica*, 161(1), pp.209-228. doi: **10.1007/s10681-007-9449-8**

- Pawar, I.S. and Singh, S., 2010. Theory and Application of Biometrical Genetics. CBS Publisher and Distributors Pvt. Ltd. Softcover, 1st edition. New Delhi, IND.
- Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A. and Barzali, M., 2021. Analysis of Yield Stability of lentil Genotypes using AMMI Method. *Journal of Crop Breeding*, 13(37), pp.132-145. [In Persian]. doi: **10.52547/jcb.13.37.132**
- Sa'diyah, H. and Hadi, A.F., 2016. AMMI Model for yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, pp.163-169. doi: **10.1016/j.aaspro.2016.02.113**
- Sharifi, P., 2020. Application of Multivariate Analysis Methods in Agricultural Sciences. *Rasht branch, Islamic Azad University Press*. pp. 288. [In Persian].
- Sarker, A., Erskine, W. and Singh, M., 2003. Regression models for lentil seed and straw yields in Near East. *Agricultural and Forest Meteorology*, 116(1-2), pp.61-72. doi: **10.1016/s0168-1923(02)00247-2**
- Sánchez-Gómez, D., Cervera, M.T., Escolano-Tercero, M.A., Vélez, M.D., de María, N., Diaz, L., Sánchez-Vioque, R., Aranda, I. and Guevara, M.Á., 2019. Drought escape can provide high grain yields under early drought in lentils. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31, pp.273-286. doi: **10.1007/s40626-018-0136-z**
- Sellami, M.H., Pulvento, C. and Lavini, A., 2021. Selection of suitable genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under rainfed conditions in south Italy using multi-trait stability index (MTSI). *Agronomy*, 11(9), p.1807. doi: **10.3390/agronomy11091807**
- Shobeiri, S., Sadeghzadeh Ahari, D., Pezeshkpour, P. and Azimi, M., 2021. Stability Analysis of Grain yield of *Lens Culinaris* L lentil Genotypes in Dryland Conditions by GGE biplot Method. *Journal of Crop Breeding*, 13(40), pp.1-10. [In Persian]. doi: **10.52547/jcb.13.40.1**
- Smith, A.B., Cullis, B.R. and Thompson, R., 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. *The Journal of Agricultural Science*, 143(6), pp.449-462. doi: **10.1017/s0021859605005587**
- Smirnov, N., 1948. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(2), pp.279-281.
- Subedi, M., Khazaei, H., Arganosa, G., Etukudo, E. and Vandenberg, A., 2021. Genetic stability and genotype× environment interaction analysis for seed protein content and protein yield of lentil. *Crop Science*, 61(1), pp.342-356. doi: **10.1002/csc2.20282**
- Tadesse, T., Sefera, G., Asmare, B. and Tekalign, A., 2021. AMMI Analysis for Grain Yield Stability in Lentil Genotypes Tested in the Highlands of Bale, Southeastern Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 9(1), pp.9-12. doi: **10.11648/j.jps.20210901.12**
- Tadesse, T., Tekalign, A. and Asmare, B., 2021. Identification of stable lentil genotypes using AMMI analysis for the highlands of bale, Southeastern Ethiopia. *Chemical and Biomolecular Engineering*, 19(6), pp.74-79. doi: **10.11648/j.cbe.20210604.12**
- Thennarasu, K., 1995. *On Certain Non-parametric Procedures for Studying Genotype-Environment Interactions*

- and Yield Stability* (Doctoral dissertation, IARI, Division of Agricultural Statistics, New Delhi).
- Truberg, B. and Huehn, M., 2000. Contributions to the analysis of genotype× environment interactions: Comparison of different parametric and non-parametric tests for interactions with emphasis on crossover interactions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185(4), pp.267-274. doi: **10.1046/j.1439-037x.2000.00437.x**
- Wright, K. and J.L. Laffont. 2018. Package ‘GGE’. <https://github.com/kwstat/gge/issues>.
- Yadav, N.K., Ghimire, S.K., Sah, B.P., Sarker, A., Shrestha, S.M. and Sah, S.K., 2016. Genotype x environment interaction and stability analysis in lentil (*Lens culinaris Medik.*). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(3), pp.238539. doi: **10.22161/ijeab/1.3.7**
- Yan, W. and Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), pp.623-645. doi: **10.4141/p05-169**
- Zaccardelli, M., Sonnante, G., Lupo, F., Branca, F. and de Falco, E., 2010. *Leguminose Minori (Cece, Lenticchia, Cicerchia, Fava)*; *Consiglio per Ricerca Sperimentazione Agricoltura: Rome, Italy*. pp.73.

Evaluation of the efficiency of WAASB, WAASBY indices and linear mixed effects model (LMM) for identifying high- yielding lentil genotypes adapted to rainfed regions

Payam Pezeshkpour^{1*}, Mohammad Armion², Borzo Rostami³

¹ Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

² Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

³ Dryland Agricultural Research Institute, Sararood Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran

*Corresponding Author: papezeshkpour@yahoo.com

Received: 12 December 2022 Accepted: 11 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.376438.1301

Abstract

Introduction: lentil is one of the legumes due to its protein percentage and high nutritional value, and it can be cultivated in the fall in rainy conditions. Due to the different reactions of crop genotypes in different environments, the evaluation of the genotype \times environment interaction in the process of introducing new cultivars is fundamentally important. The development of high yielding cultivars with wide adaptability is the ultimate aim of plant breeders. However, attaining this goal is made more complicated by genotype-environment interactions. The genotype by environment interaction is a major problem in the study of quantitative traits because it complicates the interpretation of genetic experiments and makes predictions difficult, also it reduces grain yield stability in different environments. Multi-environment trials are often analyzed to assess the yield stability of genotypes. Combining features of the best linear unbiased predictions (BLUP) and additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) through “ Weighted average of absolute scores of best linear unbiased predictions ” (WAASB) index in multi- environment experiments may lead to more precise evaluation of genotypes and assessment of genotype \times environment interaction. This statistical models has been widely used to explain complicate G \times E interaction, to enhance selection efficiency and to ensure genetic gain from selection. The objective of this study was to investigate the response of the lines in studied locations and to identify lines adapted to the test environments. The objective of this study was to investigate the response of the lines in studied locations and to identify lines adapted to the test environments.

Materials and Methods: In the present study, the seed yield stability of 18 advanced lentil genotypes was evaluated in a multi-environment trials in three locations including; Khorramabad, Ilam and Kermanshah, Iran in 2010-2013 cropping seasons. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. Statistical analyzes were performed using multi-environment trials analysis. In order to evaluate genotype \times environment interaction, AMMI and BLUP methods were combined by introducing WAASB and WAASBY indicators and the yield stability was evaluated by drawing various graphs.

Results and Discussion: Considering the significant G \times E interaction based on the results of the relative likelihood test (LRT), it was possible to perform BLUP analysis on the data. The results of the mosaic diagram showed that the contribution of genotype and genotype \times environment interaction were 15.45% and 84.55% of the total variation, respectively. The highest predicted seed yield by BLUP method belonged to genotype no. 2 followed by genotypes no. 4, 19, 5 and 1 which had higher than average predicted seed yield. To enable simultaneous selection based on both seed yield and yield stability, by combining seed yield (Y) and WAASB, a new index “WAASBY” was created. Considering 50% contribution of each of the two components of seed yield and yield stability, fourteen genotypes showed above average WAASBY. Genotypes no. 19, 2, 4, 6, 1, 3 and 13 had

considerably higher WAASBY when compared with other genotypes and was identified. control Gachsaran cultivar (genotype 20) had lower than average WAASBY

Conclusion: In conclusion, considering WAASBY index, genotypes 2, 4, 6, 1, 3 and 11 were identified as genotypes with high seed yield and yield stability, and can be considered for being released as new lentil cultivars. In general, using mixed model as well as all the components in calculation the WAASBY index, it can be concluded that this index is superior to other indices.

Keywords: Biplot, Single Value Decomposition (SVD), Simultaneous Selection, Weighted average of absolute scores

تأثیر بستر کشت و پیش تیمار بذر بر تولید دان‌های پاپایا رقم بنگلادشی

علی نجم^۱، مهدی آران^{۲*}، عبدالرحمن رحیمیان بوگر^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: mehdiaran@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.391214.1334

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹

چکیده

پیش تیمار بذر و بستر کشت از عوامل مهم و تأثیرگذار در فرآیندهای جوانه زنی و رشد گیاهچه می‌باشند. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار جهت ارزیابی تأثیر پیش تیمار بذر و بستر کشت بر جوانه زنی و رشد گیاهچه پاپایا رقم بنگلادشی انجام شد. پیش تیمار بذر در ۴ سطح شامل آب مقطر به عنوان شاهد (P0)، هیومیک اسید (P1) و جلبک دریایی (P2) و بستر کشت در ۵ سطح شامل کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست (S1) (۱:۱:۱)، کمپوست : پرلیت : کوکوپیت (S2) (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی کمپوست : کوکوپیت (S3) (۱:۱:۱)، پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (S4) (۱:۱:۱) و کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (S5) (۱:۱:۱:۱) بود. نتایج حاکی از تأثیر معنی دار پیش تیمار بذر و بستر کشت بر جوانه زنی و رشد گیاهچه پاپایا بود. حداقل میانگین زمان جوانه زنی (۱۱/۲۰ روز)، حداکثر شاخص سرعت جوانه زنی (۰/۷۲)، شاخص بنیه گیاهچه (۲۳۴۲/۴۹) و وزن خشک ریشه (۰/۰۷۹ گرم) برای پیش تیمار هیومیک اسید ثبت شد. در بین بسترهای کشت، بسترهای S5 و S3 نتایج بهتری از لحاظ جوانه زنی و رشد گیاهچه در مقایسه با دیگر بسترهای کشت نشان دادند. بررسی نتایج اثر متقابل نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاهچه (۲۱/۰۳ سانتی متر)، طول ریشه (۹/۷۲۵ سانتی متر) و وزن خشک شاخساره (۰/۳۱۹ گرم) در تیمار P1S5 مشاهده شد. نتایج این مطالعه بیانگر این بود که بیوپرایمینگ هیومیک اسید، بهترین پیش تیمار و بستر کشت S5 بهترین بستر کشت برای تولید و پرورش گیاه پاپایا رقم بنگلادشی بود.

واژه‌های کلیدی: رشد گیاهچه، سرعت جوانه زنی، کود زیستی، مدت جوانه زنی

مقدمه

(Paparella et al., 2015). کودهای زیستی شامل میکروارگانیزم‌های زنده یا ترکیبات طبیعی مشتق شده از موجودات زنده مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها هستند که باعث بهبود ساختار خاک از لحاظ شیمیایی و بیولوژیکی، حاصلخیزی خاک و تحریک رشد گیاه می‌شوند (Garcia-Gonzalez and Sommerfeld, 2016).

هیومیک اسیدها درشت مولکول‌هایی شامل مواد هیومیکی هستند که مواد آلی توزیع شده در خاک، آب طبیعی و رسوبات حاصل از پوسیدگی بقایای گیاهی و طبیعی می‌باشند (de Melo et al., 2016). کاربرد هیومیک اسید به عنوان پیش تیمار بذر در سویا (*Glycine max* (L) Merrill) منجر به کاهش میانگین زمان جوانه زنی و افزایش صفات مختلف جوانه زنی مانند درصد جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه زنی شد. هم‌چنین افزایش قابل توجهی در پارامترهای شاخص بنیه گیاهچه، ارتفاع گیاهچه و طول ریشه مشاهده گردید (Weerasekara et al., 2021). طبق گزارشی، کاربرد هیومیک

پاپایا (*Carica papaya* L.) گیاهی از خانواده Caricaceae است و در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری به خوبی رشد می‌کند؛ میوه آن به صورت تازه خوری یا فرآوری شده (ژله، آب‌نبات، مربا و ترشی) مصرف می‌شود (Dotto and Abihudi, 2021). یکی از راه‌های افزایش میزان جوانه زنی بذر، استفاده از پرایمینگ بذر می‌باشد. در پرایمینگ بذر، بذر تا حدی هیدراته می‌شوند تا رویدادهای متابولیکی بدون جوانه زنی واقعی رخ دهند و سپس دوباره خشک می‌شوند (Farooq et al., 2012)؛ این بذرها دارای جوانه زنی سریع و یکنواختی هستند (Farooq et al., 2012; Acharya et al., 2020). از فواید پرایمینگ بذر می‌توان به درصد جوانه زنی بالا، افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در هیدرولیز درشت مولکول‌ها برای رشد و نمو جنین و کاهش تنش در مرحله جوانه زنی اشاره کرد (Acharya et al., 2020). از روش‌های پرایمینگ بذر می‌توان به هیدروپرایمینگ و بیوپرایمینگ اشاره کرد

و ریشه، قطر ساقه، عرض برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه) را در گیاه موز افزایش داد (Hassan *et al.*, 2022).

کوکوپیت با pH، هدایت الکتریکی و دیگر ویژگی‌های شیمیایی قابل قبول به عنوان یک جز بستر کشت در نظر گرفته می‌شود؛ اما با داشتن ظرفیت نگهداری آب بالا که باعث ایجاد ارتباط ضعیف هوا - آب می‌شود، منجر به هوادهی کم در بستر کشت می‌شود؛ بنابراین نفوذ اکسیژن به ریشه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزودن مواد درشت‌تر به کوکوپیت می‌تواند وضعیت هوادهی بستر کشت را بهبود بخشد (Awang, 2009).

پرلیت یک ماده معدنی سیلیسی با منشا آتشفشانی است که به طور گسترده در باغبانی به عنوان محیط رشد گیاهان استفاده می‌شود. سبکی، یکنواختی و سهولت استخراج ریشه به مفید بودن آن به عنوان یک محیط رشد تجربی کمک می‌کند (Jackson, 1974). در مطالعه‌ای انجام شده بر روی پاپایا مشخص شد که بستر کشت خاک + ماسه + ورمیکولیت + کوکوپیت + پرلیت (۱:۱:۱:۱) با ادرار گاو بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تأثیر بیشتری داشت؛ به طوری که حداکثر درصد جوانه‌زنی و حداقل دوره جوانه‌زنی و هم‌چنین بیشترین میزان ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ و قطر ساقه در این تیمار مشاهده شد (Sharma *et al.*, 2021). با توجه به کمبود آب در اکثر مناطق کشور ایران، کاشت درختان در گلخانه باعث کاهش مصرف آب می‌شود. یکی از درختان دارای قابلیت کشت در گلخانه درخت پاپایا است. تولید گیاهچه باکیفیت یکی از مراحل مهم تولید این گیاه می‌باشد. با توجه به اینکه بدون اعمال پیش‌تیمار، جوانه‌زنی بذر پاپایا به طور میانگین بیش از سه هفته طول می‌کشد، اعمال تیمارهایی جهت کاهش این زمان، افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد بهتر دانه‌ها ضروری می‌باشد. با در نظر گرفتن تأثیر دو عامل پیش‌تیمار بذر و بستر کشت در فرآیندهای جوانه‌زنی بذر و رشد و نمو گیاهچه، این آزمایش به منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با دو کود زیستی هیومیک اسید و جلبک دریایی و بسترهای کشت مختلف بر جوانه‌زنی و رشد و نمو گیاهچه پاپایا رقم بنگلادشی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مکان آزمایش، مواد و تیمارها

این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو عامل پیش‌تیمار بذر

اسید به سه شکل پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی و افزودن به خاک منجر به افزایش عملکرد دانه در گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) شد که دلیل این امر، دسترسی بالا به اشکال متحرک فسفر به دلیل مکانیسم کنترل فعال عنوان شد که سبب انتقال فسفر توسط گیاهان تیمار شده با مواد هیومیکی می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، محلول‌پاشی گیاهچه پاپایا با هیومیک اسید بر اندام هوایی و سیستم ریشه تأثیر مثبت نشان داد (Cavalcante *et al.*, 2011).

همه محصولات عصاره جلبک دریایی اغلب از جلبک‌های دریایی قهوه‌ای ساخته می‌شوند که این عصاره‌ها ممکن است تحت تأثیر منبع جلبک دریایی، زمان جمع‌آوری در سال و فرآیند هضم جلبک دریایی تغییر کنند. مطالعات مختلفی مبنی بر نقش عصاره‌های جلبک دریایی به صورت پیش‌تیمار بذر در افزایش میزان درصد جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی در گیاه اسفناج (*Spinacea oleracea*) (Anjos Neto *et al.*, 2020) و افزایش میزان درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی در گیاه فلفل زینتی (*Capsicum annum*) (Shamya Arokia rajan *et al.*, 2020) وجود دارد.

از عوامل بسیار مهم در تولید نهال، بستر کشت است؛ به طوری که بسترهای کشت غنی از مواد مغذی، دارای ظرفیت نگهداری آب بالا و تخلخل کافی (تسهیل جذب اکسیژن توسط ریشه) می‌توانند گیاهان سالم و با عملکرد بالا تولید کنند (Meng *et al.*, 2018). ورمی کمپوست سرشار از عناصر ماکرو و میکرو، هیومیک اسیدها و محرک‌های رشد گیاه شامل آکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها است (Čabílovski *et al.*, 2023). در پژوهشی بر روی پاپایا (*Carica papaya* L. v. *Pusa Nanha*) گزارش شد که ترکیب بستر کشت خاک + کود دامی + ورمی کمپوست (۱:۱:۱) دارای مقادیر بالاتری برای پارامترهای رشد ریشه (تعداد ریشه‌های اولیه و ثانویه، طول ریشه‌های اولیه و ثانویه، وزن تر و خشک ریشه‌ها و نسبت ریشه به اندام هوایی)، رشد اندام هوایی (ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ، قطر ساقه، سطح برگ و وزن تر و خشک اندام هوایی) و درصد بقای گیاهچه‌های پاپایا بود (Choudhary *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای دیگر، بستر کشت حاوی ورمی کمپوست + ورمیکولیت + ماسه (۱:۱:۱)، پارامترهای رشد رویشی (ارتفاع بوته، طول بوته

درصد بود) استفاده شد. در ابتدا بذرهای توسط محلول ۰.۱٪ هیپوکلرید سدیم به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و پس از آن با آب مقطر چند بار شستشو داده شدند. بذرهای در محلول‌های از پیش تهیه شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خیس‌انده و سپس به مدت ۶۰ دقیقه در سایه خشک و بلافاصله در سینی‌های کشت ۳۲ حفره‌ای (ابعاد ۲۹×۵۲ سانتی‌متر، قطر دهانه ۶ سانتی‌متر، عمق حفره ۷ سانتی‌متر و حجم هر حفره ۱۳۰ سی‌سی) حاوی بسترهای کشت موردنظر کشت شدند (در هر حفره یک بذر). نشاها در مرحله رسیدن به ارتفاع ۷ سانتی‌متر به گلدان‌های ژله‌ای (ارتفاع ۱۲/۵ سانتی‌متر، قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر، عمق ۱۲/۵ سانتی‌متر) انتقال داده شدند. تمامی مشاهدات مربوط به پارامترهای جوانه‌زنی از ۱۰ بذر ثبت شد. هم‌چنین پارامترهای رشد با انتخاب ۳ گیاهچه به طور تصادفی اندازه‌گیری شدند.

با کودهای زیستی و بستر کشت در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۵ تیمار، ۳ تکرار و ۱۰ بذر در هر تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل در سال ۱۴۰۱ انجام شد. پیش تیمار بذرهای شامل آب مقطر به عنوان شاهد (P₀)، هیومیک اسید (P₁) و جلبک دریایی (P₂) و بسترهای کشت شامل کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست (S₁) (۱:۱:۱)، کمپوست : پرلیت : کوکوپیت (کوکوپیت فشرده سریلانکایی گیلدا) (S₂) (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی کمپوست : کوکوپیت (S₃) (۱:۱:۱)، پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (S₄) (۱:۱:۱) و کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (S₅) (۱:۱:۱:۱) بود. پیش تیمار کودهای زیستی شامل ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیومیک اسید (هیومی گرو ۸۰ درصد گاردسکو) و ۲ گرم بر لیتر عصاره جلبک دریایی وایتافری ۰.۳۰٪ هورتیلند مبتنی بر *Ascophyllum nodosum* (با هدایت الکتریکی برابر با ۰/۱۸ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) برای پیش تیمار بذر پاپایا رقم بنگلادشی (درصد خلوص بذر ۱۰۰

جدول ۱- مشخصات ورمی کمپوست مورد استفاده در بسترهای کشت

Table 1- Characteristics of vermicompost used in culture substrates

pH	EC (dSm ⁻¹)	نیترژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mg (%)	آهن Fe (mg/kg)	منگنز Mn (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)
7.64	1.12	1.55	0.4	0.4	2.73	0.95	5000	275	20	110

ni = تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز

ti = تعداد روزهای پس از شروع آزمایش

N = تعداد کل بذرهای جوانه زده در پایان آزمایش

شاخص بنیه گیاهچه (SVI) با استفاده از رابطه ۴ مورد

محاسبه قرار گرفت (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

$$(۴) \text{ SVI} = (\text{RL} + \text{SL}) \times \text{GP}$$

RL = طول ریشه (سانتی‌متر)

SL = ارتفاع گیاهچه (سانتی‌متر)

GP = درصد جوانه‌زنی

پارامترهای مرتبط با رشد گیاهچه

ارتفاع گیاهچه با استفاده از خط‌کش، تعداد برگ از طریق

شمارش تعداد کل آن‌ها در گیاه و قطر ساقه با استفاده از

کولیس اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری طول ریشه با روش تخریبی

ریشه‌کن کردن گیاهان انجام شد. وزن خشک گیاه و ریشه با

ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی پس از قرار دادن نمونه‌ها در آن

اندازه‌گیری صفات

پارامترهای جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی (GP) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Tavares *et al.*, 2020).

$$\text{GP} = \left(\frac{n}{t}\right) \times 100 \quad (۱)$$

n = تعداد بذرهای جوانه زده در پایان آزمایش

t = تعداد کل بذرهای

شاخص سرعت جوانه‌زنی (GSI) از رابطه ۲ به دست آمد

(Maguire, 1962).

$$\text{GSI} = \sum \frac{ni}{ti} \quad (۲)$$

ni = تعداد بذرهای جوانه زده در طی ۳۰ روز

ti = تعداد روزهای پس از کاشت

میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT) بر اساس رابطه ۳ برآورد

شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$\text{MGT} = \frac{\sum ni \times ti}{N} \quad (۳)$$

به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. داده‌ها از نظر آماری با تحلیل واریانس (ANOVA) ارزیابی شدند. از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح $p < 0.05$ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که درصد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و بستر کشت قرار گرفت؛ درحالی‌که اثر متقابل این دو عامل بر این پارامتر غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). پیش‌تیمار هیومیک اسید به طور قابل توجهی بر این پارامتر مؤثر بود؛ به طوری که حداکثر درصد جوانه‌زنی (۸۱ درصد) با این تیمار ثبت شد که نسبت به شاهد ۳۵ درصد افزایش داشت؛ با این حال بین دو پیش‌تیمار هیومیک اسید و جلبک دریایی از نظر آماری تفاوتی مشاهده نگردید و حداقل درصد جوانه‌زنی (۶۰ درصد) به تیمار شاهد مربوط بود. بستر کشت S_5 نسبت به رفتار جوانه‌زنی از دیگر بسترهای کشت بهتر بود؛ زیرا که حداکثر درصد جوانه‌زنی (۸۱/۶۷ درصد) در این تیمار مشاهده شد. با این حال گیاهان رشد یافته در بستر کشت S_4 با گیاهان حاصل از بسترهای کشت S_3 (۷۸/۳۳ درصد)، S_4 (۷۵ درصد) و S_1 (۷۱/۶۷ درصد) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. از طرفی، در بستر کشت S_2 حداقل درصد جوانه‌زنی (۶۰ درصد) به دست آمد که با تیمارهای S_1 ، S_3 و S_4 اختلاف آماری نداشت (جدول ۳). بر اساس نتایج، بیوپرایمینگ بذر منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی بذرها شد؛ به طوری که پیش‌تیمارهای هیومیک اسید و جلبک دریایی نسبت به شاهد تأثیر یکسان و قابل توجهی بر این صفت داشتند.

در مطالعه‌ای، کاربرد هیومیک اسید سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی بذر سویا (*Glycine max* (L) Merrill) شد و نیز میانگین زمان جوانه‌زنی را به طور قابل توجهی کاهش داد (Weerasekara

2021, *et al.*). عصاره‌های *Ascophyllum nodosum* در غلظت مناسب می‌توانند جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه را بهبود بخشند (Santos *et al.*, 2019). در عصاره جلبک دریایی انواع مختلفی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه مانند آکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، اسید جیبرلیک، اسید سالیسیلیک و اسید آبسزیزیک وجود دارد (Mukherjee and Patel, 2020). جیبرلین‌ها با القای آنزیم‌های مؤثر در جوانه‌زنی بذر، باعث رفع خفتگی بذر می‌شوند و همچنین در افزایش رشد طولی گیاهان نقش دارند. در مقابل، اسید آبسزیزیک در جلوگیری از جوانه‌زنی زود هنگام بذر دخالت دارد اما از گیاهان در برابر تنش غیر زیستی محافظت می‌کند. از سوی دیگر، آکسین‌ها و سیتوکینین‌ها در غلظت‌های مناسب باعث تحریک تقسیم سلولی و طولی شدن سلول می‌شوند (Rademacher, 2015). در پژوهشی پیش‌تیمار بذر گل همیشه بهار (*Tagetes erecta*) (Tavares *et al.*, 2020) با جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum* باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی شد که مشابه با نتایج به دست آمده از این مطالعه است؛ با این حال، جلبک دریایی در غلظت‌های بالا، درصد جوانه‌زنی بذر جعفری (*Petroselinum sativum*) (Sorgatto and Silva, 2018) و فلفل شیرین (*Capsicum annuum* L. cv. All Big) Silva (2021, *et al.*) را کاهش داد.

نتایج متناقض ذکر شده در مورد تأثیر جلبک دریایی بر درصد جوانه‌زنی را می‌توان به تفاوت در گونه‌ها و ارقام گیاهی، مدت زمان پیش‌تیمار بذر، ترکیب و غلظت جلبک دریایی نسبت داد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بستر کشت S_5 در مقایسه با دیگر بسترهای کشت تأثیر بیشتری بر متغیرهای درصد جوانه‌زنی، شاخص سرعت جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی داشت که احتمالاً ناشی از پتانسیل آن در بهبود ویژگی‌های بستر کشت مانند شرایط فیزیکی و عوامل تغذیه‌ای بود.

در مجموع، بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست اثرات مشابهی داشتند. در گزارشی با هدف بررسی تأثیر بسترهای کشت مختلف بر جوانه‌زنی بذر پاپایا (*Carica papaya* L. v. Red Lady)، ترکیب ورمی‌کمپوست + ماسه + خاک (۱:۱:۱) با ۲ سانتی‌متر کوکوپیت در سطح بستر کشت به طور قابل توجهی منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر،

شاخص جوانه‌زنی، ارزش جوانه‌زنی و کاهش دوره جوانه‌زنی شد (Bhardwaj, 2013). بنابراین کاربرد توام ورمی‌کمپوست و کوکوپیت در ترکیب بستر کشت باعث ایجاد شرایط بهتر فیزیکی و تغذیه‌ای می‌شود.

جدول ۲- تجزیه واریانس پیش تیمار بذر و بستر کشت بر خصوصیات جوانه‌زنی، رشد و زیست توده گیاهچه پاپایا رقم بنگلادشی

Table 2- Analysis of variance of seed pretreatment and culture substrate on the characteristics of germination, growth and biomass of Bangladesh papaya seedlings

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares									
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination speed index	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germinati on time	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index (SVI)	ارتفاع گیاهچه Seedling height	تعداد برگ Number of leaves	قطر ساقه Stem diameter	طول ریشه Root length	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight
پیش تیمار بذر Seed pretreatment (P)	2	1343.333**	0.3303**	68.90**	3863545**	108.77**	0.635**	0.1768**	36.42**	0.0757**	0.0038**
بستر کشت Culture substrate (S)	4	416.667*	0.0291*	0.115**	547028**	2.82**	9.890**	2.7894**	3.99**	0.0134**	0.0002**
پیش تیمار بذر × بستر کشت P×S خطا	8	64.167 ^{ns}	0.0038 ^{ns}	0.05 ^{ns}	61942 ^{ns}	0.58**	0.011 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.60**	0.0045**	0.000026 ^{ns}
Error	30	133.333	0.0067	0.022	78573	0.0945	0.032	0.0105	0.018	0.0003	0.000015
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.75	14.52	1.10	15.76	1.85	2.95	4.43	1.96	3.13	6.59

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** is no significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively

شاخص سرعت جوانه‌زنی

نشان داد که با بذره‌های کشت شده در دو بستر کشت S₄ و S₁ اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت (جدول ۳). درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها در بستر کشت را می‌توان به ترکیب و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بستر کشت نسبت داد. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، درصد قابل توجهی از بذره‌های کشت شده در بستر کشت S₅ جوانه زدند و هم راستای با آن، افزایش شاخص سرعت جوانه‌زنی نیز مشاهده شد.

میانگین زمان جوانه‌زنی

پیش تیمار بذر پاپایا با کودهای زیستی بر میانگین زمان جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). با بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که پیش تیمار هیومیک اسید، میانگین زمان جوانه‌زنی را از ۱۶/۳۹ (شاهد) به ۱۱/۲۰ روز کاهش داد. در این مطالعه، میانگین زمان جوانه‌زنی تحت تأثیر بستر کشت

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس، پیش تیمار بذر و بستر کشت بر شاخص سرعت جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری داشت؛ اما اثر متقابل این دو عامل بر این پارامتر تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بذره‌های پیش تیمار شده با آب مقطر نسبت به بذره‌های پیش تیمار شده با کودهای زیستی دیرتر جوانه زدند؛ به طوری که شاخص سرعت جوانه‌زنی با پیش تیمارهای هیومیک اسید و جلبک دریایی به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۶۰ به دست آمد که هیومیک اسید در مقایسه با کود زیستی جلبک دریایی افزایش قابل توجهی را نشان داد. با بررسی تأثیر بستر کشت بر شاخص سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد که تیمارهای S₅ (۰/۶۴)، S₃ (۰/۶۱)، S₄ (۰/۵۸) و S₁ (۰/۵۵) بدون اختلاف آماری دارای بیشترین شاخص سرعت جوانه‌زنی بودند. جوانه‌زنی بذرها در بستر کشت S₂ حداقل شاخص سرعت جوانه‌زنی (۰/۴۵) را

زمان جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کاهش معنی‌دار میانگین زمان جوانه‌زنی می‌تولند به دنبال زودتر جوانه زدن بذرهای تحت تأثیر عمل بیوپرایمینگ رخ داده باشد. مطابق نتایج به دست آمده، پیش‌تیمار هیومیک اسید و بستر کشت S₅ باعث افزایش شاخص سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی شد.

نیز قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سه تیمار S₅، S₃ و S₄ بدون اختلاف آماری میانگین زمان جوانه‌زنی را به ترتیب به ۱۳/۳۷، ۱۳/۵۰ و ۱۳/۶۰ روز کاهش دادند؛ درحالی‌که تیمار S₂ میانگین زمان جوانه‌زنی را به ۱۳/۷۱ روز افزایش داد و با بسترهای کشت S₁، S₃ و S₄ در یک کلاس آماری قرار داشت. برهمکنش دو فاکتور پیش‌تیمار بذر و بستر کشت بر میانگین

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده پیش‌تیمار بذر و بستر کشت بر خصوصیات جوانه‌زنی، رشد و زیست‌توده گیاهچه پایا رقم بنگلادشی

Table 3- Effects of seed pretreatment and culture substrate on the characteristics of germination, growth and biomass of papaya seedlings of Bangladesh variety

تیمارها Treatments	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (GP%)	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination speed index (GSI)	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time (day)	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigour index (SVI)	تعداد برگ Number of leaves	قطر ساقه Stem diameter (mm)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
پیش‌تیمار بذر Seed pretreatment (P)	P ₀ 60.00 b	0.37 c	16.39 a	1112.22 c	5.83 b	2.17 b	0.040 c
	P ₁ 81.00 a	0.72 a	11.20 c	2342.49 a	6.30 a	2.43 a	0.079 a
	P ₂ 79.00 a	0.60 b	13.12 b	1881.92 b	6.23 a	2.36 a	0.057 b
بستر کشت Culture substrate (S)	S ₁ 71.67 ab	0.55 ab	13.68 a	1669.43 ab	5.22 d	1.79 d	0.056 b
	S ₂ 60.00 b	0.45 b	13.71 a	1344.00 b	4.56 e	1.52 e	0.051 b
	S ₃ 78.33 ab	0.61 a	13.50 ab	1938.55 a	7.00 b	2.85 b	0.065 a
	S ₄ 75.00 ab	0.58 ab	13.60 ab	1792.15 ab	6.11 c	2.32 c	0.057 b
	S ₅ 81.67 a	0.64 a	13.37 b	2150.25 a	7.72 a	3.13 a	0.065 a

P₀، P₁ و P₂: به ترتیب آب مقطر (شاهد)، هیومیک اسید و جلبک دریایی. S₁، S₂، S₃، S₄ و S₅: به ترتیب کمپوست : پرلیت : ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست : پرلیت : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی‌کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت : ورمی‌کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی‌کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت : ورمی‌کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست : پرلیت : ورمی‌کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

P₀, P₁ and P₂ are distilled water (control), humic acid and seaweed, and S₁, S₂, S₃, S₄ and S₅ are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1). Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at p < 0.05.

شاخص بنیه گیاهچه

ممکن است به دلیل نقش هر یک از آن‌ها در فرآیندهای جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه باشد. زیرا میزان شاخص بنیه گیاهچه تابعی از درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه می‌باشد.

هر یک از اثرات ساده پیش‌تیمار بذر و بستر کشت بر شاخص بنیه گیاهچه تأثیر معنی‌داری داشتند؛ اما اثر متقابل این دو فاکتور بر این پارامتر معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر تأثیر قابل توجه کودهای زیستی بر شاخص بنیه گیاهچه در مقایسه با شاهد بود؛ زیرا که حداکثر شاخص بنیه گیاهچه با پیش‌تیمار هیومیک اسید (۲۳۴۲/۴۹) حاصل شد. با بررسی نتایج به دست آمده از تأثیر فاکتور بستر کشت بر شاخص بنیه گیاهچه مشاهده شد که تیمارهای S₅ (۲۱۵۰/۲۵)، S₃ (۱۹۳۸/۵۵)، S₄ (۱۷۹۲/۱۵) و S₁ (۱۶۶۹/۴۳) بدون اختلاف آماری حداکثر شاخص بنیه گیاهچه را نشان دادند و حداقل میزان آن (۱۳۴۴/۰۰) برای تیمار S₂ ثبت شد که در عین حال با بستر کشت S₁ و S₄ از نظر آماری تفاوتی نداشت. افزایش شاخص بنیه گیاهچه تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر و بستر کشت

ارتفاع گیاهچه و طول ریشه

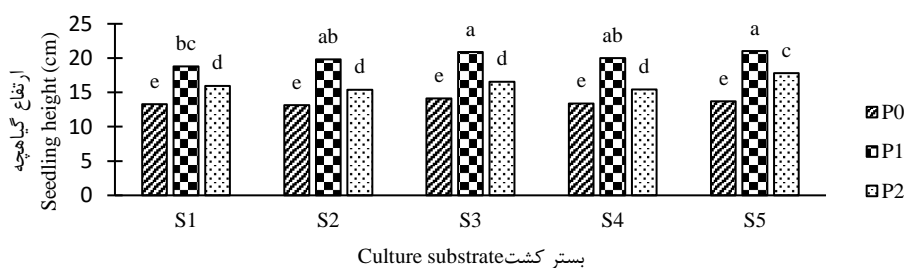
بررسی نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفات ارتفاع گیاهچه و طول ریشه، تأثیر معنی‌دار پیش‌تیمار بذر، بستر کشت و برهمکنش آن‌ها را نشان داد (جدول ۲). به نظر می‌رسد که هر دو عامل پیش‌تیمار بذر و بستر کشت بر دو صفت ارتفاع گیاهچه و طول ریشه تأثیر داشتند؛ اما این تأثیر در مورد پیش‌تیمار بذر شدیدتر بود؛ به طوری که حداکثر ارتفاع گیاهچه در تیمارهای P₁S₄ (۲۱/۰۳ سانتی‌متر)، P₁S₃ (۲۰/۸۷ سانتی‌متر) و P₁S₅ (۱۹/۹۹ سانتی‌متر) و P₁S₂ (۱۹/۸۲ سانتی‌متر) مشاهده شد. حداقل ارتفاع گیاهچه در برهمکنش پیش‌تیمار آب مقطر با همه

(Bhardwaj, 2013; Pant and Verma, 2022).

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشانگر تأثیر معنی دار پیش تیمار بذر و بستر کشت بر پارامتر تعداد برگ بود (جدول ۲)؛ با این حال اثر متقابل دو فاکتور پیش تیمار بذر و بستر کشت بر این متغیر غیر معنی دار مشاهده شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، پیش تیمارهای هیومیک اسید و جلبک دریایی بدون اختلاف آماری به ترتیب تعداد برگ را از ۵/۸۳ (شاهد) به ۶/۳۰ (۸/۰۶ درصد) و ۶/۲۳ (۶/۸۶ درصد) افزایش دادند. گیاهان پرورش یافته در بستر کشت S₅ و S₂ به ترتیب بیشترین (۷/۷۲) و کمترین تعداد برگ (۴/۵۶) را به ثبت رساندند (جدول ۳). مطابق نتایج، اعمال تیمارهای کود زیستی باعث افزایش تعداد برگ نسبت به تیمار شاهد شد؛ این امر ناشی از تأثیر کودهای زیستی بر خصوصیات جوانه زنی هم‌چون زود هنگام جوانه زدن بذرها بود؛ بدین جهت که گیاهچه‌های حاصل، استقرار و زمان بیشتری برای رشد و نمو در بستر کشت ایده‌آل برای رشد اولیه گیاهچه داشتند؛ با این وجود، اثر برهمکنش دو عامل پیش تیمار بذر و بستر کشت بر پارامتر تعداد برگ معنی دار مشاهده نشد.

بسترهای کشت بدون اختلاف آماری به دست آمد (شکل ۱). تیمارهای P₁S₅ و P₁S₃ با یک کلاس آماری به ترتیب با ۹/۷۳ و ۹/۴۶ سانتی‌متر بیشترین طول ریشه را ثبت کردند؛ با این حال کمترین طول ریشه در تیمارهای P₀S₂ (۴/۳۲ سانتی‌متر) و P₀S₁ (۴/۰۶ سانتی‌متر) مشاهده شد (شکل ۲). به طور کل، بیشترین ارتفاع گیاهچه و طول ریشه با تیمار P₁S₅ به دست آمد. مطابق نتایج، در گیاهان حاصل از بذرها پیش تیمار شده با هیومیک اسید و جلبک دریایی در بسترهای کشت مختلف، رشد قبل توجیهی در ارتفاع لندام هوایی و طول ریشه آن‌ها نسبت به گیاهان رشد یافته از بذرها پیش تیمار شده با آب مقطر مشاهده شد که می‌تواند ناشی از تأثیر کودهای زیستی در افزایش سرعت جوانه زنی بذرها باشد. به طور مشابه چنین اثری در پیش تیمار بذر گندم (*Triticum aestivum*) با هیومیک اسید در افزایش رشد گیاه مشاهده شد (Hassan *et al.*, 2014). عملکرد بهتر بستر کشت S₅ ممکن است به دلیل سهولت در جذب مواد مغذی توسط ریشه، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تخلخل کافی باشد که باعث رشد بهتر ریشه و اندام هوایی می‌شود. نتایج تحقیقات پیشین، بیانگر رشد و نمو بهتر گیاهچه پایا (*Carica papaya* L. V. Red Lady) در بسترهای کشت حاوی ورمی کمپوست و کوکوپیت بود.

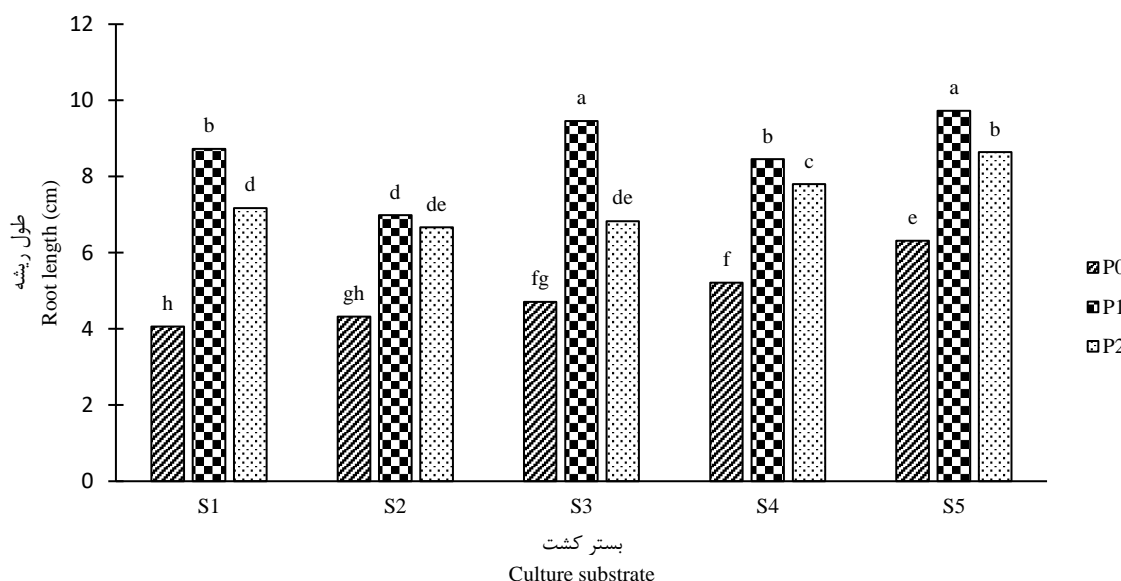


شکل ۱- اثر پیش تیمار بذر و بستر کشت بر ارتفاع گیاهچه

Figure 1- The effect of seed pretreatment and culture substrate on seedling height

P₀, P₁ و P₂: به ترتیب آب مقطر (شاهد)، هیومیک اسید و جلبک دریایی. S₁, S₂, S₃, S₄ و S₅: به ترتیب کمپوست + پرلیت: ورمی کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست + پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

P₀, P₁ and P₂ are distilled water (control), humic acid and seaweed, and S₁, S₂, S₃, S₄ and S₅ are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1). Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۲- اثر پیش تیمار بذر و بستر کشت بر طول ریشه

Figure 2- The effect of seed pretreatment and culture substrate on root length

P0, P1 and P2: به ترتیب آب مقطر (شاهد)، هیومیک اسید و جلبک دریایی. S1, S2, S3, S4 و S5: به ترتیب کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست : پرلیت : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱:۱). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

P0, P1 and P2 are distilled water (control), humic acid and seaweed, and S1, S2, S3, S4 and S5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1). Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.

به عنوان پیش تیمار بذر در آفتابگردان زینتی (*Helianthus*

annuus) باعث افزایش ارتفاع ساقه، قطر ساقه و وزن تر ساقه شد (Baldotto and Baldotto, 2015).

وزن خشک شاخساره و ریشه

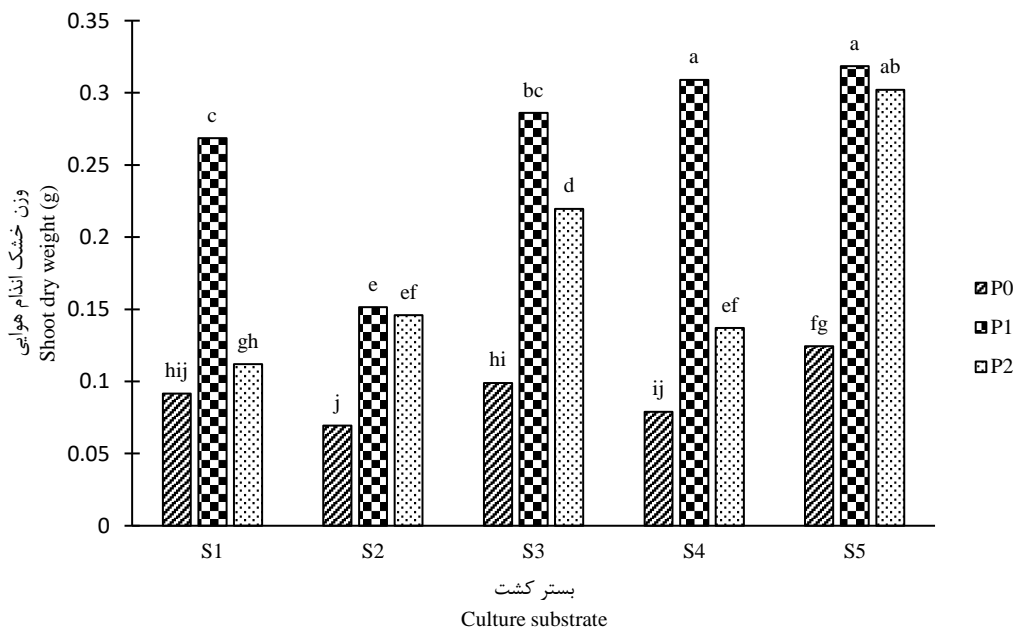
اثر پیش تیمار بذر و بستر کشت بر وزن خشک شاخساره و ریشه و اثر متقابل تیمارها تنها بر وزن خشک شاخساره معنی دار بود (جدول ۲). در بررسی مقایسه میانگین‌ها، حداکثر وزن خشک شاخساره برای تیمارهای P1S5 (۰/۳۱۹ گرم) و P1S4 (۰/۳۰۹ گرم) و P2S5 (۰/۳۰۲ گرم) بدون اختلاف آماری به ثبت رسید. حداقل وزن خشک شاخساره در برهمکنش پیش تیمار آب مقطر با بسترهای کشت S1، S2 و S4 به دست آمد که از لحاظ آماری در یک کلاس قرار داشتند (شکل ۳). پیش تیمار بذر با کودهای زیستی منجر به افزایش وزن خشک ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شد که در این میان، هیومیک اسید برتر بود. بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۰۶۵ گرم) در دو بستر کشت S3 و S5 مشاهده شد؛ در مقابل، گیاهانی که در سایر بسترهای کشت رشد یافته بودند، دارای کمترین وزن

قطر ساقه

بنابر داده‌های به دست آمده از تجزیه واریانس، اثر پیش تیمار بذر بر قطر ساقه معنی دار مشاهده شد (جدول ۲). پیش تیمار هیومیک اسید نسبت به شاهد بیشترین قطر ساقه (۲/۴۳ میلی‌متر) را نشان داد (جدول ۳)؛ با این حال با پیش تیمار جلبک دریایی (۲/۳۶ میلی‌متر) بدون اختلاف آماری بود. به طور مشابه اثر بستر کشت بر پارامتر قطر ساقه نیز معنی دار بود (جدول ۲). در بررسی پاسخ بسترهای کشت مختلف به قطر ساقه مشخص شد که بستر کشت S5 بهترین پاسخ و بیشترین قطر ساقه (۳/۱۳ میلی‌متر) را نشان داد و حداقل قطر ساقه (۱/۵۲ میلی‌متر) در تیمار S2 مشاهده شد (جدول ۳). بنا بر نتایج، اثر پیش تیمار بذر و بستر کشت به طور متقابل بر قطر ساقه معنی دار نبود (جدول ۲). دلیل افزایش قطر ساقه تحت تأثیر پیش تیمار بذر با کودهای زیستی و بستر کشت را می‌توان به تحریک و تسریع جوانه‌زنی توسط هیومیک اسید و جلبک دریایی و رشد سریع گیاهچه در بسترهای کشت حاوی ورمی کمپوست نسبت داد. در مطالعه‌ای کاربرد هیومیک اسید

توجهی در ارتفاع اندام هوایی، تعداد برگ، قطر ساقه و طول ریشه آنها نسبت به گیاهان رشد یافته از بذرهایی پیش تیمار شده با آب مقطر داشتند، وزن خشک شاخساره و ریشه نیز در این تیمارها بیشتر بود. در پژوهشی، نتایج مثبتی در رشد گیاهچه و وزن خشک ساقه ذرت (*Zea mays* L.) در اثر پیش تیمار بذر با هیومیک اسید مشاهده شد (Rodrigues *et al.*, 2017) که با نتایج به دست آمده مطابقت دارد.

خشک ریشه بودند و از نظر آماری تفاوتی نداشتند (جدول ۳). گیاهان به دست آمده از بذرهایی پیش تیمار شده با هیومیک اسید و رشد یافته در بستر کشت S₅ میزان وزن خشک شاخساره و ریشه قابل توجهی داشتند؛ این امر به دلیل برطرف شدن سریع خواب بذر و شروع جوانه زنی و نیز آسانی جذب آب و مواد مغذی بیشتر توسط گیاهان در طول دوره رشد است. با توجه به اینکه بذرهایی پیش تیمار شده با کودهای زیستی خصوصاً هیومیک اسید در بسترهای کشت مختلف، رشد قابل



شکل ۳- اثر پیش تیمار بذر و بستر کشت بر وزن خشک اندام هوایی

Figure 3- The effect of seed pretreatment and culture substrate on shoot dry weight

P₀, P₁ و P₂: به ترتیب آب مقطر (شاهد)، هیومیک اسید و جلبک دریایی. S₁, S₂, S₃, S₄ و S₅: به ترتیب کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست : پرلیت : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست : ورمی کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست : پرلیت : ورمی کمپوست : کوکوپیت (۱:۱:۱). ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند

P₀, P₁ and P₂ are distilled water (control), humic acid and seaweed, and S₁, S₂, S₃, S₄ and S₅ are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1). Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.

هیومیک اسید و بسترهای کشت حاوی ورمی کمپوست استفاده شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه زابل به خاطر تأمین هزینه‌های این پژوهش (با شماره پژوهانه UOZ-GR-8414) تشکر و قدردانی می‌کنند.

نتیجه گیری کلی

بیوپرایمینگ بذر باعث تسریع فرآیند جوانه زنی و افزایش رشد و نمو گیاهچه پاپایا شد. بسترهای کشت حاوی ورمی کمپوست برای جوانه زنی بذر، استقرار و رشد گیاهچه پاپایا نتایج قابل توجهی نشان دادند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، توصیه می‌شود که برای افزایش درصد جوانه زنی و تولید گیاهچه‌های سالم از بیوپرایمینگ بذر به ویژه با کود زیستی

References

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D., 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6), pp.630-633.
- Acharya, P., Jayaprakasha, G.K., Crosby, K.M., Jifon, J.L. and Patil, B.S., 2020. Nanoparticle-Mediated Seed Priming Improves Germination, Growth, Yield, and Quality of Watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific Reports*, 10, pp.5037. doi: **10.1038/s41598-020-61696-7**
- Anjos Neto, A.P.D., Oliveira, G.R.F., Mello, S.D.C., Silva, M.S.D., Gomes-Junior, F.G., Novembre, A.D.D.L.C. and Azevedo, R.A., 2020. Seed priming with seaweed extract mitigate heat stress in spinach: effect on germination, seedling growth and antioxidant capacity. *Bragantia*, 79, pp.502-511. doi: **10.1590/1678-4499.20200127**
- Awang, Y., Shaharom, A.S., Mohamad, R.B. and Selamat, A., 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(1), pp.63-71. doi: **10.3844/ajab.2009.63.71**
- Baldotto, L.E.B. and Baldotto, M.A., 2015. Growth and production of ornamental sunflower grown in the field in response to application of humic acids. *Ciência Rural*, 45, pp.1000-1005. doi: **10.1590/0103-8478cr20140050**
- Bhardwaj, R.L., 2013. Effects of nine different propagation media on seed germination and the initial performance of papaya (*Carica papaya* L.) seedlings. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(5), pp.531-536. doi: **10.1080/14620316.2013.11513002**
- Čabilovski, R., Manojlović, M.S., Popović, B.M., Radojčin, M.T., Magazin, N., Petković, K., Kovačević, D. and Lakićević, M.D., 2023. Vermicompost and Vermicompost Leachate Application in Strawberry Production: Impact on Yield and Fruit Quality. *Horticulturae*, 9, pp.1-12. doi: **10.3390/horticulturae9030337**
- Cavalcante, I.H.L., Da Silva, R.R.S., Albano, F.G., De Lima, F.N. and Marques, A.D.S., 2011. Foliar spray of humic substances on seedling production of papaya (Pawpaw). *Journal of Agronomy*, 10(4), pp.118-122. doi: **10.3923/ja.2011.118.122**
- Choudhary, R.C., Kanwar, J. and Singh, P., 2022. Effect of Gibberellic acid (GA₃) and growing media on seedling growth parameters of papaya (*Carica papaya* L.) cv. Pusa Nanha. *The Pharma Innovation Journal*, 11(1), pp.247-251.
- de Melo, B.A.G., Motta, F.L. and Santana, M.H.A., 2016. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering: C*, 62, pp.967-974. doi: **10.1016/j.msec.2015.12.001**
- Dotto, J.M. and Abihudi, S.A., 2021. Nutraceutical value of *Carica papaya*: A review. *Scientific African*, 13, pp.1-15. doi: **10.1016/j.sciaf.2021.e00933**
- Ellis, R.H. and Roberts, E.H., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, pp.373-409.
- Farooq, M., Wahid, A. and Siddique, K.H.M., 2012. Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), pp.125-142. doi:

10.4067/s071895162012000100011

Garcia-Gonzalez, J. and Sommerfeld, M., 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Journal of Applied Phycology*, 28, pp.1051-1061. **doi:**

10.1007/s10811015-0625-2

Hassan, A., Yasir, A., Abdul, R. and Dost, M., 2014. Effect of humic acid on root elongation and percent seed germination of wheat seeds. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(4), pp.196-201.

Hassan, S.A.M., Taha, R.A., Zaied, N.S. and Essa, E.M., 2022. Effect of vermicompost on vegetative growth and nutrient status of acclimatized Grand Naine banana plants. *Heliyon*, 8(10), pp.1-7. **doi:**

10.1016/j.heliyon.2022.e10914

Jackson, D.K., 1974. Some characteristics of perlite as an experimental growth medium. *Plant and Soil*, 40, pp.161-167.

Maguire, J.D., 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, pp.176-177.

Meng, X., Dai, J., Zhang, Y., Wang, X., Zhu, W., Yuan, X., Yuan, H. and Cui, Z., 2018. Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. *Journal of Environmental Management*, 216, pp.62-69. **doi: 10.1016/j.jenvman.2017.09.056**

Mukherjee, A. and Patel, J.S., 2020. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, pp.553-558. **doi:**

10.1007/s13762-019-02442-z

Pant, P. and Verma, M.K., 2022. Standardization of media and container for improving seed and seedling growth in papaya (*Carica papaya*) cv. Red Lady. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(3), pp.329-333. **doi:**

10.56093/ijas.v92i3.122680

Paparella, S., Araújo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D. and Balestrazzi, A., 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34, pp.1281-1293. **doi: 10.1007/s00299-015-1784-y**

Rademacher, W., 2015. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. *J Plant Growth Regul*, 34, pp.845-872. **doi: 10.1007/s00344-015-9541-6**

Rodrigues, L.A., Alves, C.Z., Rego, C.H.Q., Silva, T.R.B.D. and Silva, J.B.D., 2017. Humic acid on germination and vigor of corn seeds. *Revista Caatinga*, 30, pp.149-154. **doi: 10.1590/1983-21252017v30n116rc**

Santos, P.L.F.D., Zabotto, A.R., Jordão, H.W.C., Boas, R.L.V., Broetto, F. and Tavares, A.R., 2019. Use of seaweed-based biostimulant (*Ascophyllum nodosum*) on ornamental sunflower seed germination and seedling growth. *Ornamental Horticulture*, 25, pp.231-237. **doi: 10.1590/2447-536x.v25i3.2044**

Shamya Arokia rajan, M., Thriunavukkarasu, R., Joseph, J. and Aruni, W., 2020. Effect of seaweed on seed germination and biochemical constituents of *Capsicum annum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, pp.101761. **doi: 10.1016/j.bcab.2020.101761**

Sharma, P., Yadav, R., Jain, M. and Bhatshwar, C., 2021. Growing media and cow urine influence the seed germination and seedling growth of Papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Crop and Weed*, 17(3), pp.253-

259. doi: [10.22271/09746315.2021.v17.i3.1520](https://doi.org/10.22271/09746315.2021.v17.i3.1520)

Silva, M.B.P.D., Silva, V.N. and Vieira, L.C., 2021. Biopriming of sweet pepper and tomato seeds with *Ascophyllum nodosum*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(1), pp.9423-9430. doi: [10.15446/rfnam.v74n1.88240](https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.88240)

Sorgatto, K.P. and Silva, V.N., 2018. Embebição de sementes de salsa com *Ascophyllum nodosum*: efeitos na germinação e crescimento de plântulas sob estresse térmico. *Acta Biológica Catarinense*, 5(3), pp.98-106. doi: [10.21726/abc.v5i3.410](https://doi.org/10.21726/abc.v5i3.410)

Tavares, A.R., dos Santos, P.L.F., Zabotto, A.R., do Nascimento, M.V.L., Jordão, H.W.C., Boas, R.L.V. and Broetto, F., 2020. Seaweed extract to enhance marigold seed germination and seedling establishment. *SN Applied Sciences*, 2, pp.1792. doi: [10.1007/s42452-020-03603-3](https://doi.org/10.1007/s42452-020-03603-3)

Weerasekara, I., Sinniah, U.R., Namasivayam, P., Nazli, M.H., Abdurahman, S.A. and Ghazali, M.N., 2021. Priming with humic acid to reverse ageing damage in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill.] seeds. *Agriculture*, 11(10), pp.66. doi: [10.3390/agriculture11100966](https://doi.org/10.3390/agriculture11100966)

The effect of culture substrate and seed pretreatment on the production of papaya seedlings of Bangladeshi variety

Ali Najm¹, Mehdi Aran^{2*}, Abdolrahman Rahimian Boogar²

¹ M.Sc Graduate, Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: mehdiaran@uoz.ac.ir

Received: 29 March 2023

Accepted: 6 May 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.391214.1334

Abstract

Introduction: Papaya (*Carica papaya* L.) is a plant from the Caricaceae family and grows well in tropical and subtropical regions. Seed Pretreatment and culture substrate are important and effective factors in the processes of germination and seedling growth. In seed priming, seeds are partially hydrated to allow metabolic events to occur without actual germination and then re-dried.

Materials and Methods: The experiment was done in a factorial arrangement with the two factors of seed pretreatment and culture substrate in a completely randomized design with 15 treatments, 3 replications, and 10 seeds per replication. This experiment was conducted in 2022 in the research greenhouse of University of Zabol. Pretreatment of seeds including distilled water as control (P0), humic acid (P1) and seaweed (P2) and culture substrate including compost: perlite: vermicompost (1:1:1) (S1), compost: perlite: cocopeat (1 :1:1) (S2), compost: vermicompost: cocopeat (1:1:1) (S3), perlite: vermicompost: cocopeat (1:1:1) (S4) and compost: perlite: vermicompost: cocopeat (1) :1:1:1) was (S5). Pretreatment of biofertilizers including 200 mg/l of humic acid (Humi grow 80% Gardesco) and 2 g/l of 30% Hortiland Vita free seaweed extract based on *Ascophyllum nodosum* was used for the pretreatment of Bangladeshi variety papaya seeds. Before planting, seeds were first disinfected with 1% sodium hypochlorite solution for 2 minutes and then rinsed 3 times with distilled water. They were then soaked in the pre-prepared solutions at a temperature of 25 °C for 24 hours in dark room, and then air dried and were cultivated in 32-cells plug containing the desired culture substrates.

Results and Discussion: The results indicated a significant effect of seed pretreatment and culture substrate on the germination and growth of papaya seedlings. The minimum average germination time (11.20 day), maximum germination speed index (0.72), seedling vigor index (2342.49) and root dry weight (0.079 g) were recorded for humic acid pretreatment. In addition, under the influence of biopriming with both humic acid and seaweed biofertilizers, the maximum percentage of germination (81% and 79%, respectively), number of leaves (6.30 and 6.23, respectively) and stem diameter (2.43 and 2.36 mm, respectively) compared to the control. Among the cultivation substrates, S5 and S3 substrates showed better results in terms of germination and seedling growth compared to other cultivation substrates. Examining the results of interaction showed that the maximum seedling height was observed in treatments P1S5 (21.03 cm), P1S3 (20.87 cm), P1S4 (19.99 cm) and P1S2 (19.82 cm). P1S5 and P1S3 treatments recorded the highest root length with a statistical class of 9.73 and 9.46 cm, respectively. The maximum shoot dry weight was recorded for treatments P1S5 (0.319 g), P1S4 (0.309 g) and P2S5 (0.302 g) without statistical difference. The plants obtained from the seeds pretreated with humic acid and grown in the S5 culture substrate had significant shoot and root dry weights; This is due to the rapid reversal of seed dormancy and the beginning of germination, as well as the ease of absorption of more water and nutrients by plants during the growth period.

Conclusion: seed biopriming accelerated the germination process and increased the growth of papaya seedlings. Cultivation substrates containing vermicompost showed significant results for seed germination, establishment and growth of papaya seedlings. Based on the results of the present study,

it is recommended to use seed biopriming, especially with humic acid biofertilizer and vermicompost-containing culture substrate, to increase the germination percentage and produce healthy seedlings.

Keywords: Bio-fertilizer, Germination duration, Germination speed, Seedling growth

مطالعه تأثیر استفاده از مایکوریزا و سطوح مختلف کودهای شیمیایی و دامی بر برخی صفات کاکتوس علوفه‌ای (*Opuntia ficus-indica* L.)

فاطمه فاطمی نیک^۱، خسرو عزیزی^{۲*}، ثریا قاسمی^۳، امیدعلی اکبرپور^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۳- عضو هیات علمی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، ایران

* مسئول مکاتبه: azizi.kh@lu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.357410.1269

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

چکیده

در سال‌های اخیر، توجه به کاکتوس علوفه‌ای به‌عنوان گیاهی مقاوم به شرایط خشکی و نیز مانعی در برابر بیابان‌زایی و تنوع‌بخشی به پوشش گیاهی در مراتع کم بارش بیشتر شده است. به‌منظور بررسی تأثیر استفاده از قارچ مایکوریزا و سطوح مختلف کود شیمیایی و دامی به صورت جداگانه و تلفیقی بر برخی صفات کمی و کیفی کاکتوس علوفه‌ای آزمایشی در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل قارچ مایکوریزا در ۲ سطح (مصرف و عدم مصرف مایکوریزا)، کود دامی در ۴ سطح (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) و کود نیتروژن در ۴ سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. بیشترین عملکرد تر و عملکرد خشک در تیمار استفاده تلفیقی از ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن + ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) با کمترین مقدار به‌دست آمد. درصد پروتئین خام و خاکستر علوفه در این تیمار به ترتیب ۸۳/۰۵ و ۸۸/۲۶ درصد افزایش نشان دادند و درصد صفات کاهنده کیفیت علوفه شامل الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و فیبرخام در مقایسه با تیمار شاهد بیشترین کاهش را نشان دادند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، استفاده تلفیقی از کود دامی و شیمیایی موجب بهبود صفات کمی و کیفی در کاکتوس علوفه‌ای گردید. تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای استفاده از مایکوریزا و عدم استفاده از آن مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، پد، درصد پروتئین، عملکرد تر و خشک

مقدمه

کشت و کار در شرایط سخت و نامساعد محیطی مناسب می‌سازد (Baligar et al., 2001). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاکتوس علوفه‌ای به دلیل داشتن قابلیت هم‌بالا برای دام، از مهم‌ترین منابع تغذیه علوفه‌ای به شمار می‌آید (Iqbal et al., 2020). با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر کشور که تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها به‌ویژه در فصول گرم و خشک و در شرایط خشک‌سالی بسیار دشوار بوده و اکثر دامداران مجبور به تحمل هزینه‌ای گزاف جهت تأمین علوفه مورد نیاز دام‌هایشان می‌شوند، استفاده از گیاه کاکتوس به‌عنوان علوفه‌ای که با جذب حجم زیادی از آب در اندام خود می‌تواند علاوه بر تأمین غذا، آب مورد نیاز احشام را نیز فراهم کند از نظر اقتصادی بسیار به‌صرفه خواهد بود (Shahbazi and Yusefi, 2021).

کاکتوس علوفه‌ای گیاهی چندساله متعلق به خانواده

عدم تأمین علوفه با عملکرد و کیفیت بالا به‌منظور تغذیه دام از جمله عوامل مهم محدودکننده در توسعه دامداری و تولید مواد دامی در ایران است (Keshavarz Afshar et al., 2014). یکی از راه‌کارهای مقابله با کمبود آب و صدمات زیست‌محیطی، استفاده از گیاهانی است که ضمن تولید علوفه مناسب، توانایی مقابله با شرایط سخت و نامساعد محیطی را دارند. معرفی محصولات علوفه‌ای مقاوم به خشکی، دغدغه‌ای مهم برای متخصصان تغذیه است. به‌منظور مقابله با پیامدهای خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کشت محصولات علوفه‌ای مقاوم به خشکی باید به‌طور ویژه مورد توجه قرار گیرد. کاکتوس‌های علوفه‌ای دارای خصوصیات مناسبی در زمینه مقاومت به خشکی هستند (Nakhaee, 2021).

گیاه کاکتوس دارای ویژگی‌های بارزی است که آن را جهت

و کارایی مصرف آن‌ها نیز پایین است (Jahanzad *et al.*, 2015). برای محصولات علوفه‌ای تعیین سطوح کوددهی به‌ویژه کود نیتروژن بسیار مهم است. سطح نیتروژن مطلوب می‌تواند منجر به عملکرد بالا و کیفیت علوفه خوب شود. نیتروژن به عنوان یکی از عناصر غذایی پرمصرف بر رشد، حفظ سطح برگ، کارایی فتوسنتز (Arduini *et al.*, 2006) و تقسیم مواد خشک به اندام‌های تولید مثل تأثیر مثبت می‌گذارد (Prystupa *et al.*, 2004).

قارچ‌های میکوریزا با توجه به نقشی که در تأمین عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک ایفا می‌کنند مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند. از ویژگی‌های دیگر این قارچ‌ها افزایش جذب، حلالیت عناصر غذایی، انتقال آب و مواد غذایی و افزایش فتوسنتز (Ruiz-Sanchez *et al.*, 2010)، افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی (Cardoso and Kuyper, 2006) و افزایش مقاومت گیاه به شرایط نامساعد محیطی و انواع تنش مانند شوری و خشکی (Wu *et al.*, 2014) در صورت فعالیت مناسب در خاک می‌باشد. علی‌رغم اهمیت ویژه‌ی کاکتوس علوفه‌ای متأسفانه تحقیقات اندکی در مورد استفاده از آن به عنوان علوفه دام در ایران انجام شده است و به‌همین دلیل اطلاعات محدودی در مورد ارزش غذایی آن وجود دارد (Noorollahi *et al.*, 2016).

لذا با توجه به اهمیت تولید گیاهان علوفه‌ای و بهبود کیفیت آن‌ها تحت تأثیر نهاده‌های مختلف کودی، این آزمایش با هدف بررسی اثر استفاده از سطوح مختلف کودهای زیستی، شیمیایی و دامی و برهمکنش آن‌ها بر خصوصیات کیفی و کمی کاکتوس علوفه‌ای و تعیین سطح کودی بهینه در آن، در شهرستان خرم آباد لرستان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در شهرستان خرم آباد، ۵ کیلومتر ۵ جاده خرم آباد- اندیمشک با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالیانه ۴۷۱/۶ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و اقلیم نیمه‌خشک در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۳۹۸ اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش نمونه

Cactaceae است که در سال‌های اخیر توجه به آن به عنوان علوفه‌ی مقاوم به خشکی و گرما با بهره‌وری و عملکرد بالا و مانعی در برابر فرسایش خاک، بیابان‌زایی و تنوع‌بخشی به پوشش گیاهی در مراتع کم بارش بیشتر شده است (Slimen *et al.*, 2017; Díaz *et al.*, 2016). این گیاه می‌تواند در خاک‌های فقیر و مناطق خشک زنده بماند، اما اگر در معرض خاک‌های مرغوب، کوددهی و آبیاری فراوان قرار گیرد، عملکرد آن نیز به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. دانشمندان اغلب بر این گیاه به‌علت استفاده از انواع مختلف آن به‌عنوان مواد غذایی و محصولات کشاورزی (زیستی، میوه و تازه‌خوری، علوفه و مدیریت آفات)، بیش از دیگر کاکتوس‌ها، تأکید می‌کنند (Scalisia *et al.*, 2016). کاکتوس علوفه‌ای یک مخزن آب واقعی است که ۸۸-۸۷ درصد آب در پدهای آن (ساقه‌های گوشتی آبدار) قرار دارد این گیاه یک محصول ناشناخته است که توجه بیشتر به گونه‌های اپونتیا به‌عنوان منبع تغذیه و تأمین آب برای دام و پتانسیلی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و بیابان‌زایی باید انجام گیرد (Snyman, 2013). استفاده از پدهای آن به عنوان علوفه برای احشام در مناطق نیمه‌خشک و خشک جهان به‌ویژه در دوره‌های زمانی که علوفه با کیفیت و مرغوب کمتری در مرتع وجود دارد حائز اهمیت است (Rodrigues *et al.*, 2016). این گیاه خوش‌خوراک بوده و شتر، بز، گوسفند و گاو تمایل فراوانی برای تغذیه از آن نشان می‌دهند. تغذیه دام از این گیاه به‌ویژه در مناطق خشک، دام را تا حد زیادی از نوشیدن آب بی‌نیاز می‌کند (Firew *et al.*, 2006; Nakhaee, 2021).

برای رسیدن به سطح مطلوب تولیدات دامی، تأمین نیاز غذایی دام به‌ویژه از نظر مواد معدنی ضروری بوده و این امر زمانی امکان‌پذیر است که کیفیت خوراک از نظر ترکیبات شیمیایی مطالعه شده باشد. از جمله راه‌کارهای مؤثر بر تقویت عناصر خاک استفاده از کودهای آلی نظیر کود دامی، بقایای گیاهان و کود سبز می‌باشد (Eteng *et al.*, 2014). در اکثر خاک‌های زراعی ایران، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل پایین بودن مقدار مواد آلی خاک و کمبود نیتروژن، عملکرد محصولات علوفه‌ای پایین است. این مشکل باید با استفاده صحیح و مناسب از کودهای نیتروژنی برطرف شود اما غالباً این کودها به صورت علمی و مدیریت شده مصرف نمی‌شود

مرکبی از خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Physical and chemical properties of farm soil

سال	عمق	هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن	پتاسیم	فسفر	کربن آلی	شن	رس	لای	بافت
Year	Depth (cm)	EC (ds m ⁻¹)	pH	N (%)	K (ppm)	P (ppm)	O.C (%)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Texture
۱۳۹۹-۱۳۹۸											رسی-سیلتی
2019-2020	0-40	0.61	7.72	0.041	285	7.5	0.75	13	46.5	40.5	Silty-clay

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی کود دامی مورد استفاده

Table 2- Results of physical and chemical analysis of the used manure

هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن N	مس	روی	منگنز	منیزیم Mg	آهن	پتاسیم	فسفر	درصد کربن آلی
EC (mmhos/cm)	pH	(%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	(ppm)	Fe (ppm)	K (ppm)	P (ppm)	O.C (%)
6.21	8.37	2.57	54.02	23.08	43.12	0.44	12.35	2.04	0.68	8.35

کود دامی، M₂: ۲۰ تن در هکتار کود دامی، M₃: ۳۰ تن در هکتار کود دامی) و چهار سطح کود شیمیایی نیتروژن (اوره): N₀: (عدم مصرف) کود اوره، N₁: (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) کود اوره، N₂: (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) کود اوره، N₃: (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) کود اوره انجام گردید.

ارتفاع بوته

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته تعداد ۴ عدد از بوته‌های هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و در پایان هر سال زراعی از محل رویش تا بالاترین نقطه‌ی گیاه با خطکش اندازه‌گیری و یادداشت گردید.

عملکرد تر و خشک

برای اندازه‌گیری این صفات در انتهای سال دوم، برداشت ۵ عدد از هر کرت انجام گردید، برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه تر بلافاصله پدها با ترازوی دیجیتال توزین گردیدند و برای اندازه‌گیری عملکرد خشک، پدها به قطعات کوچکی برش داده شدند و در آن به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت گردید.

به منظور آماده‌سازی بستر کشت ابتدا زمین مورد نظر برای اجرای آزمایش شخم زده شد. پس از عملیات آماده‌سازی زمین نقشه آزمایش روی زمین پیاده و اجرا گردید و تیمارهای کودی طبق طرح آزمایشی اعمال گردید. یک‌سوم تیمار کودی اوره در ابتدای رشد و مابقی به صورت سرک طی دو مرحله و در زمان‌های رشد سریع و پدزایی کاکتوس به کار برده شد. در سال دوم هم اعمال تیمارهای کودی در زمان رشد و پدزایی طبق نقشه طرح اعمال گردید. ابعاد هر کرت ۶ مترمربع (۴×۱/۵) با ۴ خط کشت و تراکم بوته ۳/۳۳ در هر مترمربع بود. فاصله روی ردیف‌ها و بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر، بین کرت‌ها ۱/۵ متر و بین تکرارها ۳ متر برای ایجاد نهر آبیاری و نهر خروجی هرآب در نظر گرفته شد. پدهای مورد کاشت از پایه مادری سه ساله از مزرعه تحقیقاتی وابسته به مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) در شهرستان مهران متعلق به مرکز تحقیقات کشاورزی استان ایلام تهیه و به مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی در خرم‌آباد منتقل شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: مایکوریزا (M₁: استفاده از مایکوریزا و M₀ عدم استفاده از مایکوریزا)، چهار سطح کود دامی (گاوی) M₀ (عدم مصرف کود دامی، M₁: ۱۰ تن در هکتار

تجزیه کیفی علوفه

صفات کیفی مورد نظر شامل NDF (الیاف نامحلول در شوینده خنثی)، ADF (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی)، CF (فیبرخام)، ASH (خاکستر) و CP (پروتئین خام) بودند که با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک (NIR: Near infrared spectroscopy)، (مدل DA 7250 شرکت سازنده : perten Sweden) در طول موج‌های بین ۷۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر اندازه‌گیری‌ها انجام شد (Jafari *et al.*, 2003).

(کلیه اندازه‌گیری‌ها برای سنجش کیفی صفات در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان انجام شد)

تجزیه کمی داده‌ها پس از آزمون بارتلت با نرم‌افزار Version SAS (9.4) به روش تجزیه مرکب برای همه صفات (به استثنای عملکرد تر و خشک که یک ساله بودند) انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل Excel و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح معنی‌دار ۰/۵ استفاده شد.

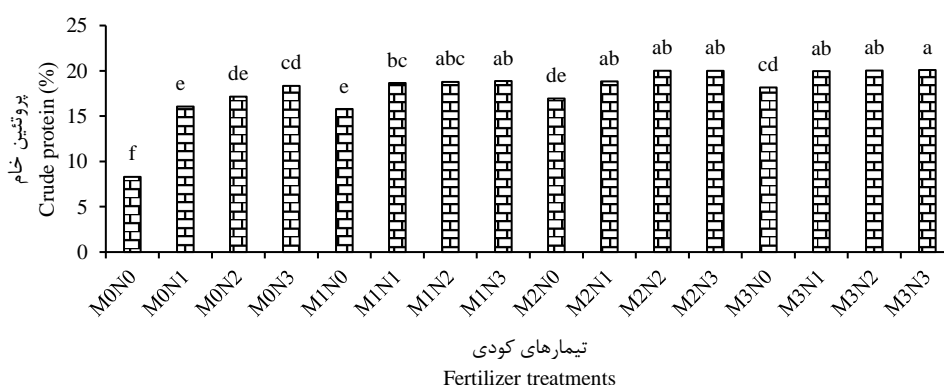
نتایج و بحث

پروتئین خام

پروتئین خام ترکیبی از پروتئین حقیقی و ترکیبات نیتروژن‌دار غیرپروتئینی است که برای رشد دام و نیز بهبود کیفیت شیر ضروری است (Kiani *et al.*, 2014). محققان معتقدند که درصد پروتئین خام یکی از مهم‌ترین معیارها برای ارزیابی کیفیت علوفه است (Assefa and Ledin, 2001). معمولاً پروتئین یکی از صفات مهمی می‌باشد که در تعیین

ارزش غذایی علوفه نقش اساسی دارد و نیتروژن علاوه بر اینکه یکی از ساختارهای اصلی اسیدهای آمینه می‌باشد، موجب افزایش درصد پروتئین نیز می‌شود و زمانی که نیتروژن موجود در کود دامی و شیمیایی بیشتر از مقدار مورد نیاز عملکرد باشد باعث افزایش محتوای پروتئین در گیاه می‌شود (Dahmardeh *et al.*, 2009).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، درصد پروتئین خام تحت تأثیر استفاده از کود دامی و کود نیتروژنه قرار گرفت و اثر متقابل استفاده تلفیقی سطوح مختلف کود دامی و کود نیتروژنه بر این صفت نیز در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). تیمار M_3N_3 بیشترین درصد پروتئین را در بین تیمارهای آزمایش به مقدار ۲۰/۰۹ درصد به خود اختصاص داد و این صفت را ۸۳/۰۵ درصد نسبت به تیمار شاهد (با کمترین درصد پروتئین به مقدار ۸/۳۰) افزایش داد (شکل ۱). در رابطه با مصرف کودهایی با منبع نیتروژنه و تأثیر آن‌ها در افزایش میزان پروتئین گزارش شده‌است که با مصرف کود نیتروژن سوبسترای بیشتری برای سنتز پروتئین فراهم می‌شود و مواد فتوسنتزی بیشتر به ساخت پروتئین اختصاص داده می‌شوند و در نتیجه تشکیل پروتئین بیشتر می‌شود. تأثیر مثبت کاربرد منابع مختلف تأمین کود نیتروژنه از منابع کود دامی و شیمیایی در بهبود درصد پروتئین OFI (کاکتوس علوفه‌ای) نیز تأیید شده است و با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Zegba *et al.*, 2014).



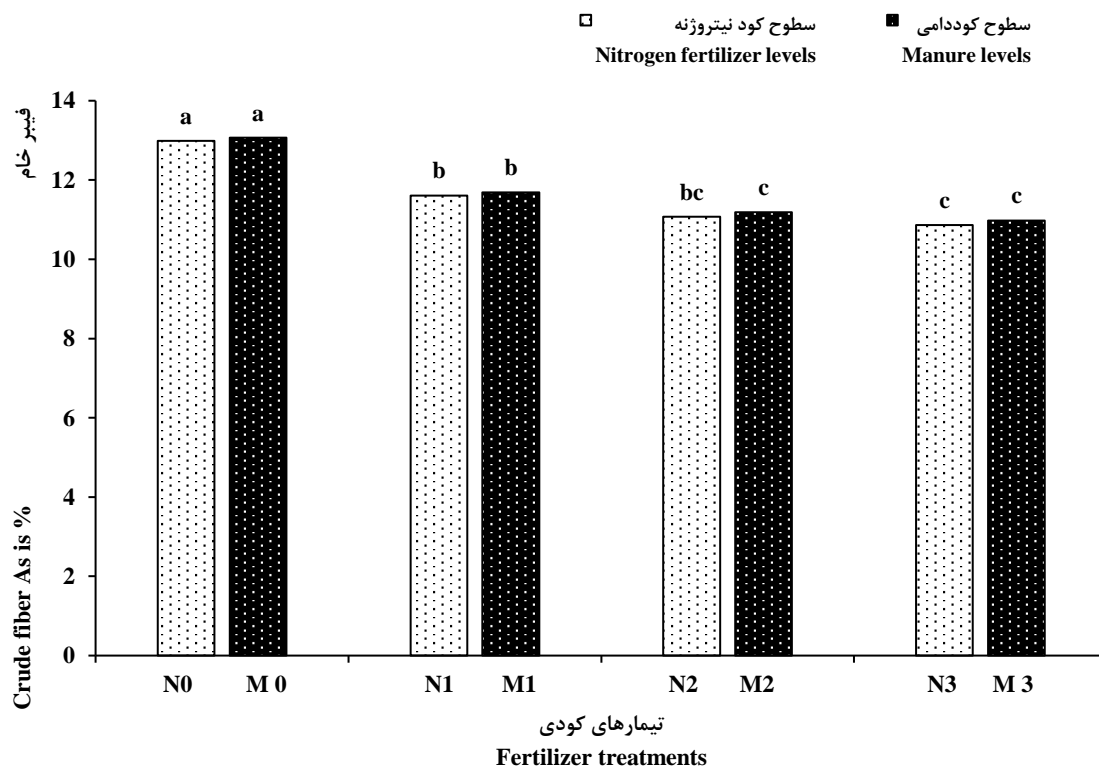
شکل ۱- مقایسه میانگین تیمارهای استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروژنه بر درصد پروتئین

Figure 1- Mean comparison of treatments for different levels of manure and nitrogen fertilizer on percentage of crude protein

فیبر خام (CF)

در واقع مقادیر کود نیتروژن نه تنها در حصول حداکثر عملکرد علوفه تأثیرگذار است، بلکه در ارتقای ارزش غذایی آن نیز نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند و کود دامی نیز با افزایش جذب عناصر میکرو و ماکرو، باعث افزایش رشد رویشی و کاهش فیبر گیاهان شده و در نتیجه، کیفیت علوفه تولیدی بیشتر می‌شود (Agha Baba Dastjerdi *et al.*, 2014). با فیبری شدن گیاه، درصد ماده خشک قابل هضم و در نتیجه، کیفیت علوفه کاهش می‌یابد (Rezaei *et al.*, 2011). بین مقادیر پروتئین و الیاف خام در یک گونه گیاه رابطه معکوسی وجود دارد (McDonald *et al.*, 2006). به نظر می‌رسد که استفاده از کود دامی و کود نیتروژن، باعث بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه شده و نیتروژن بیشتری را در اختیار گیاه قرار داده است که در نتیجه آن، با افزایش میزان پروتئین و کاهش فیبر خام می‌تواند در بهبود خوش خوراکی کاکتوس اپونتیا مؤثر باشد.

درصد فیبر خام در این آزمایش تحت تأثیر کاربرد کودهای نیتروژن و دامی قرار گرفت و اثر ساده استفاده از کود دامی و کود نیتروژن بر فیبر خام CF در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و دامی بر صفت فیبر خام معنی‌دار نشد (جدول ۳). صفت فیبر خام در تیمار کودی N₃ به مقدار ۱۷/۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد و در تیمار کودی M₃ به مقدار ۱۷/۳۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش نشان داد (شکل ۲). کیفیت علوفه، به مجموع مواد تشکیل‌دهنده گیاهی اطلاق می‌شود که استفاده دام از علوفه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sayyadi Azar *et al.*, 2019). نتایج تحقیقات مشابه تأیید می‌کند که با افزایش کود نیتروژن فیبر خام کاهش می‌یابد که این امر باعث افزایش هضم و خوش خوراکی می‌شود که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد (Almodares *et al.*, 2009).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروژن بر درصد فیبر خام

Figure 2- Mean comparison of the simple effect of using different levels of manure and nitrogen fertilizer on crude fiber percentage

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب تأثیر تیمارهای کودی بر صفات کمی و کیفی کاکتوس علوفه‌ای

Table 3- Results of combined analysis of variance the effect of fertilizer treatments on quantitative and qualitative traits of forage cactus

منبع تغییرات	پروتئین خام درجه آزادی		فیبر خام	الیاف نامحلول در الیاف نامحلول در شوینده اسیدی		خاکستر	ارتفاع
S.O.V	DF	CP	CF	ADF	NDF	ASH	Height
سال	1	1.602 ^{ns}	7.776 ^{ns}	1.175 ^{ns}	102.317 ^{ns}	11.242 ^{ns}	48789.471 ^{**}
Year							
تکرار در سال	4	404.920 ^{**}	88.774 ^{**}	36.941 ^{**}	184.133 ^{**}	15.301 ^{**}	1069.733 ^{**}
Rep (Year)							
مایکوریزا	1	0.000 ^{ns}	0.536 ^{ns}	0.174 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.183 ^{ns}	16.715 ^{ns}
Mycorrhiza							
مایکوریزا × سال	1	0.004 ^{ns}	0.121 ^{ns}	0.170 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3.160 ^{ns}
Year × Mycorrhiza							
کود نیتروژنه	3	200.184 ^{**}	39.359 ^{**}	62.082 ^{**}	204.314 ^{**}	350.343 ^{**}	1472.617 ^{**}
fertilizer Nitrogen							
کود نیتروژنه × سال	3	0.004 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	38.356 ^{ns}
Year × Nitrogen fertilizer							
مایکوریزا × کود نیتروژنه	3	0.005 ^{ns}	0.131 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	13.357 ^{ns}
Mycorrhiza × Nitrogen fertilizer							
مایکوریزا × کود نیتروژنه × سال	3	0.005 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	5.745 ^{ns}
Year × Mycorrhiza × Nitrogen fertilizer							
کود دامی	3	209.117 ^{**}	42.585 ^{**}	66.725 ^{**}	218.520 ^{**}	363.000 ^{**}	1363.545 ^{**}
Manure							
کود دامی × سال	3	0.019 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	18.832 ^{ns}
Year × Manure							
کود دامی × مایکوریزا	3	0.005 ^{ns}	0.131 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	8.749 ^{ns}
Mycorrhiza × Manure							
مایکوریزا × کود دامی × سال	3	0.005 ^{ns}	0.129 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	13.047 ^{ns}
Year × Mycorrhiza × Manure							
کود دامی × کود نیتروژنه	9	33.477 ^{**}	3.136 ^{ns}	4.285 [*]	13.836 ^{**}	5.022 [*]	34.531 ^{ns}
Manure × Nitrogen fertilizer							
کود دامی × کود نیتروژنه × سال	9	0.004 ^{ns}	0.131 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	12.133 ^{ns}
Year × Manure × Nitrogen fertilizer							
مایکوریزا × کود نیتروژنه × کود دامی	9	0.005 ^{ns}	0.131 ^{ns}	0.005	0.000 ^{ns}	0.008 ^{ns}	8.754 ^{ns}
Mycorrhiza × Nitrogen fertilizer × Manure							
مایکوریزا × کود نیتروژنه × کود دامی × سال	9	0.005 ^{ns}	0.130 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	11.291 ^{ns}
Year × Mycorrhiza × Nitrogen fertilizer × Manure							
خطا	62	3.125	2.195	2.186	4.639	2.181	116.217
Error							
ضریب تغییرات		9.89	12.66	11.3	8.61	8.97	13.25
CV (%)							

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد؛ * معنی دار در سطح احتمال پنج درصد؛ ns: غیر معنی دار.

** Significant at $p \leq 0.01$; * Significant at $p \leq 0.05$; ns: not significant.

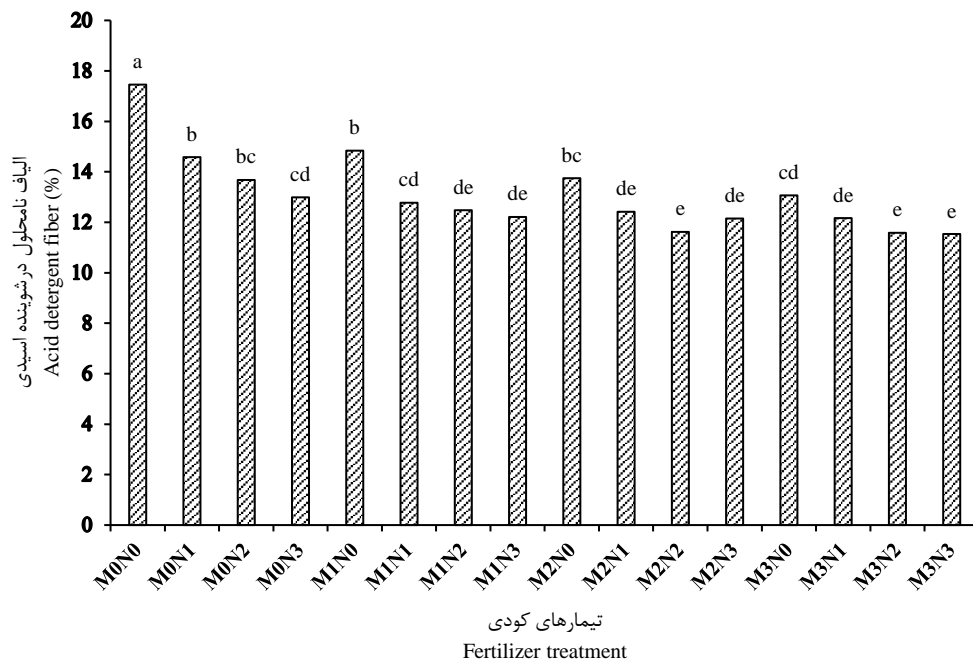
تلفیقی کودهای نیتروژنه و دامی بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی دار گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین تیمار M_0N_0 (شاهد) بیشترین درصد ADF را در بین تیمارهای آزمایش به مقدار ۱۷/۴۸ درصد داشت. تیمارهای

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

مطابق با نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سلله اثر ساده استفاده از کود دامی و کود نیتروژنه بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF در سطح یک درصد و اثر متقابل کاربرد

مطالعه‌ای که توسط محققین روی کیفیت علوفه خمر تحت تأثیر سیستم‌های تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی و دامی انجام گرفت تیمارهای کاربرد تلفیقی کود نتایج بهتری در این خصوص نشان دادند (Agha Alikhani *et al.*, 2020) که با نتایج این تحقیق و نتایج تیمارهای کاربرد تلفیقی کود دامی و شیمیایی آن مطابقت دارد. لازم به ذکر است درصد بالای ADF در علوفه سبب کاهش قابلیت هضم و خوش‌خوراکی آن می‌شود، با افزایش کود نیتروژن فیبرخام کاهش می‌یابد که این امر باعث افزایش هضم و خوش‌خوراکی می‌شود (Almodares *et al.*, 2009). تحقیقات مشابه کاهش درصد دو شاخص کاهنده‌ی کیفیت علوفه (ADF و NDF) در اثر استفاده‌ی تلفیقی از کودهای شیمیایی و آلی، بهبود کیفیت و ارزش غذایی علوفه در تاج خروس را تأیید کرده است (Sarmadi *et al.*, 2016).

M_2N_2 و M_3N_2 ، M_3N_3 نیز به ترتیب با مقادیر ۱۱/۵۷، ۱۱/۵۵ و ۱۱/۶۸ دارای کمترین مقدار ADF بودند (شکل ۳). تیمار M_3N_3 به مقدار ۳۵/۳۳ درصد ADF کمتری نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود) نشان داد. از صفات کیفی مهمی که در میزان کیفیت علوفه نقش دارند می‌توان به ADF اشاره کرد که قابلیت هضم توسط علوفه را نشان می‌دهد به همین دلیل حائز اهمیت است (Lauriault and Kirksey, 2004; Albayrak *et al.*, 2011). ADF یا دیواره سلولی بدون همی سلولز شامل بخش‌هایی با حداقل قابلیت هضم مثل سلولز و لیگنین می‌باشد (Rasby and Martin, 2019). ADF بالا سبب کاهش تعلیف علوفه و کاهش قابلیت هضم توسط حیوان می‌شود (Kevin *et al.*, 2008). براساس اظهارات برخی محققین با افزایش مصرف نیتروژن مقدار ADF کاهش می‌یابد (Taheri *et al.*, 2018). میزان کم این صفت بیانگر بالا بودن هضم‌پذیری است و در



شکل ۳- مقایسه میانگین تیمارهای استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروژن بر درصد ADF

Figure 3- Mean comparison of treatments for different levels of manure and nitrogen fertilizer on percentage of ADF

داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش مشاهده گردید که تیمار M_0N_0 (شاهد) بیشترین مقدار (۳۲/۹۳ درصد) NDF و تیمار M_3N_3 دارای کمترین مقدار (۲۲/۲۲ درصد) NDF بود (شکل ۴). تعیین غلظت NDF در علوفه یکی از مهم‌ترین عوامل در

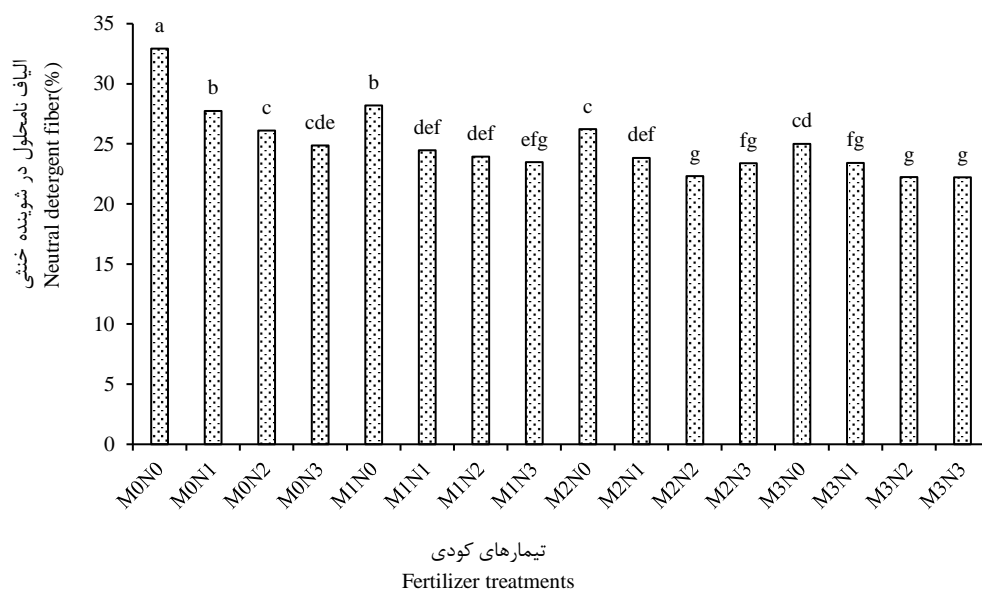
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)

نتایج نشان داد که استفاده از سطوح مختلف کود دامی و کود نیتروژن، الیاف نامحلول در شوینده خنثی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر متقابل استفاده تلفیقی از کودهای نیتروژن و دامی بر NDF در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری

می‌کند (Sayyadi Azar *et al.*, 2019). وقتی درصد NDF افزایش یابد مصرف ماده خشک به دلیل افزایش میزان سیرکنندگی علوفه کاهش می‌یابد بنابراین درصد کمتر NDF در علوفه مطلوب است (Bingol *et al.*, 2007). محققین همبستگی منفی بالایی را بین NDF و میزان پروتئین خام CP مشاهده کرده‌اند (Kume *et al.*, 2001). در آزمایشی دیگر نیز گزارش شد که کمترین درصد NDF در علوفه ذرت از تیمار بالاترین سطح مصرف کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و دامی به دست آمد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (Ghasemi *et al.*, 2018).

تعیین ارزش غذایی آن است (Mc Donald *et al.*, 2011). NDF نشان‌دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام می‌باشد (Salehi *et al.*, 2018) و به‌عنوان یک معیار شکم‌پرکن دام برای پیش‌بینی مصرف اختیاری غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Arzani, 2010).

الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی NDF و اسیدی ADF به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه شناخته شده و عاملی تأثیرگذار بر کیفیت و خوش‌خوراکی علوفه می‌باشد. افزایش میزان شاخص‌های ذکر شده موجب کاهش قابلیت هضم علوفه می‌شود، هر چه میزان NDF علوفه افزایش یابد کیفیت و میزان ماده خشک مصرفی کاهش پیدا



شکل ۴- مقایسه میانگین تیمارهای استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروژنه بر درصد NDF

Figure 4- Mean comparison of treatments for different levels of manure and nitrogen fertilizer on percentage of NDF

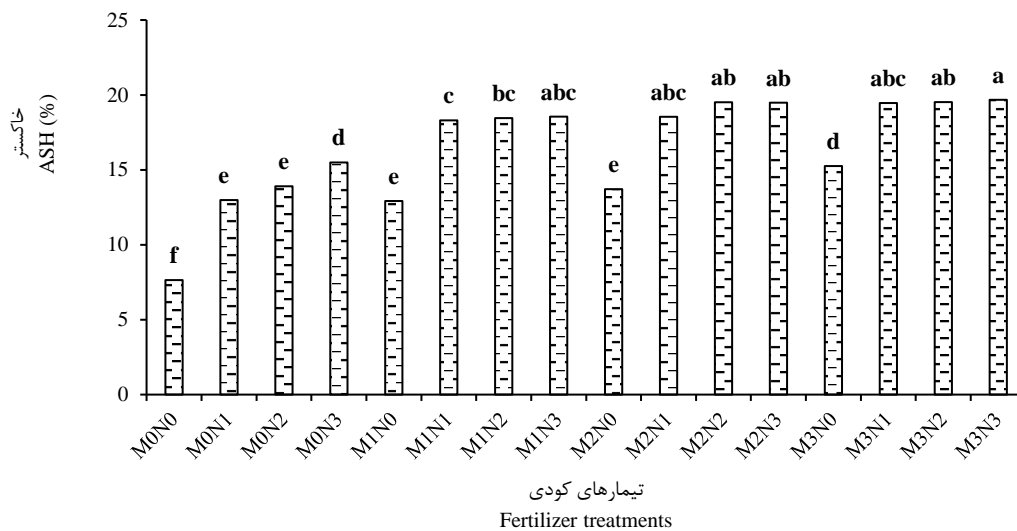
درصد خاکستر علوفه در واقع بیان‌گر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی است، هر چه میزان خاکستر بیشتر باشد گیاه مواد معدنی بیشتری در اختیار دام قرار می‌دهد لذا ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر می‌شود (Jahanzad *et al.*, 2013). خاکستر علوفه و مواد معدنی برای ساخت ویتامین‌ها، تولید هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، ساخت بافت و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک که بستگی به رشد، سلامتی و تولید دارد، مورد نیاز می‌باشند و این عناصر در علوفه به‌لحاظ این که در متابولیسم حیوان شرکت کرده و برای فعالیت سلول‌های بدن

درصد خاکستر

بررسی نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر اصلی کاربرد سطوح مختلف کود دامی و کود نیتروژنه بر صفت خاکستر و نیز اثر متقابل کاربرد تلفیقی سطوح مختلف این دو کود بر صفت مزبور در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد تیمار M_3N_3 بیشترین درصد خاکستر را در بین تیمارهای آزمایش به مقدار ۱۹/۷۱ درصد داشت و تیمار M_0N_0 (شاهد) کمترین درصد خاکستر را با مقدار ۷/۶۴ درصد نشان داد (شکل ۵).

2002). تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش کود نیتروژن خاکستر کل افزایش می‌یابد که با نتایج بررسی حاضر مطابقت دارد (Almodares *et al.*, 2009). گزارش شده که کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و کودهای زیستی باعث افزایش خاکستر علوفه گیاه ارزن شد (Ibrahim *et al.*, 2015). در تحقیقی دیگر گزارش شده که مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر است و مراحل فنولوژیک در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (Garsid, 2004).

لازم می‌باشند، حائز اهمیت هستند (Yusefian Ghahfarkhi *et al.*, 2021). علت افزایش درصد خاکستر در مقادیر نیتروژن این است که با افزایش نیتروژن قسمت‌های رویشی رشد بهتری داشته و ریشه نیز رشد زیادی می‌نماید و هرچه ریشه گسترش بیشتری داشته باشد، جذب مواد معدنی بیشتر خواهد شد و گیاه علاوه بر تولید مواد آلی مقدار بیشتری نیز مواد معدنی را در خود نگه می‌دارد (Carpici *et al.*, 2010). در مطالعاتی که برخی محققین بر روی عملکرد و کیفیت علوفه ذرت تحت مقادیر مختلف کود نیتروژن انجام دادند، با افزایش کاربرد نیتروژن مقدار خاکستر کل افزایش یافت (Ayub *et al.*, 2010).



شکل ۵- مقایسه میانگین تیمارهای استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروژنه بر درصد خاکستر

Figure 5- Mean comparison of treatments for different levels of manure and nitrogen fertilizer on percentage of ASH

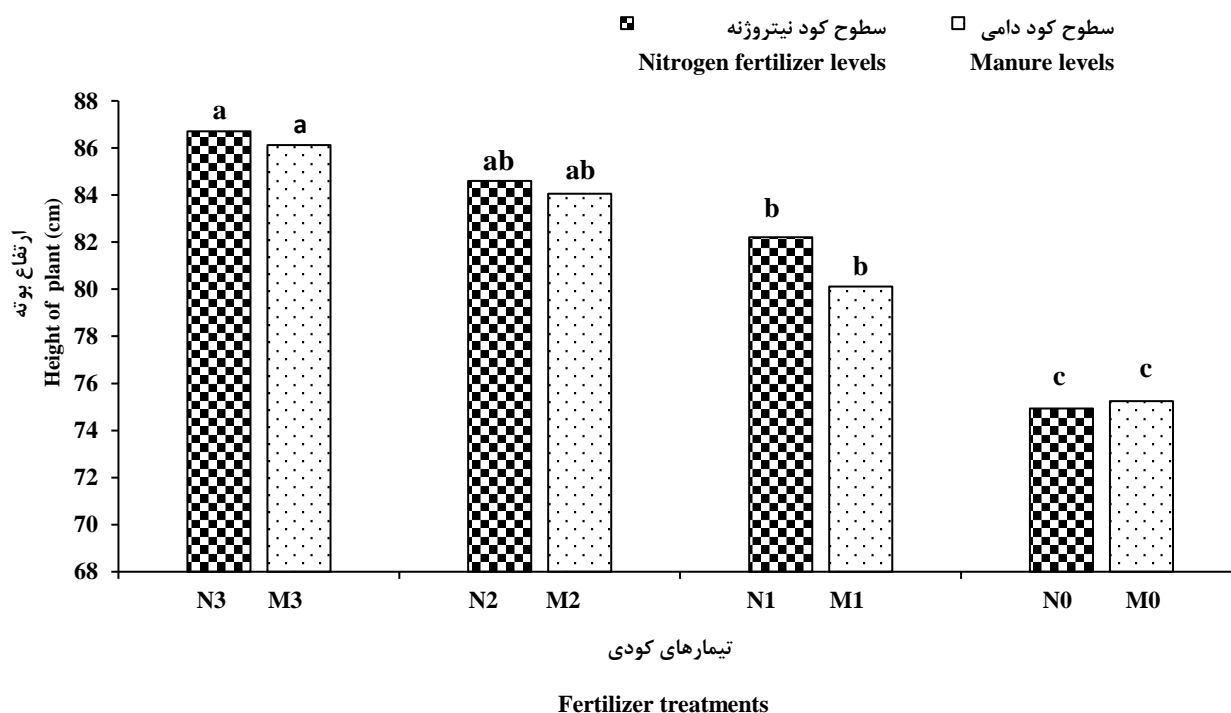
ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی به‌شمار می‌آید، با توجه به این واقعیت که نیتروژن از عناصر اساسی برای رشد رویشی می‌باشد دسترسی به نیتروژن بیشتر، افزایش جذب و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه از دلایل احتمالی افزایش ارتفاع در تیمارهای کودی با مقدار نیتروژن بیشتر می‌باشد. استفاده از ۴۵ تن کود دامی (گاوی) در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در ذرت علوفه‌ای شد که این افزایش ارتفاع بوته با مصرف کود دامی را می‌توان به بهبود تغذیه گیاه از جمله افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و روی نسبت داد که با افزودن کود دامی به خاک حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه بهبود یافته و ارتفاع گیاه زیاد می‌شود (Zamani Babgohri

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌ها (جدول ۳) نشان داد، ارتفاع بوته تحت تأثیر استفاده از کود دامی و کود نیتروژنه قرار گرفت و اثر ساده تیمارهای استفاده از کود دامی و کود نیتروژنه بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش نشان داد، ارتفاع بوته در تیمار کودی N_3 به مقدار ۱۴/۵۶ درصد و در تیمار کودی M_3 به مقدار ۱۳/۴۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است (شکل ۶). اثر سال بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد ولی استفاده از قارچ مایکوریزا بر ارتفاع بوته در این آزمایش معنی‌دار نگردید.

تأثیر مثبت اثر استفاده از نیتروژن بر ارتفاع بوته در آزمایشی دیگر که بر روی گیاه خرفه انجام گرفته بود، گزارش شده است (Javadi *et al.*, 2018). نتایج تحقیقات دیگر نیز تأثیر مثبت استفاده از نیتروژن بر ارتفاع بوته را تأیید کرده است (Yusefian Ghahfarokhi *et al.*, 2015)، که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

(*et al.*, 2011). تأثیر مثبت کود شیمیایی نیتروژنه بر ارتفاع بوته در گیاه بابونه شیرازی در اثر تأمین مناسب عنصر نیتروژن برای رشد گیاه در پژوهشی مشابه اعلام شده است (Dehghani Meshkani *et al.*, 2012). افزایش ارتفاع گیاه شوید تحت اثر استفاده از کود شیمیایی اوره تأیید شده است (Nejatzadeh, 2014). افزایش ارتفاع در اثر کاربرد کود نیتروژنه در گیاه سرخارگل نیز گزارش شده است (Agha Alikhani *et al.*,)



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای استفاده از سطوح مختلف کود نیتروژنه و دامی بر ارتفاع گیاه

Figure 6- Mean comparison of the simple effect of using different levels of manure and nitrogen fertilizer on height of plant

علوفه (۲۸/۴۰ تن در هکتار) بهبود بخشید (شکل ۷). تیمار استفاده خالص از کود زیستی مایکوریزا ($\mu_1M_0N_0$) در کنار تیمار شاهد (M_0N_0) کمترین مقدار عملکرد علوفه تر را نشان داد. به نظر می‌رسد افزودن کود آلی به خاک با بهبود بخشیدن به شرایط زیستی خاک، ضمن تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، موجب افزایش رشد و تولید و عملکرد بیشتر گیاه می‌شود (Jat and Ahlawat, 2006). تحقیقات مختلف حاکی از تأثیر مثبت استفاده تلفیقی از کودهای نیتروژنه و دامی بر عملکرد علوفه تر در ذرت است و علت این افزایش نیز بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک اعلام شده است که در اثر آن گیاه

عملکرد علوفه تر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای به کار رفته در این پژوهش بر عملکرد علوفه تر بود و اثرات ساده و متقابل تیمارهای استفاده از کود نیتروژنه و دامی بر صفت مذکور در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. کاربرد کود زیستی مایکوریزا نتایج متفاوت و معنی‌داری را در مقایسه با تیمارهای فاقد این کود زیستی نشان نداد. بیشترین میزان (۵۱/۵۰ تن در هکتار) عملکرد علوفه تر در تیمار M_3N_3 مشاهده شد و این تیمار مقدار عملکرد علوفه تر را ۵۷/۸۲ درصد نسبت به تیمار شاهد (M_0N_0) با کمترین مقدار

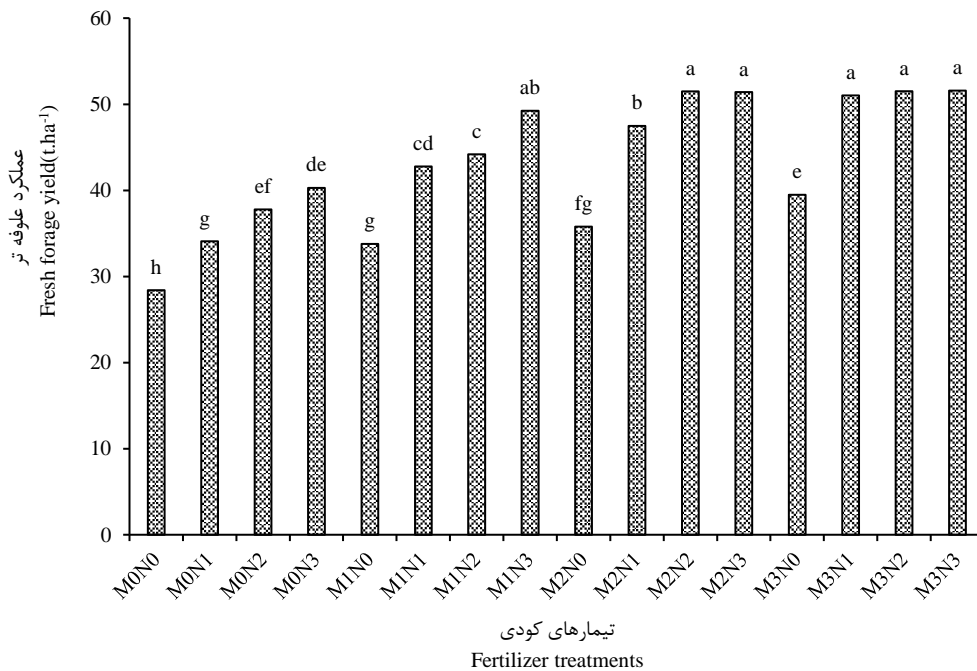
نیتروزنه قرار گرفت و اثر ساده و متقابل استفاده از کود دامی و کود نیتروزنه بر عملکرد خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که تیمار M_3N_3 بیشترین عملکرد خشک را در بین تیمارهای آزمایش به مقدار $6/70$ تن در هکتار داشت و نسبت به تیمار شاهد که کمترین عملکرد خشک را به مقدار $3/81$ تن در هکتار داشت مقدار این صفت را $27/49$ درصد افزایش داد (شکل ۸). تیمارهای M_3N_1 , M_1N_3 , M_2N_3 , M_2N_2 , M_3N_2 نیز پس از تیمار M_3N_3 بیشترین مقدار عملکرد خشک را به دست آوردند و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. محققین معتقدند که افزایش کاربرد کود نیتروزن اثر معنی‌داری بر افزایش فعالیت فتوسنتزی و عملکرد علوفه خشک ذرت دارد (Iqbal *et al.*, 2013) و استفاده از کودهای دامی نیز باعث افزایش رشد ریشه و جذب آب می‌شود در نتیجه افزایش رشد و تولید گیاه را به همراه دارد، از طرف دیگر با استفاده از کود دامی به دلیل افزایش دسترسی به مواد غذایی، رشد گیاه افزایش می‌یابد در نتیجه ماده خشک بیشتری تولید می‌شود (Shabahang *et al.*, 2014).

می‌تواند نیازهای غذایی خود را تأمین کند (Saleh Baghdadi *et al.*, 2017). استفاده تلفیقی از منابع مختلف کودی سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر مثبت دارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، عملکرد علوفه افزایش می‌یابد (Amirnia *et al.*, 2019). هم‌چنین تحقیقات مشابه تأثیر مثبت استفاده تلفیقی از منابع مختلف کودی را در مقایسه با استفاده مجزای آن‌ها بر عملکرد علوفه عدس مشخص کرده است (Haydarzadeh *et al.*, 2022).

افزایش عملکرد علوفه تر در هکتار با افزایش مصرف کود نیتروزن توسط محققان دیگر هم گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Fallah and Tadayyon, 2009). با استفاده از کودهای نیتروزنه، کاکتوس علوفه‌ای در شرایط مطلوب افزایش عملکردی بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد نشان داده‌است (Ochoa *et al.*, 2002).

عملکرد خشک

همان‌طور که نتایج (جدول ۴) نشان می‌دهند، عملکرد خشک تحت تأثیر استفاده از سطوح مختلف کود دامی و کود



شکل ۷- مقایسه میانگین تیمارهای استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروزنه بر عملکرد علوفه تر

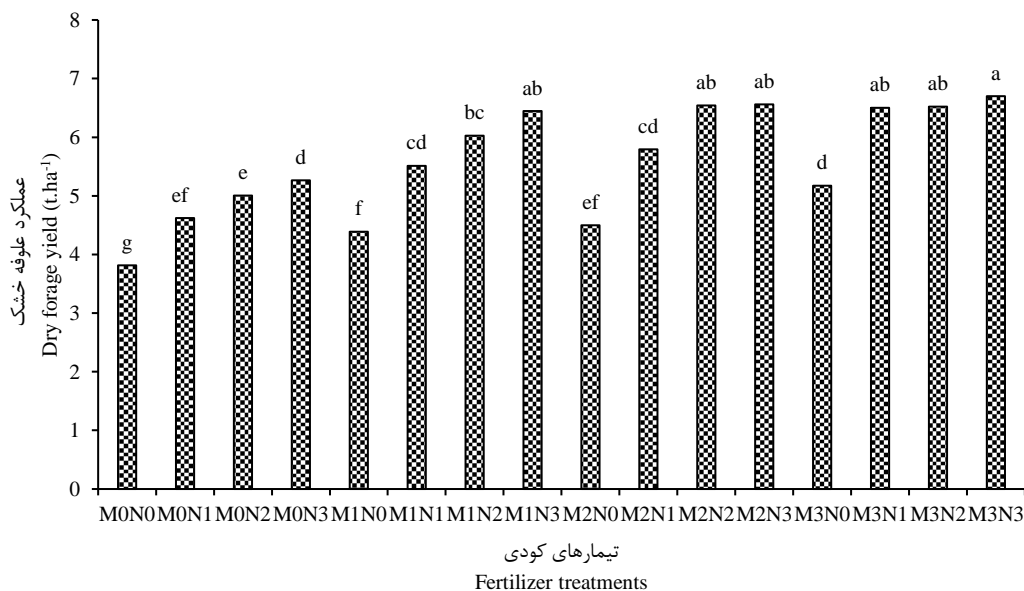
Figure 7- Mean comparison of treatments of using different levels of manure and nitrogen fertilizer on fresh forage yield

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودی بر صفات کمی و کیفی کاکتوس علوفه‌ای

Table 4- Results of analysis of variance the effect of fertilizer treatments on quantitative and qualitative traits of forage cactus

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد تر	عملکرد خشک
S.O.V	DF	Fresh forage yield	Dry forage yield
تکرار	2	219.046**	32.725**
Replication			
مایکوریزا	1	0.027 ^{ns}	0.011 ^{ns}
Mycorrhiza			
کود نیتروژنه	3	829.662**	10.847**
Nitrogen fertilizer			
مایکوریزا × کود نیتروژنه	3	0.000 ^{ns}	0.457 ^{ns}
Mycorrhiza × Nitrogen fertilizer			
کود دامی	3	896.334**	13.837**
Manure			
مایکوریزا × کود دامی	3	0.000 ^{ns}	0.129 ^{ns}
Mycorrhiza × Manure			
کود دامی × کود نیتروژنه	9	18.084**	0.502**
Manure × Nitrogen fertilizer			
مایکوریزا × کود نیتروژنه × کود دامی	9	0.000 ^{ns}	0.122 ^{ns}
Mycorrhiza × Nitrogen fertilizer × Manure			
خطا	62	6.151	0.223
Error			
ضریب تغییرات		5.75	8.45
CV (%)			

** : معنی دار در سطح احتمال یک درصد؛ * : معنی دار در سطح احتمال پنج درصد؛ ns : غیر معنی دار

** : Significant at $p \leq 0.01$; * : Significant at $p \leq 0.05$; ns : not significant

شکل ۸- اثر متقابل استفاده از سطوح مختلف کود دامی و نیتروژنه بر عملکرد علوفه خشک

Figure 8- The interaction effect of using different levels of manure and nitrogen fertilizer on dry forage yield

مقداری کود شیمیایی در ابتدای رشد کمبود عناصر محیط ریشه را جبران نموده و پس از آن در طول دوره رشد کودهای

تلفیق کودهای دامی و شیمیایی می‌تواند رشد رویشی و عملکرد علوفه را افزایش دهد، زیرا در سیستم تلفیقی وجود

بیشتر از سایر تیمارها به‌ویژه تیمار شاهد و استفاده از هر یک از کودها به‌طور جداگانه بود به همین ترتیب میزان شاخص‌های کاهش دهنده کیفیت علوفه نظیر CF، ADF و NDF روند عکس نشان دادند و در تیمار شاهد و تیمارهای استفاده خالص از کود دامی و شیمیایی بیشتر از تیمارهای کاربرد تلفیقی در سطوح بالاتر بودند. بهترین نتیجه در تیمار M_3N_3 و سپس در تیمارهای M_3N_2 و M_2N_2 و M_2N_3 به‌دست آمد که با توجه به اینکه تفاوت معنی‌داری بین نتایج صفات این تیمارها مشاهده نگردید تیمار M_2N_2 که از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر و از جنبه زیست‌محیطی پایدارتر به‌نظر می‌رسد، توصیه می‌گردد. همان‌طور که در نتایج آزمایش نیز مشهود بود تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای استفاده از مایکوریزا و عدم استفاده از آن مشاهده نشد لذا توصیه می‌شود که مطالعه در خصوص استفاده از قارچ مایکوریزا در آزمایش‌های تکمیلی چندساله و طولانی‌مدت، مورد بررسی بیشتر قرار بگیرد. اثر سال نیز تنها بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار گردید و در سایر صفات نتیجه معنی‌داری نشان نداد که با توجه به چندساله بودن گیاه کاکتوس در خصوص روند تغییرات صفات کیفی و کمی این گیاه طی سال‌های رشد، تحقیقات تکمیلی چندساله پیشنهاد می‌شود.

دامی با آزادسازی عناصر مورد نیاز گیاه باعث افزایش عملکرد علوفه در گیاه می‌شوند (Ghanbari *et al.*, 2013). تحقیقات مشابه حاکی از این بود که استفاده تلفیقی از کودهای دامی و شیمیایی باعث افزایش پتانسیل تولید و عملکرد سورگوم می‌شود و علت این افزایش را می‌توان به اثر هم‌افزایی ترکیب دو منبع کودی (Agyenim *et al.*, 2006) و تولید مناسب نیتروژن قابل دسترس در شرایط تلفیقی نسبت داد (Alizade *et al.*, 2012). طی یک آزمایش روی کشت مخلوط ذرت و تاج خروس، مصرف کود دامی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک گیاه ذرت شد (Olorunnismo and Ayodelet, 2009). در نتایج آزمایشی که در سال ۲۰۱۰ جهت بررسی تأثیر کود دامی (گاو) در دو خاک مختلف انجام گرفت افزایش عملکرد علوفه ذرت در واکنش به مصرف این کود تأیید گردید (Achieng *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که صفات افزایش‌دهنده کیفیت و کمیت علوفه مانند پروتئین خام، خاکستر خام، عملکرد تر و خشک با استفاده تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی

References

- Achieng, J.O., Ouma, G., Odhiambo, G. and Muyekho, F. 2010. Effect of farmyard manure and inorganic fertilizers on maize production on Alfisols and Ultisols in Kakamega, Western Kenya. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), pp.430-439. doi: 10.5251/abjna.2010.1.4.430.439
- Agha Alikhani, M., Shamalizadeh, Z. and Qalavand, A. 2020. The effect of different nutritional systems (chemical, organic and integrated) on yield and quality of forage of *Lathyrus sativus* L. *Iranian Crop Science*, 1(51), pp.115-126. [In Persian]. doi:10.22059/ijfcs.2019.256660.654465
- Agha Baba Dastjerdi, M., Amini Dahaghi, M., Chaichi, M.R. and Bosaghzadeh, Z. 2014. The effect of different fertilization systems on nutritative and qualitative characteristics medicine forage (Case study: alfalfa and fennel). *Agricultural Crop Management*, 16(1), pp.111-125. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v13i3.80079
- Agyenim, B.S., Zickermann, J. and Kornahrens, M. 2006. Poultry manure effect on growth and yield of maize. *West Africa Journal of Applied Ecology*, 9, pp.12-18. doi: 10.4314/wajae.v9i1.45682
- Albayrak, S., Turk, M., Yuksel, O. and Yilmaz, M. 2011. Forage yield and the quality of perennial legume-grass mixtures under rainfed conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), pp.114-118. doi: 10.15835/nbha39i15853
- Alizade, P., Fallah, S. and Raeisi, F. 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a

- calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 6, pp.493-512. doi: **10.22069/ijpp.2012.762**
- Almodares, A., Jafarinia, M. and Hadi, M.R. 2009. The effect of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 6, pp.441-446.
- Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L. and Mariotti, M. 2006. Grain yield, dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *The European Journal of Agronomy*, 25, pp.309-318. doi: **10.1016/j.eja.2006.06.009**
- Amirnia, R., Ghiyasi, M., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Damalas, C.A. and Heydarzadeh, S. 2019. Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lentil (*Lens culinaris* Medik). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(3), pp.1-11. doi: **10.1007/s42729-019-00058-3**
- Assefa, G. and Ledin, I. 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Animal Feed Science and Technology*, 92, pp.95-111.
- Ayub, M., Nadeem, M.A., Sharar, M.S. and Mahmood, N. 2002. Response of maize (*Zea mays* L.) fodder to different levels of nitrogen and phosphorus. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(4), pp.352-354. doi: **10.3923/ajps.2002.352.354**
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Soil Science and Plant Analysis*, 32, pp.921-950. doi: **10.1081/css-100104098**
- Bingol, N.T., Karsli, M.A., Yilmaz, L.H. and Bolat, D. 2007. The effects of planting time and combination on the nutrient composition and digestible dry matter yield of four mixtures of vetch varieties intercropped with barley. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 31, pp.297-302.
- Cardoso, M. and Kuyper, T.W. 2006. Mycorrhizal and tropical soil fertility. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 116, pp.72-84. doi: **10.1016/j.agee.2006.03.011**
- Carpici, E.B., Celik, N. and Bayram, G. 2010. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turkish Journal of Field Crops*, 15, pp.128-132.
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Siah Sar, B.A. and Ramroudi, M. 2009. Investigating the effect of planting ratio and harvesting time on the quality of corn fodder in mixed cultivation with nightly beans. *Journal of Agricultural Plant Sciences of Iran*, 41(3), pp.633-642. [In Persian].
- Diaz, M., Rosa, A., Helies-Toussaint, C., Gueraud, F. and Negre-Salvayre, A. 2017. Opuntia spp.: Characterization and benefits in chronic diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, pp.1-17. [In Persian].
- Ehsanipour, A., Zinley, H. and Razmjoo, Kh. 2012. The effect of different amounts of nitrogen on yield, yield components and essential oil in different fennel masses. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28 (4), pp.579-593. [In Persian].
- Eteng, E.U., Asawalam, D.O. and Ano, A.O. 2014. Total and available Micronutrients in soils of contrasting parent materials in Southeastern Nigeria. *Journal Agricultural Biotechnology and Ecology*, 7(20), pp.1-16.

- Fallah, S. and Tadayyon, A. 2009. Effects of plant density and nitrogen rates on yield, nitrate and protein of silage maize. *Electronic Journal of Crop Production*, 2(1), pp.105-121. [In Persian].
- Firew, T., Kijora, C. and Peters, K.J. 2006. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant. Research*, 72 (2-3), pp.157-164.
- Ghanbari, A., Ismailian, Y. and Babaian, M. 2013. The effect of chemical and animal fertilizers on the performance of fodder, grain and the concentration of some nutrients in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Iranian Plant Ecophysiology Researches*, 3(8), pp.23-36. [In Persian].
- Garsid, A. 2004. Sowing time effects on the development, yield and oil of flaxseed in semi arid tropical. *Australian Journal of Production Agriculture*, 23, pp.607-612.
- Ghasemi, A., Ghasemi, M. and Ghanbari, A. 2006. The effect of different amounts of manure and chemical mixtures on the quality and uptake of nitrogen in forage maize. Iranian Crop Science Congress, Tehran, Iran. [In Persian].
- Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A. and Fanaei, H.R. 2018. The effect of different tillage management on forage and grain quality of corn (*Zea mays*.L) under the influence of different sources of organic and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Ecology*, 10(2), pp.490-503. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v10i2.59988**
- Haydarzadeh, S., Hassanzadeh Qort tape, A. and Rahimi, A. 2022. Investigating the effect of organic, biological and chemical fertilizers on the physiological and qualitative characteristics of lentil fodder (*Lens culinaris* Medik.) under rainfed conditions and supplementary irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12(2), pp.183-198. [In Persian]. doi: **10.22067/ijpr.v12i2.89439**
- Ibrahim, H.I., Hassanen, S.A. and Hassan, E.L. 2015. Performance of forage millet in response to different combinations of organic-, inorganic-and bio-fertilizers. *World Journal of Agricultural Sciences*, 11(6), pp.423-431.
- Iqbal, M., Ghaffar khan, A., Ul-hassan, A. and Islam, K.R. 2013. Tillage and nitrogen fertilization impact on irrigated corn yields, and soil chemical and physical properties under semi- arid climate. *Journal of Sustainable Watershed Science and Management*, 1(3), pp.90-98. doi: **10.5147/jswsm.v1i3.140**
- Iqbal, M.A., Hamid, A., Imatiz, H., Rizwan, M., Imran, M., Sheikh, U.A.A. and Saira, I. 2020. Cactus Pear: A weed of dry-lands for supplementing food security under changing climate. *Planta Daninha*, 38, pp.1761-1872.
- Jahanzad, E., Sadeghpour, A., Hashemi, M., Keshavarz Afshar, R., Hosseini, M.B. and Barker, A.V. 2015. Silage fermentation profile, chemical composition and economic evaluation of millet and soybean grown in monocultures and as intercrops. *Grass and Forage Science*, 71(4), pp.584-594.
- Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R. and Dashtaki, M. 2013. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, 117(1), pp.62-69.
- Jat, R.S. and Ahlawat, I.P.S. 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of Sustainable*

- Agriculture*, 28, pp. 41-54.
- Javadi, H., Saber, M.H., Azari-Nasrabad, A. and Khosravi, S. 2010. Effect of amounts and methods of nitrogen application on yield and quality of forage sorghum (Speedfeed cv). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(3), pp.384-392. [In Persian].
- Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Rashed Mohasel, M.H. and Seghatoleslami, M.J. 2018. Effect of green manure and different nitrogen levels on yield and yield components of common purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(2), pp.317-332.
- Keshavarz Afshar, R., Ansari Jovini, M., Chaichi, M.R. and Hashemi, M. 2014. Grain sorghum response to Arbuscular mycorrhiza and phosphorous fertilizer under deficit irrigation. *Agronomy Journal*, 106(4), pp.1212-1218.
- Kevin, L., Kenneth, A., Albrecht, A., Lauer, J.G. and Riday, H. 2008. Intercropping corn with lablab bean, velvet bean and scarlet runner bean for forage. *Journal Crop Science*, 48, pp.371-379.
- Kiani, S., Siadat, S.A., Moradi Telavat, M.R., Abdali-Mashhadi, A.R. and Sari, M. 2014. Effect of nitrogen fertilizer application on forage yield and of barley (*Hordeum vulgare* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) intercropping. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(2), pp.77-90. [In Persian].
- Kume, S., Toharmat, T., Nonaka, K., Oshita, T., Nakui, T. and Ternouth, G.H. 2001. Relationships between crude protein and mineral concentrations in alfalfa and value of alfalfa silage as a mineral source for periparturient cows. *Animal Feed Science and Technology*, 93, pp.157-168.
- Lauriault, L.M. and Kirksey, R.E. 2004. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass- legume intercrops in the southern high plains, USA. *Agronomy Journal*, 96, pp.352-358. **doi:10.2134/agronj2004.0352**
- Mc-Donald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. and Wilkinson, R. G. 2011. *Animal Nutrition. 7th ed. Prentice Hall, Essex, UK*, 714p.
- Mohammadi, G., Safari, P.M., Ghobadi, M.E. and Najafy, A. 2015. The effect of green manure and nitrogen fertilizer on corn yield and growth indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(2), pp.105-124. [In Persian].
- Nakhaei, F. 2021. Investigation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as an alternative forage, especially in arid areas. *Journal of Forage and Animal Feed Promotion*, 2(1), pp.78-86. [In Persian].
- Nejatzadeh, F. 2014. Effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on growth, yield and essential oil composition of Dill (*Anethum graveolens* L.). *New Cellular and-Molecular Biotechnology Journal*, 19(5), pp.77-84. [In Persian].
- Noorullahi, H., Solhjoui, A., Karimi, A., Safdarian, M. and Hashemi, M. 2016. Effects of different levels of forage cactus (*Opuntia ficus-indica*) in the diet on feeding performance and carcass characteristics of breeding lambs and carcass characteristics of Persian Qashqai Turkish lambs. *Journal of Animal Science and Research*, 21, pp.77-85. [In Persian].
- Ochiai, N., Powelson, M., Crowe, F. and Dick, R. 2008. Green manure effects on soil quality in relation to

- suppression of Verticillium wilt of potatoes. *Biology and Fertility of Soils*, 44(8), pp.1013-1023.
- Ochoa, M.J., Leguizamon, G. and Uhart, S.A. 2002. Effects of nitrogen availability on cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) postharvest quality. *Acta Horticultur*, 581, pp.225-230.
- Prystupa, P., Savin, R. and Slafer, G.A. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to N×P fertilization in barley. *Field Crops Research*, 90, pp.245-254.
- Rasby, R. and Martin, J. 2019. Understanding Feed Analysis. University of Nebraska–Lincoln. Available at web:<https://beef.unl.edu/learning/feedanalysis.shtml>; Internet; (accessed 11 November 2019).
- Rathke, G.W., Christen, O. and Diepenbrok, W. 2005. Effect of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Research*, 94, pp.103-113. doi: 10.1016/j.fcr.2004.11.010
- Rezaei, M., Naghavi, M.R., Maali Amiri, R., Mohammadi, R., Jafari, A.A. and Kaboli, M.M. 2011. Evaluation of diversity in Iranian ecotypes of alfalfa using forage quality components. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(1), pp.39-54. [In Persian].
- Rodrigues, A.M., Pitacas, F.I., Reis, C.M.G. and Blasco, M. 2016. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* cladodes from Portuguese ecotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 22, pp.40-45.
- Ruiz-Sanchez, M., Aroca, R., Munoz, Y., Polon, R. and Ruiz-Lozano, J.M. 2010. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 167(11), pp.862-869. doi: 10.1016/j.jplph.2010.01.018
- Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, E. and Khalilvandi Behrozyar, H. 2018. Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), pp.59-76. [In Persian].
- Saleh Baghdadi, A., Kashani, A., Golzardi, F. and Ilkayi, M.N. 2017. Integrated soil fertility management to improve maize forage yield. *Journal of Agricultural Applied Research*, 30(2), pp.75-90. [In Persian]. doi: 10.22092/aj.2018.109947.1141
- Sarmadi, B., Rouzbehan, Y. and Rezaei, J. 2016. Influences of growth stage and nitrogen fertilizer on chemical composition, phenolics, in situ degradability and in vitro ruminal variables in amaranth forage. *Animal Feed Science and Technology*, 215(1), pp.73-84. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.03.007
- Sayyadi Azar, Z., Javanmard, A., Shekari, F., Abbasi, A. and Amani Machiani, M. 2019. Amount of production and nutritional value of cultivated forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) with integrated application of bio and chemical fertilizers under different irrigation regims. *Journal of Agroecology*, 11(3), pp.1021-1035. [In Persian]. doi: 10.22067/jag.v11i3.71013
- Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P. and Lo Bianco, R. 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, 122, pp.158-167. doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.10.003
- Shahbazi, Kh. and Yousefi, B. 2021. Study of planting forage cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) in rehabilitation and repair of degraded tropical rangelands (Case study: Qasr Shirin rangelands of Kermanshah province).

- Journal of Range and Watershed Management*, 74(3), pp.571-583. [In Persian]. doi: **10.22059/jrwm.2021.325462.1597**
- Slimen, I., Najar, T. and Abderrabba, M. 2016. *Opuntia ficus-indica* as a source of bioactive and nutritional phytochemicals. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 4, pp. 162-169. doi: **10.11648/j.jfns.20160406.14**
- Snyman, H.A. 2013. Growth rate and water-use efficiency of cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *Arid Land Research and Management*, 27(4), pp.337-348. doi: **10.1080/15324982.2013.771232**
- Taheri, M., Bayat, F., Moghaddam, H. and Majnoon Hoseini, N. 2018. Effect of cover crop pre-planting and nitrogen application on some qualitative traits and yield of forage corn varieties. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4), pp.997-1014. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2017.140675.654019**
- Yusefian Ghahfarokhi, H., Abdali Mashhadi, A., Bakhshandeh, A., Lotfi, A. and Abadi, J. 2015. Evaluation of effect attract moisture substances and organic fertilizers on quality and quantity yield of Purslane (*portulaca oleracea* L.) in Ahwaz region. *Journal of Plant Process and Function*, 4(13), pp.87-96. [In Persian]. doi: **20.1001.1.23222727.1394.4.13.3.5**
- Yusefian Ghahfarkhi, H., Esmaili, M., Danesh Shahraki, A. and Qajar Sepanlou, M. 2021. Evaluation of organic and nitrogen fertilizers application on quality of forage of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) under intercropping system. *Journal of Agroecology*, 13(3), pp.563-579. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v13i3.80079**
- Zegbe, J.A., Serna-Perez, A. and Mena-Covarrubias, J. 2014. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of 'Cristalina' cactus pear. *Scientia Horticulturae*, 167, pp.63-70. doi: **10.1016/j.scienta.2013.12.023**
- Zamani Babgohri, J., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H. and Eshghizadeh, H.R. 2011. Effect of polyacryl sewage sludge, municipal compost and cow manure on soil properties and maize yield. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 14(54), pp.153-166. [In Persian]. doi: **20.1001.1.24763594.1389.14.54.11.0**

Study the effect of the using of mycorrhiza and different levels of manure and chemical fertilizers on some traits of forage cactus (*Opuntia ficus-indica* L.)

Fatemeh Fateminick¹, Khosrow Azizi^{2*}, Soraya Ghasemi³, Omid Ali Akbarpoor²

¹ PhD Student in Agronomy, Lorestan University, Khorramabad, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

³ Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding Author: azizi.kh@lu.ac.ir

Received: 6 September 2022 Accepted: 17 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.357410.1269

Abstract

Introduction: In recent years, attention has been paid to forage cactus as a plant resistant to drought conditions and as an obstacle against desertification and diversification of vegetation in low rainfall ranges. The use of *Opuntia ficus-indica* pads as forage for cattle in the semi-arid and arid regions of the world, especially in periods of time when there is a lack of quality and quantity of fodder in the ranges, is important. Considering the importance of producing fodder plants and improving their quality under the influence of different fertilizer inputs, this experiment aims to investigate the effect of different proportions of biological, chemical and animal fertilizers and their interaction on the qualitative and quantitative characteristics of forage cactus and determine the optimal fertilizer level for this plant in the city, It was done in Khorram Abad, Lorestan.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of using biological, chemical and livestock fertilizers on Separate and combined tests were carried out on some forage cactus traits during two cropping years (2019 and 2020). The size of each plot was 6 square meters (4 x 1.5) with 4 crop lines and the plant density was 3.33 per each square meter. The main pad for planting was prepared from a three-year base and were prepared and transferred from the research farm affiliated to ICARDA (International Center for Agricultural Research in Dry Areas) in Mehran city, belonging to the Agricultural Research Center of Ilam province. The experiment was conducted in the research farm of Lorestan University's Faculty of Agriculture as a factorial in the form of a randomized complete block design with 32 treatments and 3 replications. Experimental factors include biological fertilizer (mycorrhiza) at 2 levels (use and non-use of mycorrhiza), manure at 4 levels (0, 10, 20 and 30 tons per hectare) and nitrogen fertilizer at 4 levels (0, 100, 200 and 300 kilograms per hectare). The qualitative traits included NDF, ADF, CF, ASH and CP, which were measured using a near infrared spectrometer (NIR), (model DA 7250: manufactured by Perten Sweden) measurements were made at wavelengths between 700 and 2500 nm.

(All the measurements for the quality of traits were done in the central laboratory of Lorestan University).

Quantitative analysis of the data after Bartlett's test was done with SAS software Version (9.4) by compound analysis method for all traits (except wet and dry yield which were one year old), to draw graphs from Excel software and to compare the averages from the test LSD was used at a significant level of 5%.

Results and Discussion: The percentage of crude protein, ash, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, and crude fiber, fresh and dry yield was influenced by the use of manure and nitrogen fertilizer, and the simple effect and the interaction effect of the combined use of different levels of manure and nitrogen fertilizer on this trait were also significant at the level of one percent.

The highest fresh forage yield and dry yield were obtained in the treatment of combined use of 300 kg of nitrogen fertilizer + 30 tons per hectare of manure in comparison with the control treatment (no use of fertilizer) with the lowest amount. The percentage of crude protein and fodder ash increased by 83.05% and 88.26% respectively in this treatment, and the percentage of traits reducing the quality

of fodder, including neutral detergent fiber, acid detergent fiber, and crude fiber showed the highest decrease compared to the control treatment, showed. Based on the results of the present research, the combined use of manure and chemical fertilizers led to the improvement of quantitative and qualitative traits in forage cactus. Non significant difference was observed between treatments using mycorrhiza and not using it.

The best result was obtained in the M_3N_3 treatment and then in the M_3N_2 , M_2N_2 and M_2N_3 treatments, considering that no significant difference was observed between the characteristics of these treatments, the M_2N_2 treatment seems to be more economically efficient and more sustainable from the environmental aspect, it is recommended. As it was evident in the test results, no significant difference was observed between the treatments using mycorrhizal biofertilizer and not using this fertilizer. It seems that the beneficial effects of manure last longer compared to chemical fertilizers, and also some organic matter may remain in the soil over the years and its nutrients gradually enter the soil, and less damage is caused by using it, enters the environment.

Conclusion: According to the results of this research, the integrated application of manure and nitrogen fertilizer has improved the quantitative and qualitative traits in forage cactus, non significant difference was observed between the treatments of using bio-fertilizer and not using bio-fertilizer. therefore, it is recommended that the study regarding the use of mycorrhizal fungi in multi-year and long-term supplementary experiments be investigated further. The effect of year was significant only on the trait of plant height and it did not show significant results in other traits. The combination of manure and chemical fertilizer can increase vegetative growth and forage yield, because in the integrated system, the presence of some chemical fertilizer at the beginning of growth compensates for the lack of elements in the root environment, and then during the growth period, animal fertilizers release the elements required by the plant increasing the yield of fodder in the plant.

Keywords: Acid detergent fiber, Crude protein, Fresh and dry yield, Neutral detergent fiber, Pad

تأثیر یکپارچه‌سازی اراضی بر میزان عملکرد مزارع گندم در کرمان با رهیافت تابع ترانسلوگ

حمیدرضا صفاری^۱، مهدی صفدری^۲، امیر دادرسی مقدم^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

* مسئول مکاتبه: amdadras@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.395877.1340

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴

چکیده

یکی از مهم‌ترین موانع و مشکلات عمده بخش کشاورزی در کشورهای در حال توسعه خردی و پراکندگی اراضی کشاورزی می‌باشد که علاوه بر افزایش در هزینه‌های تولید موجب کاهش بهره‌وری و ایجاد ضایعات در نهاده‌های مورد استفاده می‌گردد. استفاده بهینه از اراضی و نهاده‌های کشاورزی جهت تأمین محصولات راهبردی مانند گندم از مهم‌ترین اهداف توسعه کشاورزی پایدار و ایجاد امنیت غذایی در کشور بشمار می‌رود. خرده مالکی بدلیل مشکلات مربوط به استفاده بهینه از فناوری‌ها و روش‌های نوین، محدودیت در بازدهی تولید را موجب می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر اندازه سطح زیرکشت بر میزان عملکرد در مزارع گندم می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از طریق ۱۵۰ پرسشنامه به صورت خوشه‌ای دومرحله‌ای در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ از منطقه دشت کار استان کرمان جمع‌آوری گردیده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که میزان سطح مزارع تأثیر معناداری به میزان ۲/۸۳- بر عملکرد دارد. به دلیل کثرت اراضی خرد و پراکنده در کشور، پیشنهاد می‌گردد در طرح یکپارچه سازی اراضی گندم به کارایی نهاده‌های تولید (آب و کود) که سهم زیادی در افزایش عملکرد داشته، توجه ویژه‌ای شود. به منظور افزایش عملکرد در هر منطقه، تأثیرگذاری نهاده‌های موثر در اراضی بزرگ مقیاس برای محصول استراتژیک گندم در نظر گرفته شود تا منجر به بهبود توسعه کشاورزی شود.

واژه‌های کلیدی: آب، اراضی خرد، توسعه کشاورزی، کود

مقدمه

مشکل دار بودن و ساختار مدیریت بهره‌برداری از زمین می‌باشد که می‌تواند توسعه کشاورزی را محدود نموده و فرصت‌های توسعه پایدار روستایی را کاهش دهد. بر اساس نتایج سرشماری کشاورزی فائو متوسط سطح اراضی کشاورزی در دنیا ۸/۷ و در ایران ۴/۹ هکتار می‌باشد که حدود نصف سطح جهانی می‌باشد (Ghadermaz et al., 2020). هم‌اکنون حدود ۴۵ درصد از بهره‌برداری‌های کشاورزی در کشور مربوط به اراضی بین ۱ تا ۵ هکتار می‌باشد و این میزان طی سالیان متمادی با کاهش بیشتر همراه بوده است. متوسط میزان سطح تعداد بهره‌برداری‌ها هم‌اکنون در کشور به ۴/۹ هکتار رسیده است و این کاهش بیشتر مربوط به اراضی زیر ۱۰ هکتار بوده است؛ که عمدتاً شامل کشاورزان خرده‌مالک و کم‌آمد است؛ که موجب استفاده کمتر این متقاضیان از روش‌های جدید تولید به علت سطح کم اراضی شده است. هم‌اکنون ۸۶ درصد واحدهای بهره‌بردار که اغلب خرده‌مالک هستند، تنها مالک ۳۷ درصد اراضی کشاورزی کشور هستند. با توجه به این که ۹۳ درصد تولید بخش کشاورزی در اراضی زیر ۱۰ هکتار صورت می‌گیرد. از این رو

پراکندگی اراضی مشکل عمده در بسیاری از کشورهای جهان است که مانع توسعه کشاورزی و توسعه پایدار می‌شود (Demetriou et al., 2012). یکپارچه‌سازی اراضی به عنوان یک رهیافت مناسب به منظور دستیابی استفاده پایدار از زمین‌های زراعی است و جنبه‌هایی نظیر بهبود کیفیت اراضی، بازسازی شرایط زیست‌محیطی و پیشرفت در تنظیم شکل اقتصادی را نیز در برمی‌گیرد (Lisec et al., 2012). پراکندگی و قطعه‌قطعه بودن اراضی کشاورزی یکی از موانع جدی توسعه کشاورزی محسوب می‌شود، به گونه‌ای که مانعی در استفاده بهینه از آب، زمین، نیروی انسانی، مکانیزاسیون و دیگر عوامل مؤثر در تولید کشاورزی می‌باشد. قابل ذکر است که طی سالیان اخیر بسیاری از کشورهای دنیا با مشکلی بنام خرد شدن و پراکندگی اراضی کشاورزی روبرو بوده‌اند که مهم‌ترین علل آن شامل عوامل اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، فیزیکی و کاربری می‌باشد (Mohammadzadh, 2015).

میزان خردی و پراکندگی اراضی کشاورزی بیانگر سطح

بیشتر کشورها این امر محقق نشده است و بنا به دلایل مختلف میزان عملکرد بسیار پایین تر از حد مطلوب می باشد که منجر به هدر رفت بخش زیادی از سرمایه تولیدکنندگان می شود. پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰ میزان تولید گندم به ۹۰۰ میلیون تن و تجارت در بازارهای بین المللی به ۲۴۰ میلیون تن برسد که نشان از اهمیت این محصول در بخش اقتصاد کشاورزی کشورها دارد (Röder *et al.*, 2014).

در ایران گندم با سطح زیر کاشت ۶/۵ میلیون هکتار و تولید حدود ۱۲/۷ میلیون تن در سال از جمله مهم ترین محصولات کشاورزی می باشد که حدود ۵۷ درصد اراضی تحت کشور و ۱۲ درصد از کل تولید محصولات کشاورزی را به خود اختصاص داده است. سرانه مصرف این ماده غذایی در کشور ۱۶۷ کیلوگرم و نیاز واردات سالانه به طور متوسط بین ۴ تا ۷ میلیون تن بسته به نوسانات تولید در داخل کشور است. در سال ۱۴۰۰ بیش از ۷ میلیون تن گندم به ارزش حدود ۲/۵ میلیارد دلار وارد کشور شده است، این میزان واردات گندم حدود ۳۰ درصد وزن و ۱۸ درصد ارزش هزینه کل واردات کشور را به خود اختصاص داده است که در صورت استفاده بهینه از پتانسیل های موجود و به کارگیری روش های بهینه تولیدی می توان بخش قابل توجهی از میزان کمبود محصول مورد نیاز را از تولیدات داخل تأمین نمود. استان کرمان نیز با سطح زیر کشت ۸۸ هزار هکتار و تولید ۲۶۸ هزار تن گندم، دارای رتبه ۱۸ در بین استان های تولیدکننده گندم در کشور است. عمده ارقام تحت کشت گندم شامل ارقام گندم یک کراس، دو روم، چمران، بهرنگ، روشن، امید و پیشتاز می باشد (Agricultural Jihad ministry, 2021).

در این بخش به تعدادی از مطالعات صورت گرفته در زمینه اصلاحات اراضی پرداخته شده است. در مطالعه ای به تعیین عوامل موثر بر اصلاحات ارضی در آفریقای جنوبی با استفاده از رگرسیون لاجبیت پرداخته شد و دریافتند که سن، تحصیلات، دارایی افراد و احساس محدودیت توسط کشاورز بر احتمال تمایل به پرداخت برای جابجایی و تغییر موقعیت ساکنان منطقه اثر گذار است (Zantsiet *et al.*, 2022). در تحقیقی به بررسی یکپارچه سازی زمین در مقیاس بزرگ در مناطق روستایی چین پرداخته شد. نتایج نشان می دهد که یکپارچه سازی زمین های روستایی نقش موثری در تسهیلات روستایی داشته است و

یکی از مهم ترین چالش های ممکن در بخش کشاورزی به پراکندگی و خرده مالکی بودن این اراضی برمی گردد (Shokati Amghani *et al.*, 2019).

پراکندگی اراضی از جمله مهم ترین چالش ها در خصوص غیر کارآ بودن مدیریت مزرعه و عدم استفاده مؤثر از تکنولوژی مدرن و ماشین آلات و پائین بودن بهره وری عوامل تولید بوده است. جهت رفع این معضل متخصصان راه حل منطقی و قابل اجرای فرایند یکپارچه سازی اراضی را توصیه می نمایند. برنامه یکپارچه سازی اراضی گامی مهم در جهت بهبود کارآیی نیروی کار و بهره وری بهینه از اراضی کشاورزی می باشد و افزایش آگاهی کشاورزان در مورد نتایج اقتصادی و اجتماعی یکپارچه سازی اراضی عمدتاً توسط مروجین و برنامه های حمایتی از سوی دولت نقش مهمی در پذیرش این برنامه دارد (Gonzales Garcia, 2007). کشت در اراضی خرده مالکی به دلیل عدم استفاده از روش های مناسب آبیاری همچنین می تواند به اتلاف بخش عمده آب مصرفی منجر شود. هم اکنون حدود ۳/۵ میلیارد نفر در ۴۰ کشور جهان به دلیل کمبود آب در معرض خطر کم آبی بوده و تأمین آب مورد نیاز جزو مهم ترین عوامل دستیابی به امنیت غذایی در جهان است. از آنجاکه بخش کشاورزی نزدیک به ۷۰ تا ۸۰ درصد از آب موجود استفاده می کند، لذا بازیافت و کاهش در مصرف آب یک استراتژی کلیدی برای برآوردن نیازهای آبیاری جهانی شناخته می شود (Attwater *et al.*, 2016).

گندم از مهم ترین محصولات غذایی است که حدود ۳۰ درصد از تولید جهانی غلات را تشکیل می دهد. حدود ۷۰ درصد گندم تولیدی برای مصرف غذای انسان و ۳۰ درصد آن نیز جهت سایر مصارف از جمله خوراک دام و طیور مورد استفاده قرار می گیرد. رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، افزایش رفاه، توسعه شهرنشینی و تغییر سبک زندگی سبب افزایش تقاضا جهت این محصول شده است. گندم تقریباً در سرتاسر جهان و در انواع آب و هوا کاشت می شود، اما بهترین مناطق کشت این محصول آب و هوای معتدل می باشد؛ که عملکرد تا حدود ۱۰ تن در هکتار را نیز می توان به دست آورد. در حال حاضر متوسط عملکرد گندم ۳ تن در جهان می باشد. در حالی که تولیدکنندگان اصلی گندم مانند اتحادیه اروپا و کانادا توانسته اند به پتانسیل بالای زراعی و اکولوژیکی در تولید گندم دست یابند، اما هنوز در

چند معیاره در جهت حفاظت از زمین‌های کشاورزی در کشورهای اروپائی پرداخته شد، نتایج حاصل نشان داد که مدل‌های تصمیم‌گیری به کاربران اجازه می‌دهد که بر اساس تقاضا، زمین‌ها رتبه‌بندی شده و بهترین استفاده از آن‌ها انجام شود (Corbelle et al., 2018). در تحقیقی با موضوع یکپارچه‌سازی اراضی و اثرات آن را با توجه به تجزیه و تحلیل چند معیاری در کشور مراکش نشان داده شد که عواید اقتصادی مهم‌ترین اثر را در بین اثرات حاصله دارد (Derak et al., 2017). در خصوص مشکلات یکپارچه‌سازی اراضی در شهر بوکان نشان داده شد که ارتباط بین یکپارچه‌سازی اراضی و نقش آن در پایداری توسعه کشاورزی عمدتاً به عوامل فرهنگی، اجتماعی، مشارکتی، آموزشی، اقتصادی، قانونی و سیاست‌گذاری و موانع ساختاری (توپوگرافی) مربوط بوده و این فاکتورها حدود ۷۳ درصد از واریانس موانع یکپارچه‌سازی اراضی را تبیین می‌کنند. همچنین متغیرهای عدم آموزش، روش‌های نامناسب یکپارچه‌سازی، عدم شرکت کشاورزان در کلاس‌های توجیهی، رونق خرید و فروش اراضی کشاورزی، مالکیت زمین، عدم توجه به وضعیت اقتصادی روستائیان و مشارکت کم بانک‌ها در سرمایه‌گذاری‌های مناسب در بخش‌های کشاورزی از فاکتورهای مهم دیگر در این خصوص می‌باشد (Karimi et al., 2015). در خصوص وضعیت یکپارچه‌سازی اراضی در کشور قبرس مشخص شد که زمان‌بر بودن اجرای پروژه‌های یکپارچه‌سازی اراضی، هزینه‌های بالای عملیاتی و تضاد بین متصدیان پروژه‌ها از مهم‌ترین موانع پیشبرد این برنامه می‌باشد (Demetriou et al., 2012).

با توجه به مطالعات انجام شده مشخص شد که یکپارچه‌سازی اراضی منجر به افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شود و استفاده از اراضی بزرگ مقیاس منجر به توسعه کشاورزی می‌شود. نوآوری پژوهش آن است که نهاده‌های کشاورزی (نیروی کار، آب، زمین، کود) با توجه به یکپارچه‌سازی زمین بر عملکرد گندم در کرمان چه تاثیری دارد و آیا با حرکت به سمت زمین‌های بزرگ مقیاس به دلیل مشارکت تعداد بیشتر کشاورزان و افزایش بهره‌وری زمین بر تولید محصول گندم در

کارآفرینی روستایی، اثرات مثبت و معنی‌دار بر یکپارچه‌سازی داشته است. شاخص‌های مربوط به تولید و زندگی روستایی، شاخص‌های بوم‌شناسی روستایی، تمدن روستایی و حکمرانی تأثیر بسزایی در مزارع بزرگ مقیاس داشته است (Yin et al., 2022). در پژوهشی به شناسایی و اولویت‌بندی موانع یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی در ایران پرداخته شد و چهار معیار توسعه کشاورزی، قابلیت اصلاح شدن، خودکفایی، کاهش فقر و ناامنی غذایی اولویت‌بندی در این پژوهش بکار گرفته شد و نتایج نشان داد در روش ساو^۱ مهمترین موانع به ترتیب شامل سیاسی و قانونی، فنی و زیرساختی، اقتصادی، آموزشی و حرفه‌ای، اجتماعی و فرهنگی است. اما در روش موریس^۲ به ترتیب موانع شامل آموزشی و حرفه‌ای، فنی و زیرساختی، اقتصادی، زراعی و اکولوژیکی، سیاسی و قانونی، اجتماعی و فرهنگی است (Savari et al., 2021). در خصوص وضعیت ناامنی و کاهش غلات تولیدی در ناحیه شرق خاورمیانه شامل کشورهای ترکیه، مصر، عراق، سوریه، صحرای عربی و فلسطین نشان داده شد که عمده علل تأثیرگذار بر کاهش تولیدات در این مناطق شامل مشکلات مربوط به پراکندگی و خردی اراضی و استفاده از شیوه‌های ناکارآمد تولیدی نوین است (Hameed et al., 2020). در پژوهشی با عنوان بررسی موانع توسعه یکپارچه‌سازی اراضی در شهر کنگاور استان کرمانشاه نشان داده شد که مهم‌ترین مانع در توسعه یکپارچه‌سازی اراضی، کمبود سرمایه‌گذاری و اعتبارت می‌باشد. همچنین ضعف زیرساخت‌ها، عوامل فردی، عدم خلاقیت، عدم مشارکت فکری و اعتماد، عدم مدیریت و شیوه تولید، فقدان دانش و آگاهی و عدم دسترسی به امکانات ارتباطی در مناطق روستایی از عوامل دیگر محدودکننده توسعه یکپارچه‌سازی می‌باشد (Hadipour et al., 2019). بررسی نقش یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی و آثار اقتصادی آن در مزارع شالیکاری استان گیلان نشان داد که به‌کارگیری روش‌های مهندسی زراعی، مکانیزاسیون و یکپارچه‌سازی اراضی در کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد بهره‌برداران تأثیر مثبت و معناداری دارد. (Sharifi et al., 2019). در مطالعه‌ای به بررسی اثرات یکپارچه‌سازی اراضی با استفاده از روش تصمیم‌گیری

۲ - روش موریس برای اولویت‌بندی نواحی از نظر درجه توسعه یافتگی استفاده می‌شود.

۱ - روش ساو یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه است که شاخص‌ها را رتبه‌بندی می‌کند.

$$\ln(y) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln(x_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \alpha_{ii} (\ln x_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} (\ln x_i \cdot \ln x_j) + u_i \quad i \neq j \quad (1)$$

Y مقدار محصول، α_i مقدار نهاده i ام، X_j مقدار نهاده j ام، u_i جز اخلال می‌باشند. α_0 عرض از مبدأ و $\alpha_i, \alpha_{ii}, \alpha_{ij}$ ضرایب برآوردی هستند. توجه، کشش مقیاس به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$E_{\text{Translog}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{i=1}^n \alpha_{ii} \ln(x_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} (\ln(x_i) + \ln(x_j)) \quad (2)$$

E کشش مقیاس، $\alpha_i, \alpha_{ii}, \alpha_{ij}$ ضرایب برآوردی در تابع ترانسلوگ و X_j و X_i مقادیر نهاده i ام و j ام می‌باشد. چنانچه E بزرگ‌تر از یک باشد، بازده نسبت به مقیاس فزاینده، چنانچه بین صفر و یک باشد، بازده نسبت به مقیاس کاهشده و چنانچه کمتر از صفر باشد، تولید در ناحیه سوم خواهد بود (Hegde et al., 2022). مدل ترانسلوگ با توجه به نهاده‌های مورد نظر، برای بررسی ارتباط بین اندازه مزرعه و عملکرد محصول گندم به صورت رابطه (۳) قابل تخمین است:

$$\ln Q_i = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{Land}_i + \beta_2 \ln \text{Water}_i + \beta_3 \ln \text{Fer}_i + \beta_4 \ln \text{Labour}_i + \beta_5 (\ln \text{Land}_i)^2 + \beta_6 (\ln \text{Water}_i)^2 + \beta_7 (\ln \text{Fer}_i)^2 + \beta_8 (\ln \text{Labour}_i)^2 + \beta_9 \ln(\text{Land}_i) \cdot \ln(\text{Water}_i) + \beta_{10} \ln(\text{Fer}_i) \cdot \ln(\text{Water}_i) + \beta_{11} \text{DBS}_i + \varepsilon \quad (3)$$

که در این مدل Q_i میزان تولید گندم برحسب تن، Land_i نهاده زمین برحسب هکتار، Water_i نهاده حجم آب مصرفی برحسب مترمکعب، Fer_i نهاده کود اوره برحسب کیلوگرم، Labour_i نهاده نیروی کار برحسب نفر روز، ε_i جز اخلال و DBS_i متغیر مجازی اندازه می‌باشد که به ترتیب مقدار یک برای مزارع با اندازه‌ی بیشتر از ۵ هکتار و مقدار صفر برای سایر مزارع مرقوم شده است. در مدل ترانسلوگ برای بررسی رابطه‌ی نسبت نهاده‌ها با هم از کشش تولید استفاده می‌شود. رابطه ریاضی برای به دست آوردن کشش تولید با توجه به رابطه (۴) به صورت زیر می‌باشد:

$$\beta_{ii} = \frac{d(\ln Q)}{d(\ln X_i)} = \beta_{ii} + 2(\beta_{ii})(\text{Mean} \ln(X_i)) + \beta_i \beta_j (\text{Mean} \ln(X_j)) \quad (4)$$

مقادیر کشش‌های مدل ترانسلوگ از رابطه (۵) بدست

کرمان موثر می‌باشد؟ لذا هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر یکپارچه‌سازی اراضی بر میزان عملکرد مزارع گندم در کرمان است و سعی شده است به آن پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه به صورت میدانی و با استفاده از ۱۵۰ پرسشنامه از بین گندم‌کاران منطقه دشت کار استان کرمان در دوره زمانی (۱۴۰۰-۱۳۹۹) به صورت خوشه‌ای دومرحله‌ای تهیه گردیده است؛ که در نهایت برای بررسی ارتباط بین سطح زیر کشت و میزان تولید مورد استفاده قرار گرفته است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها، شامل برآورد تابع تولید گندم و محاسبه تأثیر اندازه سطح زیر کشت بر میزان عملکرد می‌باشد. از آنجا که نتایج تخمین یک مدل اقتصادسنجی به انتخاب فرم تابعی الگوی مورد استفاده بستگی دارد بسیاری از خطاهای تصریح در مطالعات اقتصادسنجی مربوط به انتخاب بد متغیرها و شکل تابع می‌شوند؛ بنابراین انتخاب تابع مناسب جهت نحوه تخمین امری بسیار ضروری می‌باشد. در این تحقیق مناسب‌ترین مدل جهت انتخاب شکل تابعی مدل، تابع تولید ترانسلوگ تعیین و جهت تخمین و برآورد نتایج از نرم‌افزار Eview12 استفاده گردیده است.

در یک رابطه تابعی مناسب با استفاده از آزمون‌های آماری و اقتصادسنجی متداول‌ترین نوع فرم تابع مورد استفاده برای این منظور تابع تولید ترانسلوگ می‌باشد. این شکل تابع، جز توابع انعطاف‌پذیر است (Debertin, 2012). تابع ترانسلوگ تمامی ویژگی‌های تابع تولید کلاسیک مانند تقعر، متناهی بودن، پیوستگی، دو بار مشتق‌پذیری، یکنواختی و ضروری بودن نهاده‌ها را داراست. این فرم تابع یک کاربرد گسترده‌تری دارد و برای اولین بار توسط (کریستنسن و همکاران، ۱۹۷۱)^۱ با نام تابع هزینه لگاریتم میترانسندنتال (ترانسلوگ) ارائه گردید. در این فرم تابع، ضرایب آثار متغیرها نیز برآورد می‌شود و هیچ محدودیتی بر مقادیر کشش‌ها وارد نمی‌شود. با توجه به مطالب ارائه شده، شکل عمومی تابع تولید ترانسلوگ به صورت رابطه (۱) تبیین می‌شود:

¹.Christensen,L.& et al. (1971).

می‌آید:

$$\beta_1 = \frac{d(\ln(Q))}{d(\ln(\text{land}))} = \beta_1 + 2(\beta_5)(\text{Mean } \ln(\text{land})) + \beta_9(\text{Mean } \ln(\text{water})) \quad (5)$$

معکوس شکل) بین اندازه زمین و مقدار تولید گندم است. به عبارت دیگر با افزایش مقیاس زمین، ابتدا تولید کاهش یافته و سپس بعد از یک نقطه حداقل، افزایش خواهد یافت. لذا می‌توان گفت که یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی و افزایش سطح کشت در مجموع میزان تولید را افزایش خواهد داد که همسو با مطالعاتی است که دریافتند یکپارچه سازی زمین در مقیاس بزرگ اثرات مثبت و معنی‌دار بر تولید در چین دارد (Yin et al., 2022).

همچنین با توجه به ضریب مثبت Ln (labor) و Ln (fer) مشاهده می‌شود که زمین و کودهای اوره نقش هم‌افزایی در تولید را دارند. به عبارت دیگر اگر زمین و کودهای اوره با یکدیگر به طور بهینه مورد استفاده قرار گیرند، منجر به افزایش بیشتر تولید می‌شوند. همچنین رابطه بین نیروی کار، کود اوره و آب با سطح تولید گندم یک رابطه U معکوس می‌باشد. به عبارت دیگر یک تابع غیرخطی و مقعر است (Samaraweera et al., 2022).

پس از بررسی‌های نظری انجام شده این نتیجه حاصل گردید که تابع تولید ترانسلوگ، یک تابع انعطاف‌پذیر بوده که تمامی ویژگی‌های تابع تولید کلاسیک مانند تقعر، متناهی بودن، پیوستگی، دو بار مشتق‌پذیری، یکنواختی و ضروری بودن نهاده‌ها را داراست؛ و از برآورد مدل ترانسلوگ با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۲ می‌توان گفت که متغیرهای زمین، آب مصرفی، نیروی کار، مجذور زمین، مجذور آب و مجذور نیروی کار معنادار گردیده است؛ اما این نتایج به دلیل وجود ناهمسانی واریانس در مدل قابل تفسیر نمی‌باشد.

از برآورد مدل ترانسلوگ در جدول ۲ و با توجه به نتایج جدول ۳ می‌توان گفت مدل ترانسلوگ مناسب‌ترین مدل جهت تخمین تابع مورد نظر می‌باشد. برای انتخاب مناسب‌ترین شکل تابع تولید از آزمون والد^۳ استفاده می‌شود. فرضیه صفر این آزمون گویای آن است که ضرایب β_5 تا β_{10} به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با صفر ندارد یعنی $H_0: \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \dots = \beta_{10} = 0$. آماره F این آزمون معنادار شده است، پس فرض صفر رد شده، یعنی صفر بودن ضرایب قابل قبول نیست که بیانگر این است که ضرایب در مدل باقی می‌مانند.

نتایج و بحث

تابع ترانسلوگ یک تابع انعطاف‌پذیر بوده که تمامی ویژگی‌های تابع تولید کلاسیک مانند تقعر، متناهی بودن، پیوستگی، دو بار مشتق‌پذیری، یکنواختی و ضروری بودن نهاده‌ها را دارا می‌باشد؛ لذا در این مرحله به برآورد این تابع پرداخته می‌شود. نتایج برآورد تابع ترانسلوگ در جدول ۱ ارائه شده است. برای تشخیص روش برآورد، ابتدا آزمون‌های تشخیصی مدل انجام می‌شود. با توجه به اینکه آزمون‌های خودهمبستگی در مدل‌های مقطعی معمول نمی‌باشد، از آزمون‌های تشخیصی فقط آزمون واریانس ناهمسانی انجام شده است. نتایج این آزمون بر اساس آماره، (بروش و پاگان)^۱ نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود ناهمسانی واریانس رد می‌شود؛ بنابراین بر اساس روش برآورد OLS نخواهد بود. در این تحقیق از فرم استوار^۲ برای برآورد استفاده شده است. این فرم در Eviews 12 به عنوان یک روش جداگانه ارائه شده که مناسب مدل‌هایی می‌باشد که ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی اجزای اخلاص دارند. در نهایت ضرایب فرم استوار در جدول ۱ درج شده است.

فرضیه صفر این آزمون گویای آن است که ضرایب β_6 تا β_{15} به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با صفر ندارد؛ یعنی $H_0: \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \dots = \beta_{15} = 0$. همچنین نتیجه این آزمون فرضیه نشان می‌دهد که کلیه ضرایب فوق معنی‌دار است. یا به عبارت دیگر فرضیه صفر مبنی بر عدم معنی‌داری رد می‌شود؛ بنابراین تابع ترانسلوگ تابع مناسبی برای برآورد تابع تولید می‌باشد. علاوه بر این ضریب تعیین تعدیل شده گویای قدرت توضیح دهنده بالایی متغیرهای توضیحی می‌باشد. به این صورت که در صورت افزایش یک درصد در کشت، میزان تولید گندم ۲/۸۳- درصد کاهش خواهد یافت. ضریب منفی لگاریتم زمین گویای این موضوع است؛ اما ضریب مجذور لگاریتم زمین منفی است (۰/۳۸-) که به معنی رابطه غیرخطی و محدب (U

³.Wald Test.

¹- Breusch-pagan

² - robust

جدول ۱- نتایج برآورد مدل ترانسلوگ
 Estimation result of translog model -Table1

متغیر Variable	ضرایب Coefficients	انحراف معیار Standard deviation	آماره-t Statistics-t	احتمال Probability
ضریب ثابت C	0.6	0.44	0.44	0.65
لگاریتم زمین Ln (land)	-2.83	-6.96	-6.96	0.000
لگاریتم آب Ln (water)	-0.3	-2.5	-2.5	0.01
لگاریتم کود Ln (fer)	4.67	11.81	11.81	0.000
لگاریتم نیروی کار Ln (labour)	-2.3	-10.93	-10.93	0.000
لگاریتم زمین به توان دو [Ln land]2	0.38	11.8	11.8	0.000
لگاریتم آب به توان دو [Ln water]2	-0.02	-4.02	-4.02	0.001
لگاریتم کود به توان دو [Ln fer]2	-0.06	-16.6	-16.6	0.000
لگاریتم نیروی کار به توان دو [Ln labour]2	-0.01	-0.95	-0.95	0.33
لگاریتم زمین*لگاریتم آب Ln (land).Ln (water)	-0.05	-2.88	-2.88	0.003
لگاریتم کود*لگاریتم آب Ln (fer).Ln (water)	0.1	8.84	8.84	0.000
لگاریتم نیروی کار* لگاریتم آب Ln (labour).Ln (water)	0.037	3.53	3.53	0.000
لگاریتم زمین*لگاریتم نیروی کار Ln (land).Ln (labour)	-0.53	-16.14	-16.14	0.000
لگاریتم زمین*لگاریتم کود Ln (land).Ln (fer)	1.05	18.16	18.16	0.000
لگاریتم نیروی کار* لگاریتم کود Ln (labor).Ln (fer)	0.34	11.34	11.34	0.000
متغیر مجازی DS	-0.22	-8.46	-8.46	0.000
ضریب تعیین تعدیل شده $2\bar{R}$	0.76	آماره F Statistic F	171.6 (0.000)	
آماره بروش پاگان Brosh Pagan statistics	6.34 (0.000)			

جدول ۲- نتایج برآورد مدل ترانسلوگ (ادامه جدول ۱)

Estimation result of translog model (Continuation of Table 1) -Table2

متغیر Variable	ضرایب Coefficients	انحراف معیار Standard deviation	آماره-t Statistics-t	احتمال probability
ضریب ثابت C	-73.51	38.72	-1.89	0.06
لگاریتم زمین Ln (land)	-17.76	9.9	-1.79	0.03
لگاریتم آب Ln (water)	18.56	9.08	2.04	0.04
لگاریتم کود Ln (fer)	-1.17	1.36	-1.25	0.21
لگاریتم نیروی کار Ln (labour)	0.36	0.206	1.76	0.05
لگاریتم زمین به توان دو [Ln land]2	-1.11	0.66	-1.66	0.1
لگاریتم آب به توان دو [Ln water]2	-1.19	0.52	-2.29	0.02
لگاریتم کود به توان دو [Ln fer]2	-0.16	0.34	-0.46	0.64
لگاریتم نیروی کار به توان دو [Ln labour]2	-0.1	0.03	-2.75	0.00
لگاریتم زمین*لگاریتم آب Ln (land).Ln (water)	2.17	1.17	1.84	0.07
لگاریتم کود*لگاریتم آب Ln (fer).Ln (water)	0.37	0.52	0.72	0.48
متغیر مجازی DS	0.08	0.09	0.96	0.33
ضریب تعیین تعدیل شده 2R̄	0.89	آماره F Statistic F	88.42(0.000)	
آماره دوربین واتسون D.W statistics	1.37			

جدول ۳- نتایج آزمون والد مدل ترانسلوگ

Table 3- Estimation result of trans log model wald Test Result

آماره آزمون Test statistics	مقدار amount	درجه آزادی Degrees of Freedom	احتمال probability
آماره F F-statistic	3.36	(6,105)	0.00
آماره کای اسکور Chi-square	20.21	6	0.00

حدافل مربعات وزنی^۲ استفاده شده است. از آنجا که ساختار واریانس ناهمسانی مشخص نمی‌باشد بنابراین از معکوس بردار جملات اخلاص^۳ برای رفع واریانس ناهمسانی استفاده شده است.

آزمون وایت^۱ برای بررسی ناهمسانی واریانس انجام شده در جدول ۴ نشان می‌دهد؛ که آماره آزمون F در سطح ۵ درصد معنادار شده که نشان دهنده وجود ناهمسانی واریانس در مدل ترانسلوگ می‌باشد و برای رفع ناهمسانی واریانس از روش

^۳.Residual Term.

^۱.White Test.

^۲.Weighted Least Square (WLS).

جدول ۴- نتایج آزمون وایت

Table 4- White Test results

Test statistics	آماره آزمون	مقدار amount	احتمال probability
F	آماره F	2.24	0.00
F-statistic	آماره کای اسکور	86.98	0.03
Chi-square			

جدول ۵- نتایج برآورد مدل ترانسلوگ از روش (WLS)

Table 5- Estimation result of Trans log model of the method (WLS)

متغیر	ضرایب	انحراف معیار	آماره-t	احتمال
Variable	Coefficients	Standard deviation	Statistics-t	probability
ضریب ثابت	-62.03	13.99	-4.43	0.00
C				
لگاریتم زمین	15.73	3.47	-4.53	0.00
Ln (land)				
لگاریتم آب	15.86	3.17	5.00	0.00
Ln (water)				
لگاریتم کود	-1.63	0.65	-2.51	0.01
Ln (fer)				
لگاریتم نیروی کار	0.33	0.11	2.82	0.00
Ln (labour)				
لگاریتم زمین به توان دو	-1.00	0.24	-4.31	0.00
[Ln land]2				
لگاریتم آب به توان دو	-1.00	0.18	-5.62	0.00
[Ln water]2				
لگاریتم کود به توان دو	-0.11	0.12	-0.96	0.34
[Ln fer]2				
لگاریتم نیروی کار به توان دو	-0.1	0.018	-5.30	0.00
[Ln labour]2				
لگاریتم زمین*لگاریتم آب	1.94	0.41	4.66	0.00
Ln (land).Ln (water)				
لگاریتم کود*لگاریتم آب	0.3	0.19	1.58	0.11
Ln (fer).Ln (water)				
متغیر مجازی DS	0.11	0.03	3.58	0.00
D				
متغیر مجازی	-0.47	0.058	-8.17	0.00
آماره وزن داده شده				
Weighted Statistics				
ضریب تعیین	0.99	آماره F	4044 (0.00)	
$2\bar{R}$		Statistic F		
آماره دوربین واتسون	1.14			
D.W statistics				
آماره وزن داده نشده				
Unweighted Statistic				
ضریب تعیین	0.89	آماره F	88.42 (0.00)	
$2\bar{R}$		Statistic F		
آماره دوربین واتسون	1.37			
D.W statistics				

این تحقیق نشان داد که میزان سطح مزارع تأثیر معناداری بر میزان عملکرد گندم در کرمان دارد و یکپارچه‌سازی اراضی کشاورزی و افزایش سطح زیرکشت در مجموع میزان تولید را افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که زمین و کودهای اوره نقش هم‌افزایی در تولید را دارند. به عبارت دیگر اگر زمین و کودهای اوره با یکدیگر به‌طور بهینه مورد استفاده قرار گیرند، منجر به افزایش بیشتر تولید می‌شوند. همچنین متغیرهای آب مصرفی، نیروی کار، مجذور زمین، مجذور آب مصرفی و مجذور نیروی کار بر عملکرد گندم در کرمان موثر بود. به دلیل کثرت اراضی خرد و پراکنده در کشور علی‌الخصوص کرمان، پیشنهاد می‌گردد که دولت با همکاری جهاد کشاورزی و دیگر سازمان‌های مربوطه، اعتبارات مناسب در اختیار روستاییان قرار دهد تا منجر به افزایش انگیزه در میان تولید کنندگان برای اجرای طرح یکپارچه سازی شود. همچنین در طرح یکپارچه‌سازی اراضی به کارایی نهاده‌های تولید (آب و کود) که سهم زیادی در افزایش عملکرد گندم داشته توجه ویژه‌ای شود. در نهایت، سیاست‌گذاری‌ها به منظور افزایش عملکرد گندم در هر منطقه به‌صورت علمی با توجه به انواع توابع تولید و تاثیرگذاری نهاده‌های موثر در اراضی بزرگ مقیاس اتخاذ شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵ مشاهده می‌شود که متغیرهای زمین، آب مصرفی، نیروی کار، مجذور زمین، مجذور آب مصرفی و مجذور نیروی کار، ترکیب زمین و آب مصرفی و متغیر مجازی معنادار شده‌اند که با پژوهش (Nouri-Khajebeagh et al, 2022) مطابقت دارد که آب مصرفی در تولید محصول موثر بوده است.

مقدار این آماره برای متغیر مجازی اندازه مزرعه معنادار شده که بیانگر ارتباط معنی‌دار بین اندازه زمین و عملکرد تولید گندم می‌باشد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اندازه مزرعه تأثیر مستقیم بر روی عملکرد محصول گندم دارد و عملکرد زمین‌های بزرگ‌تر از ۵ هکتار به‌طور متوسط ۱۱ درصد بیش از زمین‌های کوچک‌تر از این سطح می‌باشد؛ بنابراین با توجه به مقدار R^2 که ۰/۹۹ است متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده توانسته‌اند ۹۹ درصد از تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهند که حاکی از خوبی برازش مدل می‌باشد.

با جایگذاری مقادیر جدول ۵ و مقادیر متوسط برای نهاده‌ها که در پیوست آورده شده، کشش‌های تولید که شامل روابط (۵) تا (۸) است به‌دست‌آمده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به ضریب β_1 که به میزان ۰/۶۷ به‌دست‌آمده است می‌توان گفت که بین نهاده آب و زمین رابطه جانشینی وجود دارد.

$$\beta_1 = 0.67, \beta_2 = 0.55, \beta_3 = -0.21, \beta_4 = -0.21$$

نتیجه‌گیری کلی

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر اندازه سطوح بر میزان عملکرد در مزارع گندم در کرمان می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از

References

- Attwater, R., Anderson, L. and Derry, C., 2016. Agricultural risk management of a peri-urban water recycling scheme to meet mixed land-use needs. *Agricultural Water Management*, 76, pp.266-269. doi: 10.1016/j.agwat.2016.05.025
- Corbelle-Rico, E., Santé-Riveira, I. and Crecente-Maseda, R., 2018. A decision support system for farmland preservation: integration of past and present land use. *Spatial Analysis and Location Modeling in Urban and Regional Systems*, pp.173-192. doi: 10.1007/978-3-642-37896-6_8
- Debertin, D.L., 2012. *Agricultural Production Economics*, University of Kentucky, 432P.
- Demetriou, D., Stillwell, J., and See, L., 2012. Land consolidation in Cyprus: why is an integrated planning and decision support system required? *Land Use Policy*, 29, pp.131-142

- Derak, M., Cortina, J. and Taiqui, L., 2017. Integration of stakeholder choices and multi-criteria analysis to support land use planning in semiarid areas. *Land Use Policy*, 64, pp.414-428. **doi: 10.1016/j.landusepol.2011.05.012**
- Ghadermazi, H., Ahmadi Dehrashid, A. and Bijani, M., 2020. Agricultural land consolidation in Iran: advantages and limitations (the case of villages in Dehgolan township, Iran). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22, pp.317-332. **doi: 20.1001.1.16807073.2020.22.2.20.8**
- Gonzales Garcia, I., 2007. Land Consolidation in Spain: The Land Registry Perspective. Effective and Sustainable Land Management—A Permanent Challenge for Each Society. In *UNECE WPLA Workshop, Session III-Social and Constitutional Dimension of Land Management, Munich, May* pp.24-25.
- Hadipour, M., Roumaini, A., Azizpour, F. and Lasmipour, R., 2019. Barriers to the Promotion of Agricultural Land Consolidation in Rural Areas from Farmers' Point of View (Case Study: Fash Dehdan of Kangavar County). *Journal of Research and Rural Planning*, 8, pp.45-62 (In Persian). **doi: 10.22067/jrrp.v8i1.68007**
- Hameed, M., Ahmadalipour, A. and Moradkhani, H., 2020. Drought and food security in the middle east: An analytical framework. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281, 107816. **doi: 10.1016/j.agrformet.2019.107816**
- Hossinzadeh, J., 2012. Determining the optimal size of rice fields in Guilan province Dehdan of Kangavar County. *Journal of Research and Rural Planning*, 8, pp.45-62. [In Persian].
- Hegde, S., Kumar, G., Engle, C., Avery, J., Aarattuthodi, S., Johnson, J. and van Senten, J., 2022. Production economic relationships in intensive US catfish production systems. *Aquaculture Economics & Management*, 26, pp.314-331. **doi: 10.1080/13657305.2022.2038720**.
- Karimi, K., 2015. Understanding the obstacles of land integration in the sustainability of agricultural development (case study: Bukan city). First national conference of agricultural management with the application of agricultural model. [In Persian].
- Lisec, A., Sevatal, H., BJERVA, Ø.J. and Ferlan, M., 2012. The institutional framework of land consolidation—comparative analysis between Slovenia and Norway. *Forest*, pp.66, 38-2.
- Nouri-Khajebelagh, R., Khaledian, M. and Kavooosi-Kalashami, M., 2022. Determination of global water value to improve water management in Ardabil plain, Iran. *Acta Geophysica*, 70, pp.791-799. **doi: 10.1007/s11600-022-00741-7**
- Röder, M., Thornley, P., Campbell, G. and Bows-Larkin, A., 2014. Emissions associated with meeting the future global wheat demand: A case study of UK production under climate change constraints. *Environmental Science and Policy*, 39, pp.13-24. **doi: 10.1016/j.envsci.2014.02.002**
- Savari, M., Mirzaie, A. and Asadi, Z., 2021. Determination and Prioritization of Barriers to consolidation of Agricultural Land in Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, 13, pp.111-133. [In Persian]. **doi: 10.30495/jae.2022.4534**
- Samaraweera, A.M., van der Werf, J.H., Boerner, V. and Hermes, S., 2022. Economic values for production, fertility and mastitis traits for temperate dairy cattle breeds in tropical Sri Lanka. *Journal of Animal Breeding*

- and Genetics*, 139, pp.330-341. doi: 10.1111/jbg.12667
- Shokati Amghani, M., Kalantari, K., Asadi, A. and Shabanali Fami, H., 2019. Measuring the Rate of Fragmentation and Dispersion of Arable Lands in East Azarbaijan province, Iran. *Journal of Rural Research*, 9, pp.520-535. [In Persian]. doi: 10.22059/jrur.2018.263135.1271
- Statistics Agricultural Jahad ministry, 2021[In Persian].
- Sharifi, M.A., Sardar Shahraki, A., Dadashi, M.A. and Asgari, M.H., 2019. Review the integration process of agricultural lands and its economic impact, case study: rice farmers in Guilan province. *Agricultural Economics Research*, 11, pp.217-236. [In Persian]. doi: 20.1001.1.20086407.1398.11.41.11.6
- Yin, Q., Sui, X., Ye, B., Zhou, Y., Li, C., Zou, M. and Zhou, S., 2022. What role does land consolidation play in the multi-dimensional rural revitalization in China? A research synthesis. *Land Use Policy*, 120, 106261. doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106261
- Zantsi, S., Mazwane, S. and Greyling, J.C., 2022. Determinants of potential land reform beneficiaries' willingness to relocate from their former homeland homestead farms to commercial farms. *South African Geographical Journal*, 104, pp.213-230. doi: 10.1080/03736245.2021.1945949

The effect of land consolidation on the yield of wheat fields in Kerman with the Translog function approach

Hamidreza Safari¹, Mahdi Safdari², Amir Dadrasmoghadam^{2*}

¹ PhD student, Department of Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

² Department of Agricultural Economics, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

*Corresponding Author: amdadras@gmail.com

Received: 4 May 2023

Accepted: 13 September 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.395877.1340

Abstract

Introduction: The need for food in the human security due to increasing population and improving food security is, increasing at with high speed, providing this basic need and solving the challenges related to it requires all-out effort and prevention in the field of optimal use of the existing institutions and potentials of the agricultural sector in countries like Iran ,which are in dire strait in terms of some resources such as water, the need to use the existing potentials in the agricultural sector becomes even more important. One of the most important obstacles and major problems in the agricultural sector in developing countries is the fragmentation and scattered of agricultural land, which in addition to increasing production costs, reduce productivity and creates waste in the facilities used .Increasing the awareness of farmers about the economic and social results and the consequences of the effects of land consolidation is mainly based on the support programs of the government and the relevant organization and this regard ,farmers should be Justified as to why small lands are used in terms of labor force, access to credit, proper production and product market They do not have the necessary work. Integration in order to achieve sustainable use of land resources dose not only pay attention to the amount of agricultural land in order to create balance and integrity of land, but also includes other aspects such as improving the quality of land and restoring environmental conditions. Despite the increase in wheat production in Iran, there is still a need to important between 4-7 million tons depending on the annual production fluctuations. Optimal use of Agricultural lands and inputs to supply strategic crops such as wheat is one of the most important goals of sustainable agricultural development and creating food security in the country. Land integration is one of the important factors in terms of better management of production and increase in land use. Agriculture in small and micro-exploitation units due to problems related to the optimal use of new technologies and methods limits production efficiency. The purpose of this study is to investigate the effect of field size on wheat yield.

Materials and Methods: The required information has been collected through 150 questionnaires in a two-stage cluster in the period 2021-2022. From Dashtkar region in Kerman province. In the Translog function, Q_i is the amount of wheat production in tons, $Land_i$ is the input of land in hectares, $Water_i$ is the volume of water consumed in cubic meters, Fer_i is the input of urea fertilizer in kilograms, $Labor_i$ is the input of labor in person-days, ε_i is the disturbance and DS_i is the virtual variable of size, which is the order of one value is given for farms with a size of more than 5 hectares and zero value for other farms. In the Translog model, production elasticity is used to check the relationship between the inputs.

Results and Discussion: The results showed null hypothesis of non-significance is rejected; Therefore, the translog function is a suitable function for estimating the production function. In addition, the adjusted coefficient of determination shows the high explanatory power of the explanatory variables. In this way, if there is a one percent increase in cultivation, the amount of wheat production will decrease by -2.83 percent. The negative coefficient of the earth's logarithm is indicative of this; But the square coefficient of the land logarithm is negative (-0.38), which means a

non-linear and convex relationship (inverted U shape) between the land size and the amount of wheat production. In other words, with the increase in the scale of the land, first the production will decrease and then after a minimum point, it will increase. Therefore, it can be said that the integration of agricultural lands and the increase of the cultivation area will increase the total amount of production. The results showed that the size of the fields has a significant effect on the yield. Due to the abundance of land under wheat cultivation and the number of small and scattered land in the country, it is suggested to use various methods such as increasing farmers awareness, Development of roads between farms, developing cooperatives and allocating the necessary funds to encourage farmers and promote land integration.

Conclusion: Based on the results of this research, it was found that land and urea fertilizers play a synergistic role in production. In other words, if land and urea fertilizers are used together optimally, they will lead to a further increase in production. Also, the variables of water consumption, labor force, land square, water consumption square and user force square were effective in wheat yield in Kerman. Due to the large number of small and scattered lands in the country, especially Kerman, it is suggested to use various methods such as raising the awareness of farmers, developing roads between farms, developing cooperatives and allocating the necessary credits to encourage farmers to develop land integration.

Keywords: Agriculture development, Fertility, Small Land, Water

اثر تنش کم آبیاری بر عملکرد وش، ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ارقام پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)

حمید کوهکن^{۱*}، علی نخزری مقدم^۲، علی راحمی کاریزکی^۲، عمران عالیشاه^۳

۱- دانشجوی دکتری رشته آگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۳- موسسه تحقیقات پنبه کشور (گرگان)، ایران

* مسؤل مکاتبه: kouhkan.hamid@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.413281.1371

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳

چکیده

به منظور بررسی پاسخ ۱۰ رقم پنبه به تنش کم آبیاری، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. عامل اصلی تنش کم آبیاری در دو سطح شامل دو مرتبه آبیاری (تشکیل غنچه و شروع گل‌دهی) و عدم تنش چهار مرتبه آبیاری (تشکیل غنچه، شروع گل‌دهی، شروع تشکیل غوزه و ابتدای باز شدن غوزه) و عامل فرعی ارقام پنبه در ۱۰ سطح شامل شایان، ساحل، سپید، ساجدی، گلستان، لطیف، ارمغان، پرتو، مای و لودوس بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که مالون‌دی‌آلدئید و عملکرد وش تحت تأثیر سال قرار گرفتند و هر سال جداگانه مقایسه میانگین انجام شد، سایر صفات کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول تحت تأثیر متقابل تنش کم آبیاری × رقم قرار گرفتند. رقم گلستان از نظر میزان پرولین و قندهای محلول به ترتیب با ۲/۹۱ و ۲۷/۰۶ بیش‌ترین میزان در شرایط تنش کم آبیاری به خود اختصاص داد. بیش‌ترین عملکرد وش طی سال اول و دوم در شرایط عدم تنش متعلق به رقم ساجدی به ترتیب با ۴۵۹۶ و ۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد وش در شرایط تنش کم آبیاری سال اول و دوم متعلق به رقم سپید به ترتیب با ۱۶۴۹ و ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد ارقام گلستان و ساجدی جز ارقام متحمل به تنش و رقم‌های ساحل و سپید جز ارقام حساس به تنش آبی و با عملکرد ضعیف بوده بقیه ارقام جز ارقام نیمه حساس به تنش آبی معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، ساجدی، کاروتنوئید، کلروفیل

مقدمه

بهره‌وری مطلوب از آب می‌تواند منجر به حفظ و استفاده مطلوب از آن شود (Himanshu et al., 2013). کمبود منابع کم آبیاری در جهان به‌عنوان یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید محصولات زراعی به‌شمار می‌رود و از این رو استفاده بهینه از آب در جهت افزایش تولید مستلزم شناخت علمی از مراحل نمو حساس به تنش کم آبیاری می‌باشد (Khaitov and Teshae, 2015). کمبود آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های تنش‌های غیرزیستی بوده که تأثیر منفی بر روی مراحل مختلف رشد نمو پنبه می‌گذارد. کمبود آب از طریق کاهش محتوای آب، باعث بسته شدن روزنه، کاهش تعرق و کاهش فتوسنتز و نهایتاً تأثیر منفی بر روی گیاهان می‌گذارد (Martinez-Romero et al., 2019; Mbava et al., 2020). کمبود آب باعث کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ و تغییر تسهیم جذب کربن در بافت‌های گیاه می‌شود (Zain et al.,

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) از جمله با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی و مهم‌ترین گیاه لیفی جهان می‌باشد که به‌عنوان یک گیاه روغنی محسوب می‌شود. این گیاه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین گیاهان اقتصادی و صنعتی مورد کشت و کار در جهان مطرح می‌باشد (Saleem et al., 2009). پنبه به‌عنوان یکی از محصولات راهبردی در استان گلستان می‌باشد و گیاهی است که به کم آبیاری، زمان و مقدار آب کم آبیاری پاسخ زیادی نشان می‌دهد به طوری که ممکن است در بعضی از مراحل نمو رشد به کم آبیاری حساس بوده و یا در برخی از مراحل اصلاً به آب نیاز ندارد (Alishah, 2014). تغییر اقلیم جهانی با افزایش دما و تغییر بارندگی، بر دسترسی به آب تأثیر داشته و طی مدت زمان کوتاهی این تغییرات می‌تواند بر پایداری تولید پنبه در جهان تأثیر منفی داشته باشد (Steduto et al., 2017).

در اثر تنش خشکی ایجاد می‌شوند، می‌توانند ماکرومولکول‌های سلولی را مورد تهاجم قرار دهند و از این طریق به غشاء آسیب بزنند یا باعث تجمع مالون‌دی‌آلدئید شوند (Tang *et al.*, 2007). پراکسیده شدن چربی‌ها با اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید برآورد می‌شود. در ژنوتیپ‌های مختلف پنبه، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان مالون‌دی‌آلدئید افزایش یافته، که بیان‌گر وجود تنش اکسیداتیو می‌باشد (Deeba, 2012). در مورد پاسخ پنبه به تنش خشکی از نظر میزان مالون‌دی‌آلدئید نتایج متناقضی گزارش شده است. بررسی ارقام مختلف پنبه در شرایط خراسان رضوی نشان داد که شرایط تنش خشکی سبب افزایش اسمولیت‌ها از جمله قندهای محلول، پرولین و گلابسین بتاین شد و این افزایش در رقم متحمل به خشکی ورامین بیش‌تر از رقم حساس کوکر ۳۴۹ بود (Mehrabadi, 2014). در شرایط تنش خشکی میزان پرولین به شدت افزایش یافت. این افزایش ناشی از افزایش میزان فعالیت‌های آنزیم‌های تولیدکننده مانند پرولین کربوکسیلاز سنتاز در قیاس با آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل پرولین دکربوکسیلاز و نیز تغییر مسیر آسمیلات‌ها به سمت تولید پرولین بود (Liu *et al.*, 2014). هدف از این پژوهش با توجه به اهمیت تنش کم‌آبیاری در کشاورزی و کشت پنبه در مناطق عمدتاً نیمه خشک و خشک، بررسی عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ارقام پنبه در شرایط تنش کم‌آبیاری و همچنین شناسایی ارقام متحمل به تنش کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش کم‌آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی ۱۰ رقم پنبه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار طی سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس اجرا شد. بر اساس تقسیم‌بندی آب و هوایی کوپن منطقه دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه خشک با میانگین حداقل دمای دو ساله ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای دو ساله ۳۰/۸ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالانه طی دوره رشد پنبه ۱۷۶ میلی‌متر بود (جدول ۱).

2014). تنش کم‌آبیاری باعث کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ پنبه گردید. پاسخ ژنوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت بود (Sumartini *et al.*, 2013). با افزایش تنش خشکی، سرعت فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و محتوای رطوبت نسبی برگ کاهش و در مقابل میزان نشست الکترولیت‌های برگ افزایش می‌یابد (Hassani Moghadam *et al.*, 2015). محققین اظهار داشتند تنش خشکی موجب افزایش درصد پرولین و قندهای محلول و کاهش متغیرهای کلروفیل، نسبت کلروفیل a به b و پایداری غشاء سلولی می‌شود. در ژنوتیپ‌های متحمل پرولین و قند محلول بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس مشاهده شد (Chowdhury *et al.*, 2018). یکی از دلایل کاهش میزان غلظت کلروفیل به‌دلیل اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌باشد (Silva, 2007). کاهش میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با افزایش تنش کم‌آبیاری در گیاهان مختلف توسط (Yu, 2007) گزارش شده است. مهم‌ترین دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش، کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در سنتز کلروفیل و تولید آن است (Viera Santos, 2004). پاسخ متابولیکی ارقام پنبه به محیط متفاوت است. در این رابطه توسط (Edalatifard *et al.*, 2007) گزارش شده که با وجود بالا بودن میزان پلی‌فنول‌ها، پرولین و کاروتنوئیدها در ارقام مقاوم پنبه در مقایسه با ارقام حساس، در شرایط کم‌آبیاری ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدهای این ارقام کاهش خواهد یافت. در زراعت پنبه، تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها می‌شود (Tang *et al.*, 2007; Gur *et al.*, 2010). اما میزان پرولین افزایش یافته که نقش آن در افزایش مقاومت به خشکی، بسته به مرحله رشد و شدت تنش متغیر است (Guo *et al.*, 2015). طبق مطالعات انجام شده توسط (Liu, 2014; Devi, 2015 and Giridhar, 2015) گزارش شده در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و در شرایط تنش میزان پرولین به شدت افزایش می‌یابد. افزایش پرولین در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های تولیدکننده مانند پرولین کربوکسیلات سنتاز در مقایسه با آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند پرولین دکربوکسیلاز و نیز تغییر مسیر آسمیلات‌ها به سمت تولید پرولین می‌باشد (Saeidnejad and Rajaei, 2015). آسیب به غشاهای سلولی از دیگر اثرات تنش خشکی می‌باشد. گونه‌های اکسیژن فعال که

جدول ۱- میانگین درجه حرارت و بارندگی ماهانه در طول فصل رشد پنبه طی دو سال

Table 1- Average of monthly temperature and rainfall in growing season of cotton in two years

ماه Month	میانگین حداکثر درجه حرارت Average maximum temperature (°C)		میانگین حداقل درجه حرارت Average minimum temperature (°C)		بارندگی Total rainfall (mm)	
	1400	1401	1400	1401	1400	1401
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
فروردین March-April	23.6	22.1	9.5	8.8	16.6	11.9
اردیبهشت April-May	29.6	25.7	14.9	14.0	20.0	87.6
خرداد May-June	36.3	34.8	20.1	17.8	12.2	2.2
تیر June-July	39.1	36.8	24.2	23.0	11.8	0.0
مرداد July-August	37.9	36.0	23.9	23.2	25.3	26.4
شهریور August-Sept	35.4	36.1	23.0	19.6	5.3	2.3
مهر Sept-October	26.3	31.5	14.7	18.0	52.5	12.3
آبان October-Nov	19.6	22.5	7.2	9.9	23.5	42.5

جدول ۲- ارقام پنبه مورد استفاده در مطالعه

Table 2- Cotton varieties used in the study

Cultivar num شماره رقم	Cultivar name نام رقم	Pedigree شجره	Origin منشأ
V1	شایان Shayan	توده های خارجی وارداتی از یونان Imported foreign masses from Greece	ایران Iran
V2	ساحل Sahel	تلافی بین استرین ۳۴۹ و کوکر ۱۰۰ ویلت Cross between strain 349 and Koker 100 Wilt	بلغارستان Bulgaria
V3	سپید Sepid	گزینش بر روی رقم سای اکرا ۳۲۴ Selection on Sai Akra 324	استرالیا Australia
V4	ساجدی Sajdi	گزینش توده بذری وارداتی کشور پاکستان Selection of imported seed mass of Pakistan	ایران Iran
V5	گلستان Golestan	گزینش بر روی رقم ۴۳۲۵۹ Selection on 43259 number	ایران Iran
V6	لطیف Latif	لاین اصلاحی CRI-NNC Corrective line CRI-NNC	ایران Iran
V7	ارمغان Armaghan	گزینش بر روی رقم ۴۳۳۴۷ Selection on 43347 number	ایران Iran
V8	پرتو Parto	داخلی domestic	ایران Iran
V9	مای May	وارداتی imported	ترکیه Turkey
V10	لودوس Ludos	وارداتی imported	ترکیه Turkey

شروع تشکیل غوزه و ابتدای باز شدن غوزه (عدم تنش) بود. عامل فرعی ارقام پنبه شامل شایان، ساحل، سپید، ساجدی، گلستان، لطیف، ارمغان، پرتو، مای و لودوس (۱۰ رقم) بود که از

عامل اصلی تنش آبی در دو سطح شامل دو مرتبه آبیاری در مراحل تشکیل غنچه و شروع گل‌دهی (تنش کم آبیاری) و چهار مرتبه آبیاری در مراحل تشکیل غنچه، شروع گل‌دهی،

تنش بود. قبل از کاشت زمین آبیاری غرقابی شد و پس از گاو رو شدن، سه مرتبه دیسک عمود بر هم زده شد. عملیات کاشت نیمه دوم اردیبهشت ماه انجام شد. مصرف کود بر مبنای آزمون تجزیه خاک با برداشت نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام شد (جدول ۳).

موسسه تحقیقات پنبه کشور (گرگان) تهیه شد (جدول ۲). هر کرت شامل چهار خط کاشت پنج متری به فاصله ردیف ۶۰ سانتی متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی متر بود. کم آبیاری به صورت بارانی به مقدار ۳۸۹۵ متر مکعب در هکتار در تیمار بدون تنش و ۲۰۱۰ متر مکعب در هکتار در تیمار

جدول ۳- برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی متر)

Table 3- Some physical and chemical characteristics of the soil used in experiment (depth 0-30 cm)

مقدار	خصوصیات
Quantity	Characteristic
1.3	هدایت الکتریکی EC (dS/m)
7.7	اسیدیته pH
8.5	مواد خنثی شونده Neutralizing agents (%)
1.44	کربن آلی Organic carbon (%)
0.14	نیتروژن کل Total nitrogen (%)
13.4	فسفر قابل جذب Acceptable phosphorus (ppm)
356	پتاسیم قابل جذب Acceptable potassium (ppm)
28	رس Clay (%)
64	لای Lay (%)
8	ماسه Sand (%)

پرویلین، مالون دی آلدئید، قندهای محلول انجام شد و نمونه‌ها بلافاصله در فویل آلومینیومی و فلاسک حاوی یخ قرار داده شد و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ که رگ برگ خشبی آن جدا شده در هاون چینی ریخته و با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد. با افزایش استون ۸۰ درصد حجم نهایی به ۲۰ میلی لیتر رسید. از قسمت کاملاً صاف شده محلول حاصل برای کاهش ناخالصی‌های احتمالی ۱۸ میلی لیتر برداشت شد و در سانتریفیوژ (مدل سیگما ساخت آمریکا) با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه عصاره‌گیری شد. سپس مقداری از عصاره جدا شده داخل کووت ریخته شد. قبل از اندازه‌گیری نمونه‌ها، از استن ۸۰ درصد به عنوان شاهد استفاده شد. نمونه‌ها به دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biochrom

مقدار مصرف کود اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره ۴۶ درصد) که یک سوم آن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل ۴۶ درصد در زمان کاشت به زمین داده شد و دو سوم دیگر همراه با آبیاری در مراحل تشکیل غنچه و شروع گل دهی به صورت سرک به زمین داده شد. در هر کپه سه بذر کاشته شد که در مرحله چهار برگی بوته‌های اضافی حذف و یک بوته باقی گذاشته شد. فاصله بین کرت‌ها و تکرارها به ترتیب یک و یک و نیم متر بود. مبارزه با علف‌های هرز به صورت مکانیکی (وجین دستی) طی دو مرحله انجام شد. در طول دوره رشد و نمو مبارزه شیمیایی بر علیه آفات با سموم کوراکرون، استامی‌پراید، سایپرمتین و دیازینون انجام شد. در دو هفته آخرین مرحله اعمال تیمار تنش، نمونه‌گیری از دو برگ جوان انتهایی جهت اندازه‌گیری و ثبت میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی،

(Bates *et al.*, 1973) از طریق دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۶ نانومتر و با استفاده از نمودار استاندارد بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن برگ‌تر گیاه تعیین شد. برداشت وش پنبه در دو زمان یعنی اواسط مهر و اواسط آبان انجام شد. برداشت چین اول زمانی انجام شد که حدود ۵۰ درصد غوزه‌ها کاملاً باز شده بودند. عملکرد کل از مجموع دو چین به دست آمد. داده‌ها در نرم‌افزار اکسل ثبت شد. تجزیه آماری با کمک نرم افزار SAS (Version 9) محاسبه شد و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش آزمون بارلت انجام شد، نتایج کاس اسکور نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایش بجز عملکرد وش و مالندگی آلدئید در طی دو سال بود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب آزمایش، حاکی از معنی‌دار شدن عامل سطح اصلی تنش کم آبیاری و اثر عامل رقم و هم‌چنین اثر متقابل تنش کم آبیاری × رقم برای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای رطوبت نسبی برگ، پرولین و قندهای محلول در سطح آماری ۱ درصد بود. نتایج تجزیه مرکب نیز نشان داد مالندگی آلدئید و عملکرد وش تحت تأثیر سال قرار گرفتند و اثر متقابل سال × تنش کم آبیاری، رقم × سال و سال × رقم × تنش کم آبیاری از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار داشت، لذا با توجه به نتایج اثر سال در آزمون بارلت، مقایسه میانگین برای دو ویژگی به صورت جداگانه تجزیه و تحلیل شد (جدول ۴).

رنگی‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید) کلروفیل a

میزان کلروفیل a تحت اثر متقابل تنش کم آبیاری و رقم قرار گرفت. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبیاری × رقم نشان داد که در شرایط تنش کم آبیاری میزان کلروفیل a در همه ارقام کاهش یافت و این کاهش در ارقام مختلف متفاوت بود. در شرایط بدون تنش کم آبیاری بیش‌ترین میزان کلروفیل a متعلق بود به رقم شایان با میانگین ۵/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن برگ

(libera- S22) انتقال داده شد و میزان جذب به طور جداگانه در طول موج ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها قرائت شد (Arnon, 1967). پس از ثبت داده‌های اولیه در نرم‌افزار اکسل، مقدار کلروفیل a و b، کاروتنوئید کل و کاروتنوئید هر نمونه طبق رابطه‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{[11.64(D663) - 2.16(D645)] \times V}{(1000 \times W)} \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = \frac{[20.97(D645) - 3.94(D663)] \times V}{(1000 \times W)} \quad (2)$$

$$\text{Chlorophyll Total} = \frac{[18.8(D645) + 7.7(D663)] \times V}{(1000 \times W)} \quad (3)$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{[1000(D470) - 3.27(\text{cha}) - 104(\text{chb})] / 229 \times V}{(1000 \times W)} \quad (4)$$

برای اندازه‌گیری و ثبت محتوای نسبی آب برگ پس از توزین نمونه (وزن تازه)، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شد، مجدد وزن (وزن تورژسانس) شد. در مرحله بعد، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس وزن گردید (وزن خشک). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه (۵) اندازه‌گیری شد (Schlemmer *et al.*, 2005).

$$\text{RWC} = \frac{Fw - Dw}{Sw - Dw} \times 100 \quad (5)$$

که در آن Fw: وزن تر برگ، Dw: وزن خشک برگ و Sw: وزن اشباع برگ می‌باشد.

میزان مللون دی آلدئید به روش استوارت و بیولی (Stewart and Bewley., 1980) انجام شد. در این روش برای هر نمونه ۰/۱ گرم بافت تازه برگ گیاه در ۵ میلی‌متر از محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک اسید هموزن و به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردیدند. یک میلی‌لیتر از سوپرناتانت با ۴ میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید با محتوی ۰/۵ میلی‌لیتر اسید تیوبار بی‌توریک مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل گردید. نمونه‌ها مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ نانومتر ثبت گردید. میزان قند محلول به روش اشلیگل (Schlegel, 1956) تعیین شد. میزان پرولین با روش بیتس و همکاران

کلروفیل a در شرایط تنش کم آبیاری بیش تر می باشد. با توجه به اینکه کلروفیل a رنگیزه مرکزی فتوسنتز است، شدت تنش خشکی بر میزان آن تأثیر زیادی خواهد داشت. همسو با نتایج این تحقیق در مطالعه محقق دیگری میزان کلروفیل a تحت تأثیر شدت تنش خشکی قرار گرفت، به طوری که در تنش ۵۰ درصد نیاز کم آبیاری گیاه به کمترین مقدار رسید (Elsayed *et al.*, 2019).

بود که تفاوت معنی داری با رقم ساجدی نداشت. کمترین میزان مربوط به رقم سپید با ۳/۱۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. در شرایط تنش کم آبیاری حداکثر میزان مربوط به ارقام لودوس و پرتو به ترتیب با ۴/۰۹ و ۳/۹۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ، در حالی که حداقل میزان متعلق به ارقام سپید و ساحل به ترتیب با ۲/۰۴ و ۲/۱۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). کلروفیل a حساسیت بیشتری به تنش خشکی دارد (Mafakheri *et al.*, 2010)، به همین جهت میزان تغییرات

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب ویژگی های مورد آزمون

Table 4- Composite variance analysis of test characteristics

منابع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean Square								
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	رطوبت نسبی برگ Leaf moisture content	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	مان دی آلدئید M.D.A	عملکرد ووش Boll yield
سال Year	1	0.33 ^{n.s}	0.01 ^{n.s}	0.22 ^{n.s}	0.03 ^{n.s}	0.184 ^{n.s}	0.003 ^{n.s}	0.807 ^{n.s}	5.125*	70374*
خطا ۱ Error 1	4	0.01	0.01	0.02	1537	1.922	0.010	0.282	1.656	24543.2
تنش کم آبیاری water stress	1	87.98**	0.28**	78.34**	133441**	19187**	68.18**	784.7**	5111**	110085701**
سال × تنش کم آبیاری WS × Y	1	0.17 ^{n.s}	0.03 ^{n.s}	0.06 ^{n.s}	2.35 ^{n.s}	2.182 ^{n.s}	0.001 ^{n.s}	0.296 ^{n.s}	4.752*	129101**
خطا ۲ Error 2	4	0.03	0.01	0.01	944.9	3.491	0.014	0.564	2.452	10913.7
رقم Cultivar	9	2.54**	0.50**	2.39**	37300**	177.2**	0.074**	51.26**	20.95**	1063640**
تنش کم آبیاری × رقم WS × C	9	5.04**	1.10**	4.64**	22822**	453.5**	0.097**	43.94**	19.69**	218974**
رقم × سال Y × C	9	0.08 ^{n.s}	0.03 ^{n.s}	0.02 ^{n.s}	36.63 ^{n.s}	1.738 ^{n.s}	0.002 ^{n.s}	0.523 ^{n.s}	2.904*	41262**
تنش کم آبیاری × رقم سال × Y × C × WS	9	0.05 ^{n.s}	0.02 ^{n.s}	0.01 ^{n.s}	47.08 ^{n.s}	0.639 ^{n.s}	5.432 ^{n.s}	0.131 ^{n.s}	2.540*	63295**
خطا ۳ Error 3	72	0.07	0.01	0.01	805.4	1.844	0.001	0.797	1.077	7992
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	5.96	8.26	3.05	7.76	2.65	4.60	4.42	8.63	2.93

*, ** و ^{n.s} به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪، ۱٪ و غیر معنی دار

** , * and ^{n.s} represent significant difference at P < 0.01, P < 0.05 and not significant, respectively.

کلروفیل b

(Jones *et al.*, 2013). کمپلکس رنگیزه- پروتئین در پاسخ به

شرایط محیطی تغییر یافته و در نتیجه میزان کلروفیل‌ها را نیز در پاسخ به محیط تغییر می‌دهند.

یکی از شرایط محیطی مؤثر بر میزان کلروفیل تنش خشکی می‌باشد که هم به علت اختلال در مسیر بیوسنتز کلروفیل‌ها و هم به علت تنش اکسیداتیو ناشی از انواع گونه‌های اکسیژن فعال می‌تواند میزان کلروفیل‌ها را کاهش دهد. افزون بر این، تنش خشکی وضعیت کم آبیاری بافت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد بر فرآیندهای توسعه کلروپلاست تأثیر منفی می‌گذارد و آهنگ انباشت کلروفیل در کلروپلاست را کند می‌کند (Dbira *et al.*, 2018).

کاروتنوئید

مقایسه میانگین کاروتنوئید نشان داد، بیشترین میزان کاروتنوئید تحت شرایط عدم تنش متعلق به ارقام ارمغان و گلستان به ترتیب با ۵۲۱/۶۲ و ۵۰۷/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان مربوط به ارقام ساحل و ساجدی به ترتیب با ۲۴۲/۶۴ و ۳۵۲/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، در حالی که در شرایط تنش کم آبیاری بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به ارقام شایان و گلستان به ترتیب با ۴۳۴/۰۸ و ۳۸۸/۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان متعلق به ارقام پرتو و سپید به ترتیب با ۲۰۴/۴۴ و ۲۷۹/۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵).

تنش کم آبیاری باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود و کاهش میزان کلروفیل یکی از نشانه‌های عادی تنش اکسیداتیو است (Ebtadae and Shekafandeh, 2016).

مطالعات محققین کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را تأیید می‌کنند که با مطالعه حاضر مطابقت دارد (Meier *et al.*, 2011; Hannoufa and Hossain 2012).

محققین گزارش نمودند به دنبال تنش کم آبیاری آناتومی برگ تغییر یافته و برگ‌ها کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند و در نتیجه غلظت کلروفیل‌ها به ویژه کلروفیل b و کاروتنوئیدها گیاه بیش‌تر می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2014).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبیاری × رقم نشان داد بیشترین میزان کلروفیل b تحت شرایط بدون تنش مربوط به ارقام گلستان و پرتو به ترتیب با ۱/۷۱ و ۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، در حالی که کمترین میزان مربوط به ارقام مای و ارمغان به ترتیب با ۱/۱۳ و ۱/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود و در شرایط تنش بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به ارقام ساحل و شایان به ترتیب با ۱/۱ و ۱/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود، در حالی که کمترین میزان متعلق به ارقام ساجدی و ارمغان به ترتیب با ۰/۴۴ و ۰/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵).

میزان کلروفیل b نیز در شرایط تنش کمتر از شرایط کم آبیاری نرمال بود. ارقام تحت تأثیر شدت تنش کم آبیاری قرار گرفت، ولی شدت تنش تأثیر چندانی بر این ویژگی نداشت (Hanci and Cebei, 2014).

کلروفیل کل

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبیاری × رقم نشان داد بیشترین میزان کلروفیل کل تحت شرایط عدم تنش متعلق به ارقام شایان و گلستان به ترتیب با ۷/۱۰ و ۷/۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان مربوط به ارقام سپید، ارمغان و مای به ترتیب با ۴/۶۷، ۵/۶۸ و ۵/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود، در حالی که در شرایط تنش کم آبیاری بیشترین میزان مربوط به ارقام لودوس و پرتو به ترتیب با ۵/۰۹ و ۴/۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان متعلق به ارقام سپید و ساجدی به ترتیب با ۲/۸۸، ۳/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵).

یکی از اثرات تنش رطوبتی در گیاهان، کاهش میزان فتوسنتز است که باعث کاهش میزان کلروفیل‌های a و b در شرایط تنش کم آبیاری می‌شود (Aydogdu *et al.*, 2018). کلروفیل‌ها ۳۰-۲۰ درصد کل چربی غشاء تیلاکوئیدی را تشکیل می‌دهند. انواع کلروفیل‌ها موجود در غشاء تیلاکوئیدی گیاهان عالی با پلی پپتیدهای خاصی ترکیب شده و کمپلکس رنگیزه- پروتئین را تشکیل می‌دهند. تغییرات کمپلکس رنگیزه- پروتئین باعث تغییر میزان کلروفیل در غشاء تیلاکوئید می‌شود

جدول ۵- اثر متقابل تیمارهای ارقام پنبه و کم آبیاری بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در پنبه

Table 5- Interaction effect of treatments of cotton cultivars and water deficit on the measured characteristics in cotton

کم آبیاری Deficit Irrigation	رقم Cultivar	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/gD.W)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/gD.W)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/gD.W)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/gD.W)	محتوای نسبی رطوبت برگ R.W.C (%)	پروبلین Proline (mg/gfw)	قندهای محلول Soluble sugars	
بدون تنش No-Stress	ارمغان Armaghan	5.08 ^{cd}	1.40 ^e	5.68 ^e	521.62 ^a	60.37 ^{cd}	1.35 ^{gh}	17.45 ^{gh}	
	پرتو Parto	5.04 ^d	1.62 ^{ab}	6.67 ^b	378.7 ^{de}	63.06 ^b	1.52 ^f	17.80 ^{efg}	
	ساجدی Sajdi	5.58 ^{ab}	1.41 ^{de}	6.69 ^d	352.3 ^{ef}	59.92 ^{cd}	1.30 ^{hi}	16.65 ^h	
	ساحل Sahel	4.29 ^{ef}	1.58 ^{abc}	5.87 ^{gh}	242.6 ⁱ	78.58 ^a	1.44 ^{fg}	17.77 ^f	
	سپید Sepid	3.14 ^h	1.54 ^{bcd}	4.67 ^{ij}	386.0 ^{cd}	55.81 ^f	1.34 ^{ghi}	18.17 ^{efg}	
	شایان Shayan	5.71 ^a	1.39 ^e	7.10 ^a	413.1 ^{bc}	59.23 ^{de}	1.24 ^{ij}	18.29 ^{efg}	
	گلستان Golestan	5.34 ^{bc}	1.71 ^a	7.05 ^a	507.7 ^a	58.05 ^e	1.10 ^k	17.93 ^{efg}	
	لطیف Latif	4.89 ^{de}	1.46 ^{cde}	6.36 ^c	374.8 ^{de}	63.07 ^b	1.15 ^{ik}	17.81 ^{efg}	
	لودوس Ludos	4.83 ^{de}	1.39 ^e	6.22 ^c	387.5 ^{cd}	79.30 ^a	1.32 ^{hi}	17.93 ^{efg}	
	مای May	4.69 ^e	1.13 ^f	5.82 ^e	426.4 ^b	60.79 ^c	1.37 ^{gh}	16.69 ^{efg}	
	تنش کم آبیاری Deficit Irrigation Stress	ارمغان Armaghan	2.65 ⁱ	0.6 ⁱ	3.25 ^k	331.1 ^{fg}	30.51 ^m	2.58 ^e	26.87 ^{ab}
		پرتو Parto	3.98 ^f	0.76 ^h	4.74 ^h	204.4 ^j	38.10 ^k	2.90 ^{ab}	19.81 ^{ef}
ساجدی Sajdi		2.66 ⁱ	0.44 ^j	3.10 ^l	322.1 ^g	33.25 ^l	2.80 ^{bcd}	23.98 ^c	
ساحل Sahel		2.18 ^g	1.1 ^g	3.28 ^k	339.1 ^{fg}	40.10 ^j	2.75 ^{cd}	21.75 ^d	
سپید Sepid		2.04 ^j	0.84 ^{gh}	2.88 ^m	280.0 ^h	44.53 ^h	2.88 ^{ab}	19.71 ^e	
شایان Shayan		2.82 ⁱ	1.09 ^f	3.91 ⁱ	434.1 ^b	46.62 ^g	2.70 ^d	24.31 ^c	
گلستان Golestan		3.32 ^{gh}	0.92 ^g	4.24 ^{gh}	388.8 ^{cd}	42.97 ⁱ	2.91 ^a	27.06 ^a	
لطیف Latif		3.58 ^g	0.93 ^g	4.51 ^{fg}	352.9 ^{ef}	40.84 ^j	2.90 ^{ab}	24.75 ^c	
لودوس Ludos		4.09 ^f	1.00 ^g	5.09 ^f	360.4 ^{def}	28.12 ⁿ	2.85 ^{abc}	25.98 ^b	
مای May		3.15 ^h	0.94 ^g	4.09 ^{hi}	310.8 ^g	40.24 ^j	2.88 ^{ab}	19.51 ^{ef}	
LSD _{0.05}		0.28	0.13	0.18	30.02	1.53	0.10	0.94	

میانگین‌هایی با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد باهم ندارند.

Means with common letters in each column do not have a significant difference at the level of 1%.

محتوای نسبی رطوبت برگ

گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). افزایش میزان پرولین در اثر تنش با تحریک مسیره‌های تولید یا جلوگیری از تجزیه آن روی می‌دهد. تعیین اثرات تنش خشکی بر آنزیم‌های این مسیره‌ها، سازوکارهای افزایش پرولین را مشخص می‌کند (Saeid nejad and Rajaei, 2015). تنش کم آبیاری در ارقام حساس و مقاوم، فعالیت پرولین دکربوکسیلاز را کاهش می‌دهد و کاهش فعالیت پرولین دکربوکسیلاز می‌تواند مانع از دکربوکسیله شدن این اسید آمینه شده و غلظت آن را در سیتوسول افزایش می‌دهد. در دوره ترمیم اثر تنش رطوبتی، هم پرولین القا شده با تنش و هم فعالیت آنزیم‌های پرولین کربوکسیلات سنتاز و پرولین کربوکسیلات ردکتاز کاهش می‌یابد. افزایش مقدار پرولین با تنظیم افزایشی پرولین کربوکسیلات سنتاز و کاهش بیان پرولین دکربوکسیلاز انجام می‌گیرد و می‌تواند در مقاوم ساختن پنبه به تنش کم آبیاری مؤثر باشد (Parida *et al.*, 2008). تنش خشکی باعث افزایش پرولین می‌شود که این افزایش در رقم متحمل پنبه بومی بیش تر است (Mehrabadi, 2014). در پژوهش دیگری نیز چنین افزایشی در میزان پرولین ارقام مقاوم پنبه در مقایسه با ارقام حساس در مراحل مختلف رشدی گزارش شده است (Devi and Giridhar, 2015).

قندهای محلول

اثر متقابل تنش کم آبیاری و رقم بر میزان قندهای محلول نشان داد تحت تأثیر تنش کم آبیاری میزان آن افزایش می‌یابد بر این اساس، بیش‌ترین میزان قندهای محلول تحت تنش کم آبیاری متعلق به ارقام گلستان و ارمغان به ترتیب با ۲۷/۰۶ و ۲۶/۸۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین متعلق به ارقام سپید و مای به ترتیب با ۱۹/۵۱ و ۱۹/۷۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد و بیش‌ترین میزان قندهای محلول تحت شرایط عدم تنش مربوط به ارقام شایان و سپید به ترتیب با ۱۸/۲۹ و ۱۸/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان متعلق به ارقام ساجدی و مای به ترتیب با ۱۶/۶۵ و ۱۶/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۵). فتوسنتز و رشد گیاه تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار می‌گیرند، اما قبل از اینکه فتوسنتز تحت تأثیر تنش قرار گیرد رشد اندام هوایی گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به طوری که با افزایش تنش کم آبیاری، میزان قندهای محلول در اندام هوایی گیاه به طور معنی دار

مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش کم آبیاری × رقم نشان داد با مصرف آب کمتر (تنش)، محتوای نسبی آب برگ پنبه به طور معنی دار کاهش پیدا کرد. بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط عدم تنش کم آبیاری با ۷۹/۳۰ و ۷۸/۵۸ درصد به ترتیب متعلق به ارقام لودوس و ساحل و کمترین با ۵۵/۸۱ و ۵۸/۰۵ درصد به ترتیب متعلق به ارقام سپید و گلستان بود، در حالی که تحت شرایط تنش کم آبیاری حداکثر محتوای نسبی رطوبت برگ متعلق به ارقام شایان و سپید با ۴۴/۶۲ و ۴۴/۵۳ درصد و کمترین مربوط به ارقام لودوس و ارمغان با ۲۸/۱۲ و ۳۰/۵۱ درصد بود (جدول ۵). محتوای رطوبت نسبی برگ، میزان جذب آب از طریق بافت‌ها و سلول‌های گیاه را نشان می‌دهد که بیانگر فعالیت‌های متابولیکی گیاه است (Sadeghipour and Aghaei, 2012). کاهش محتوای رطوبت برگ طی تنش رطوبتی باعث بسته شدن روزنه‌های گیاه می‌شود (Khan *et al.*, 2010). محتوای نسبی آب برگ به عنوان مهم‌ترین و بهترین شاخص اندازه‌گیری واکنش گیاه به تنش خشکی می‌باشد که محتوای نسبی آب برگ به طور مستقیم وضعیت آب گیاه را منعکس می‌کند (Yazdanpanah *et al.*, 2011). ارقام متحمل مقادیر کمتری از کاهش محتوای نسبی آب برگ را در مواجهه با تنش کم آبیاری در مقایسه با ارقام حساس نشان دادند (جدول ۵). محققان ارتباط خوبی را بین محتوای نسبی بالاتر آب برگ با سازگاری بیش‌تر ارقام به مناطق خشک گزارش نموده است (Blum *et al.*, 1981).

پرولین

پاسخ ارقام به تنش کم آبیاری از نظر متابولیت پرولین متفاوت بود، چرا که تنش رطوبتی میزان پرولین را افزایش داد. حداکثر میزان پرولین تحت شرایط تنش کم آبیاری در ارقام گلستان، پرتو و مای به ترتیب با ۲/۹۱، ۲/۹۰ و ۲/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و حداقل میزان پرولین متعلق به ارقام ارمغان و لودوس به ترتیب با ۲/۵۸ و ۲/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ تعلق داشت، در حالی که تحت شرایط عدم تنش بیش‌ترین میزان پرولین متعلق به ارقام پرتو و ساحل به ترتیب با ۱/۵۲ و ۱/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین میزان مربوط به ارقام گلستان و لطیف با ۱/۱۰ و ۱/۱۵ میلی‌گرم بر

است. تنش کم آبیاری با تأثیر منفی بر تعداد و وزن غوزه در بوته باعث کاهش عملکرد و ش پنبه شد. بالا یا پایین بودن پتانسیل عملکرد در این ارقام را می توان با متغیر بودن ویژگی های مربوط به عملکرد و ش در آنها و همچنین پاسخ متفاوت نسبت به شرایط تنش کم آبیاری مرتبط دانست (Edalatifard *et al.*, 2007). محقق با بررسی ۱۴ ژنوتیپ پنبه برای عملکرد و ش برای هر دو شرایط کم آبیاری نرمال و تنش اختلاف معنی دار مشاهده و تنوع خوبی را بین ژنوتیپ ها از نظر عملکرد و ش گزارش نمودند (Sediq *et al.*, 2014).

همبستگی بین عملکرد و ش، ویژگی های فیزیولوژیک و آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی در شرایط عدم تنش و تنش کم آبیاری

نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی های مورد مطالعه در شرایط عدم تنش آبیاری نشان داد که بیشترین همبستگی مثبت و معنی دار میزان کاروتنوئید با پرولین ($0/88^{**}$) و کلروفیل کل ($0/46^{**}$) و کمترین همبستگی منفی و معنی دار میزان کلروفیل a با کاروتنوئید ($-0/55^{**}$)، کلروفیل b با پرولین ($-0/44^{**}$) و محتوای نسبی رطوبت برگ با فندهای محلول ($-0/44^{**}$) نشان داد. همچنین عملکرد و ش پنبه بیشترین همبستگی مثبت و معنی دار در شرایط عدم تنش آبیاری با میزان پرولین ($0/31^{*}$) و کمترین همبستگی منفی و معنی دار با مالن دی آلدئید ($-0/33^{*}$) نشان داد. نتایج همبستگی فندهای محلول نشان داد بجز کلروفیل کل و کاروتنوئید در سایر ویژگی های عملکرد و ش و فیزیولوژیک مورد مطالعه همبستگی غیر معنی دار و منفی را دارا بود (جدول ۶). ارقامی که میزان کلروفیل، کاروتنوئید و محتوای رطوبت نسبی بالایی دارند، احتمالاً ارقام متحمل به شرایط تنش آبی هستند. نتایج همبستگی عملکرد و ش و سایر ویژگی های فیزیولوژیکی در شرایط تنش کم آبیاری نشان داد بیشترین همبستگی مثبت و معنی دار بین میزان کاروتنوئید با پرولین ($0/94^{**}$) و کلروفیل a با عملکرد و ش ($0/55^{**}$) و کلروفیل کل با محتوای رطوبت نسبی برگ ($0/52^{**}$) داشته و کمترین همبستگی منفی و معنی دار بین میزان کاروتنوئید و محتوای نسبی رطوبت برگ ($-0/71^{**}$) و میزان کلروفیل b ($-0/63^{**}$) نشان داد. بیشترین همبستگی مثبت و معنی دار در شرایط تنش کم آبیاری بین

افزایش می یابد، انباشته شدن فندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی در مطالعات فراوانی ثابت شده است (Karimi *et al.*, 2012).

مالون دی آلدئید

تنش کم آبیاری باعث افزایش میزان مالون دی آلدئید در هر دو سال مطالعه در شرایط بدون تنش شد. در سال اول، بیشترین میزان مالون دی آلدئید در شرایط تنش کم آبیاری متعلق به رقم ساحل با ۲۴/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. کمترین میزان مربوط به رقم لودوس با ۴/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ تحت شرایط عدم تنش بود و در سال دوم بیشترین میزان مالون دی آلدئید در شرایط تنش کم آبیاری مربوط به رقم ساحل با ۲۴/۵۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین متعلق به رقم لودوس با ۴/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در شرایط بدون تنش کم آبیاری بود (جدول ۸). طی دو سال مطالعه بیشترین یکپارچگی غشاء متعلق به رقم ساحل بود که حاکی از آسیب بیشترین تنش کم آبیاری به غشای سلولی بود. کمترین شاخص آسیب به غشاء از نظر میزان مالون دی آلدئید مربوط به رقم لودوس بود گزارش شده است که با افزایش شدت تنش، میزان مالون دی آلدئید ژنوتیپ های مختلف پنبه افزایش و ثبات غشاء کاهش می یابد که بیانگر وجود تنش اکسیداتیو است (Deeba *et al.*, 2012).

عملکرد و ش

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبیاری \times رقم در دو سال آزمایش نشان داد تنش کم آبیاری کاهش شدید عملکرد و ش پنبه را به دنبال داشت. از نظر عملکرد و ش بین ارقام مورد بررسی، اختلاف معنی دار وجود داشت، که این امر نشان دهنده تنوع بین ارقام و پاسخ ارقام مختلف به شرایط تنش کم آبیاری بود. مقایسه میانگین ارقام مورد مطالعه در شرایط عدم تنش نشان داد که بیشترین عملکرد و ش طی سال اول و دوم مطالعه مربوط به رقم ساجدی با ۴۵۹۶ و ۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد و ش را در شرایط تنش کم آبیاری در سال اول و دوم متعلق به رقم سپید با ۱۶۴۹ و ۱۷۵۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۸). نتایج نشان می دهد که میانگین عملکرد و ش در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش کاهش شدیدی داشته

شرایط عدم تنش آبیاری گروه اول شامل ارقام ساحل، ارمغان و سپید قرار داشتند این گروه بدلیل کاهش عملکرد وش و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید به گروه حساس به شرایط تنش کم آبیاری نام‌گذاری شد. گروه دوم شامل ارقام پرتو، شایان، مای، لودوس و لطیف قرار داشت که از نظر عملکرد وش متوسط، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول میزان متوسطی دارا بودند و به گروه نیمه حساس به کم آبیاری معرفی شد و گروه سوم شامل ارقام ساجدی و گلستان که از نظر عملکرد وش نسبت به سایر ارقام دارای میانگین عملکرد وش بیشتری دارا بوده همچنین از نظر رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید بیشترین میزان را به خود اختصاص دادند که به گروه مقاوم به شرایط عدم تنش آبیاری نام‌گذاری شدند (شکل ۱). گروه بندی ارقام در شرایط تنش کم آبیاری باعث تقسیم بندی ارقام به سه گروه، گروه نیمه مقاوم، مقاوم و حساس به کم آبیاری گردید در شرایط تنش کم آبیاری ارقام در سه گروه قرار گرفتند که شامل گروه اول ارقام شامل لطیف، شایان، ارمغان و ساجدی که دارای عملکرد وش متوسط و از نظر سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی میزان متوسطی را داشتند که به گروه نیمه مقاوم به تنش آبیاری معروف شدند. گروه دوم متعلق به رقم گلستان با بیشترین عملکرد وش در شرایط تنش کم آبیاری و از نظر میزان پرولین و قندهای محلول بیشترین میزان را به خود اختصاص داد و به عنوان رقم مقاوم به تنش کم آبیاری معرفی شد و گروه سوم شامل ارقام پرتو، ساحل، لودوس، مای و سپید دارای عملکرد وش کمتری داشته و از سایر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد وش پایینی داشته و به گروه حساس به تنش می‌باشند (شکل ۲). بنابر این، بر اساس نتیجه به دست آمده از این تحقیق می‌توان با انتخاب ارقام مختلف جهت انجام کارهای به‌زرعی برای اصلاح خصوصیات مهم زراعی و دست‌یابی برای لاین‌ها و ارقام امید بخش در پنبه مورد استفاده قرار گیرد. بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهی در ۴۰ ژنوتیپ پنبه نشان داد که بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های پنبه در سه گروه متمایز طبقه‌بندی گردید که این موضوع برای گزینش و کاربرد آن در برنامه‌های مختلف به‌نژادی را تسهیل می‌کند (Alishah., 2020).

عملکرد وش با کلروفیل a (**۰/۵۲)، کاروتنوئید (**۰/۴۱) و پرولین (**۰/۳۲) نشان داد. همچنین عملکرد وش پنبه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط تنش کم آبیاری با میزان کلروفیل a (**۰/۵۵) و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار با محتوای نسبی رطوبت برگ (**۰/۴۱-) نشان داد. (جدول ۷). ارقامی که دارای میزان کلروفیل، کاروتنوئید و محتوای رطوبت نسبی برگ بالایی دارند، احتمالاً مقاومت بهتری نسبت به تنش آبی دارند. نتایج نشان داد ارقامی که میزان پرولین بیشتری داشتند، میزان قندهای محلول بالاتری دارند. در شرایط تنش آبیاری میزان کلروفیل، کاروتنوئید و درصد رطوبت نسبی برگ کاهش یافته و میزان پرولین، قندهای محلول و مالون‌دی‌آلدئید افزایش نشان داد افزایش تجمع مالون‌دی‌آلدئید با کاهش محتوای نسبی رطوبت برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ که تحت تنش کم آبیاری قرار گرفته بودند با هم ارتباط دارد (Labudda, 2013). یکی از عوامل مهم در رشد و توسعه گیاهان، میزان رنگیزه‌های فتوسنتز می‌باشد. بالا بودن محتوای کلروفیل در برگ‌ها نشان‌دهنده کارایی بیش‌تر برگ در جذب نور و عمل فتوسنتز و در نهایت تولید افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه می‌باشد (Hanci and Cebei, 2014). با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های ارقام پر محصول و متحمل به تنش آبی مورد مطالعه رقم گلستان و ساجدی جز ارقام متحمل به تنش و رقم‌های ساحل و سپید جز ارقام حساس به تنش آبی و با عملکرد ضعیف بوده بقیه ارقام جز ارقام نیمه حساس به تنش آبی معرفی شدند.

تجزیه خوشه‌ای (کلاستر)

تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که برای تعیین تفاوت‌های بین جوامع مختلف گیاهی و جانوری و دسته‌بندی آن‌ها به گروه‌های مختلف بر اساس فاصله ژنتیکی یا تشابه ژنتیکی به‌کار می‌رود (Ghorbanpour et al., 2017). تجزیه خوشه‌ای ارقام پنبه بر اساس ویژگی‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی در شرایط غیر تنش و تنش کم آبیاری بر اساس روش وارد (Ward) و فاصله اقلیدوسی با در نظر گرفتن خط برش فرضی موجب دسته‌بندی ارقام پنبه در در سه گروه قرار گرفتند (شکل‌های ۱ و ۲). در

جدول ۶- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیولوژیک مورد مطالعه دو ساله تحت شرایط عدم تنش آبی

Table 6- correlation between the of the physiological characteristics of the two-year study under the condition of no water stress

همبستگی صفات Traits correlate	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
a کلروفیل: (۱) Chlorophyll a	1								
b کلروفیل: (۲) Chlorophyll b	*-0.38	1							
کل کلروفیل: (۳) Total Chlorophyll	*-0.29	-0.12	1						
کاروتنوئید: (۴) Carotenoid	** -0.55	*-0.37	**0.46	1					
محتوای نسبی رطوبت برگ: (۵) R.W.C	*0.33	-0.16	-0.19	-0.18	1				
پرولین: (۶) Proline	*-0.37	** -0.44	*0.36	**0.88	0.31	1			
قندهای محلول: (۷) Soluble sugars	-0.24	0.23	0.13	-0.02	** -0.44	-0.23	1		
مالن‌دی آلدئید: (۸) M.D.A	-0.20	*-0.37	0.12	*0.37	-0.12	*0.30	-0.11	1	
عملکرد وش: (۹) Boll yield	-0.20	0.07	0.05	0.23	0.19	*0.31	-0.11	*-0.33	1

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: significant at level of 1 and 5%, respectively

جدول ۷- همبستگی بین ویژگی‌های فیزیولوژیک مورد مطالعه دو ساله تحت شرایط تنش کم آبیاری

Table 7- correlation between of the physiological characteristics of the two-year study under the conditions of low water stress

همبستگی صفات Traits correlate	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
a کلروفیل: (۱) Chlorophyll a	1								
b کلروفیل: (۲) Chlorophyll b	-0.03	1							
کل کلروفیل: (۳) Total Chlorophyll	-0.22	-0.18	1						
کاروتنوئید: (۴) Carotenoid	-0.09	-0.63**	-0.08	1					
محتوای نسبی رطوبت برگ: (۵) R.W.C	-0.15	0.29*	0.52**	-0.71**	1				
پرولین: (۶) Proline	-0.19	-0.67**	0.16	0.94**	-0.41	1			
قندهای محلول: (۷) Soluble sugars	-0.02	0.28*	-0.25*	-0.13	-0.19	-0.27*	1		
مالن‌دی آلدئید: (۸) M.D.A	-0.25*	-0.24	0.30	0.05	0.03	0.07	-0.25	1	
عملکرد وش: (۹) Boll yield	0.55**	-0.33*	-0.03	0.41*	-0.41*	0.32*	-0.38*	0.00	1

** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: significant at level of 1 and 5%, respectively

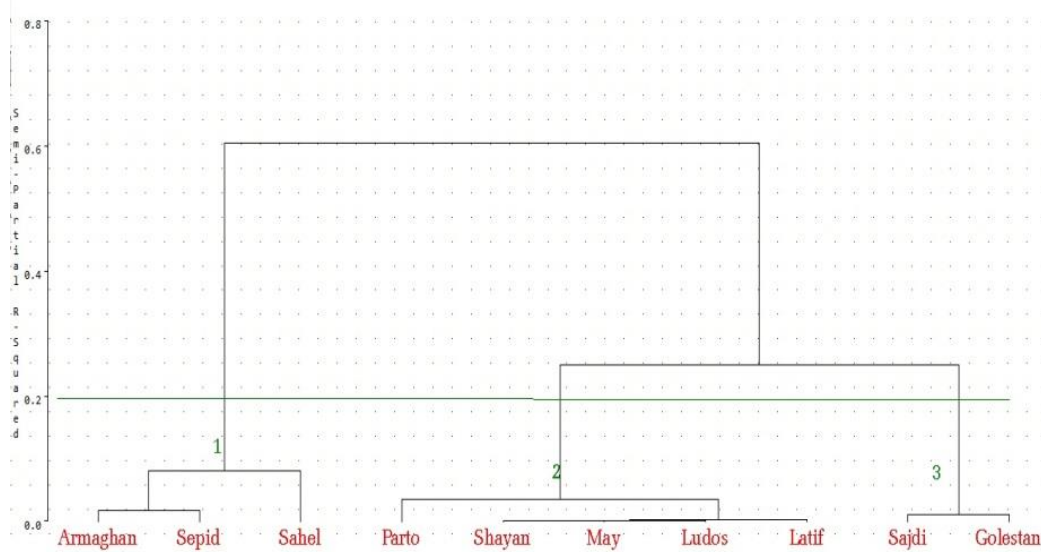
جدول ۸- مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در ترکیب تیمارهای مختلف روی ارقام پنبه در دو سال زراعی

Table 8- Means Comparison of characteristics studied in the combination of different treatments on cotton cultivars in two crop years

کم آبیاری Deficit Irrigation	رقم Cultivar	مالن دی آلدئید MDA (mg/gfw)		عملکرد وش Boll Yield (kg.ha ⁻¹)	
		سال اول One year	سال دوم Two year	سال اول One year	سال دوم Two year
		بدون تنش No-Stress			
	ارمغان Armaghan	5.67 ^{fg}	5.72 ^{fg}	3776 ^d	3758 ^f
	پرتو Parto	4.64 ^{fg}	4.79 ^{fg}	4233 ^b	4284 ^b
	ساجدی Sajdi	5.65 ^{fg}	5.53 ^{fg}	4596 ^a	4593 ^a
	ساحل Sahel	5.72 ^{fg}	5.63 ^{fg}	3527 ^e	3126 ^b
	سپید Sepid	6.49 ^f	6.19 ^f	3657 ^{de}	3532 ^g
	شایان Shayan	4.72 ^{fg}	4.81 ^{fg}	4054 ^{bc}	4037 ^c
	گلستان Golestan	5.76 ^{fg}	5.87 ^{fg}	4563 ^a	4473 ^a
	لطیف Latif	5.80 ^{fg}	5.83 ^{fg}	4015 ^c	3903 ^{de}
	لودوس Ludos	4.35 ^g	4.48 ^g	4024 ^c	3997 ^{cd}
	مای May	6.25 ^{fg}	5.82 ^{fg}	4225 ^b	3826 ^{ef}
تنش کم آبیاری Irrigation Stress					
	ارمغان Armaghan	18.93 ^{bcd}	19.05 ^b	2223 ^{gh}	2110 ^{klm}
	پرتو Parto	15.77 ^e	15.70 ^d	2107 ^{hi}	1826 ^o
	ساجدی Sajdi	19.17 ^{bcd}	18.68 ^{cb}	2371 ^{fg}	2279 ^j
	ساحل Sahel	24.31 ^a	24.58 ^a	1830 ^{ij}	1985 ⁿ
	سپید Sepid	19.48 ^{bcd}	14.06 ^{de}	1649 ^k	1756 ^o
	شایان Shayan	17.38 ^{de}	17.35 ^c	2045 ^{hi}	2159 ^{jkl}
	گلستان Golestan	17.48 ^{cde}	14.58 ^{de}	2535 ^f	2688 ⁱ
	لطیف Latif	17.47 ^{cde}	18.17 ^{bc}	2314 ^g	2043 ^{mn}
	لودوس Ludos	20.15 ^b	19.59 ^b	1793 ^k	2187 ^{jk}
	مای May	19.42 ^{bc}	19.69 ^b	1992 ^{ij}	1998 ^{mn}
	LSD _{0.05}	1.96	1.6	183	123.9

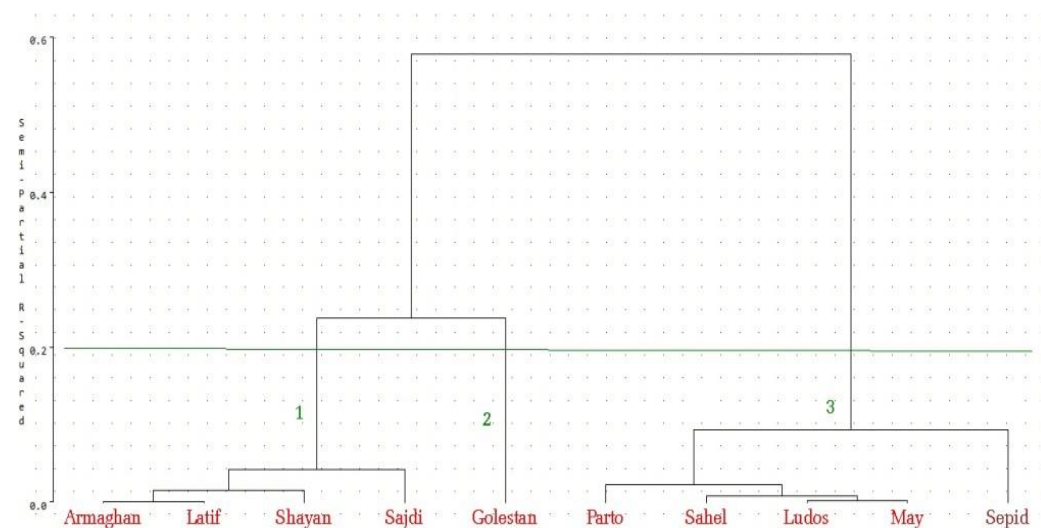
میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با هم ندارد.

Means with common letters in each column do not have a significant difference at the level of 1%.



شکل ۱- گروه بندی ارقام پنبه تحت شرایط عدم تنش کم آبیاری بر اساس فاصله اقلیدسی و الگوریتم میانگین به روش Ward

Figure 1- Grouping of cotton cultivars under conditions of lack of irrigation stress based on Euclidean distance and mean algorithm by Ward method.



شکل ۲- گروه بندی ارقام پنبه تحت شرایط تنش کم آبیاری بر اساس فاصله اقلیدسی و الگوریتم میانگین به روش Ward

Figure 2- Grouping of cotton cultivars under water stress conditions based on Euclidean distance and average algorithm by Ward method.

و مرحله رشد قرار گرفتند. میزان پرولین با افزایش تنش بیش تر شده به طوری که در سطح تنش متوسط دو مرحله کم آبیاری (تشکیل غنچه و شروع گل دهی) نسبت به شرایط عدم تنش افزایش قابل توجهی داشت. میزان کلروفیل a تحت تأثیر شدت تنش قرار گرفته، ولی در میزان کلروفیل b تغییر زیادی مشاهده نشد، زیرا کلروفیل a نسبت به کلروفیل b حساسیت زیادی به تنش کم آبیاری داشته به همین دلیل میزان تغییرات کلروفیل a در شرایط تنش بیش تر از کلروفیل b بود. میزان کاروتنوئید با

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، ارقام با کاربرد تیمارهای تنش کم آبیاری، از نظر ویژگی های مرتبط با رنگیزه های فتوسنتزی و آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی و عملکرد و ش اختلاف معنی داری را نشان داد. مطالعه تجزیه مرکب اثر متقابل ارقام تحت تنش کم آبیاری طی دو سال زراعی عملکرد و ش و مالندگی آلدئید اختلاف معنی دار مشاهده شد. اکثر ویژگی های مورد مطالعه تحت تأثیر شدت تنش کم آبیاری

تنش آبیاری با میزان کلروفیل a (0.55^*) و کمترین همبستگی منفی و معنی‌دار در شرایط عدم تنش با مالندگی آلدئید (-0.33^*) و در شرایط تنش با محتوای نسبی رطوبت برگ (-0.41^*) نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق و ضرایب همبستگی بین ویژگی‌ها ارقام متحمل به تنش آبی مورد مطالعه رقم‌های گلستان و ساجدی جز ارقام متحمل به تنش و رقم‌های ساحل و سپید جز ارقام حساس به تنش آبی و بقیه ارقام جز ارقام نیمه حساس به تنش آبی معرفی شدند.

سپاسگزاری

نویسنده بر خود وظیفه می‌داند از زحمات و همکاری مسئولین آزمایشگاه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی گنبد کاووس تقدیر و تشکر نمایم.

افزایش روند شدت تنش کم آبیاری میزان آن کاهش یافته است. کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی را می‌توان عموماً به تخریب ساختار کلروپلاست، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها نسبت داد. در رابطه با تأثیر تنش کم آبیاری روی فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی پرولین، قندهای محلول و مالندگی آلدئید تحت تأثیر شدت تنش کم آبیاری مقدار آن‌ها افزایش یافت. مقایسه میانگین عملکرد ارقام پنبه طی دو سال نشان می‌دهد، که میانگین عملکرد وش پنبه در شرایط تنش کم آبیاری نسبت به شرایط عدم تنش در سال اول و دوم به ترتیب $51/3$ و $53/2$ درصد کاهش داشته است که کاهش عملکرد وش پنبه در اثر کاهش تعداد غوزه در بوته تحت شرایط تنش کم آبیاری بود. عملکرد وش پنبه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در شرایط عدم تنش آبی با میزان پرولین (0.31^*) و در شرایط

References

- Alishah, A., 2014. Studying the adaptability and quantitative and qualitative characteristics of promising cotton cultivars in temperate and cold regions of Iran. Final Report of Cotton Research Institute, Iran, Gorgan, pp. 34. [In Persian].
- Alishah, O., 2020. Assessment of genetic variability, heritability and association of plant attributes with lint yield and fiber quality in advanced lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(4), pp.350-364. [In Persian]. doi: 10.52547/abj.22.4.350
- Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak, M.S. and Ourangabadkar, L.P., 2008. Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5), pp.619-627.
- Aydogdu, M.H., Karli, B., Dogan, H.P., Sevinc, G., Eren, M.E. and Kucuk, N., 2018. Economic analysis of agricultural water usage efficiency in the GAP-Harran plain: cotton production sampling, sanliurfa-Turkey. *International Journal of Advances in Agriculture Sciences*, 12(3), pp.12-19.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, 23(1), pp.12-121.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39(1), pp.205-207. doi: 10.1007/bf00018060
- Blum, A., Gozlan, G. and Mayer, J., 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. *Crop Science*, 21(4), pp.495-499. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183x002100040004x
- Chowdhury, J., Karim, M., Khaliq, Q. and Ahmed, A., 2017. Effect of drought stress on Bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. *Bangladesh Journal Agricultural Research*, 42(3), pp.475-485. doi: 10.3329/bjar.v42i3.34506.
- Dbira, S., Al Hassan, M., Gramazio, P., Ferchichi, A., Vicente, O., Prohens, J. and Boscaiu, M., 2018. Variable

- levels of tolerance to water stress (drought) and associated biochemical markers in tunisian barley landraces. *Journal of Molecules*, 23(3), pp.1-15. doi: **10.1016/j.plaphy.2012.01.002**.
- Devi, M.A. and Giridhar, P., 2015. Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. *proceedings of the national academy of sciences, India section B: biological sciences*, 85(1), pp.35-44. doi: **10.1007/s40011-013-0244-0**.
- Ebtedaee, M. and Shekafandeh, A., 2016. Morph-physiological changes of two cultivars of pomegranate 'Rabab' and 'Shisheh Gap' under water stress conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 17(2), pp.209-220. [In Persian]. doi: **20.1001.1.16807154.1395.17.2.7.5**
- Edalatifard, L., Galeshi, S., Soltani, A. and Akramghaderi, F., 2007. The role of morphophysiological traits in drought tolerance of cotton genotypes. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*, 13(2). [In Persian].
- Elsayed A.I., Elhamahmy, M.A.M., Rafudeen, M., Mohamed, A.H. and Omar, A.A., 2019. The impact of drought stress on antioxidant responses and accumulation of flavonolignans in milk thistle (*Silybum marianum* L Gaertn). *Plants*, 8(12), pp.611-625. doi: **10.3390/plants8120611**.
- Gur, A., Demirel, U., Ozden, M., Kahraman, A. and Copur, O., 2010. Diurnal gradual heat stress affects antioxidant enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9(7), pp.1008-1015. doi: **10.5897/ajb09.1590**
- Ghorbanpour, A., Salemi, A., Tajik Ghanbary, M.A., Pirdashti, H. and Dehbashi, A., 2017. Relationship between fruit yield and its components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*, 9(24), pp.22-29. doi: **10.29252/jcb.9.24.22**
- Guo, W.Q., Zhang, P.T., Li, C.H., Yin, J.M. and Han, X.Y., 2015. Recovery of root growth and physiological characters in cotton after salt stress relief. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(1), pp.85-91. doi: **10.4067/s0718-58392015000100012**.
- Hannoufa, A. and Hossain, Z., 2012. Regulation of carotenoid accumulation in plants. *Journal of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 1(3), pp.198-202. doi: **10.1016/j.bcab.2012.03.004**
- Hassani Moghadam, E., Esna-Ashari, M. and Rezaeinejad, A., 2015. Effect of drought stress on some physiological characteristics in six commercial iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) Cultivars. *Plant Products Thechnology*, 15(1), pp.1-11. [In Persian].
- Hanci, F. and Cebei, E., 2014. Investigation of proline, chlorophyll and carotenoids changes under drought stress in some onion (*Allium Cepa* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 2, pp.1499-1504.
- Himanshu, S.K., Singh, A.K., Kumar, S. and Kalura, P., 2013. Response of broccoli to irrigation scheduling and methods under drip, sprinkler and surface irrigation. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2(4), pp.777-782.
- Jones, R.O., Thomas, H., Waalard, H. and Jones, S.R., 2013. The molecular life of plants (No. 581.15/. 16 MOL).

- Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J.M. and Makarian, H., 2012. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis L.*). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8(3), pp.160–169.
- Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Daneshian, J. and Siadat, S.A., 2014. Effects of water stress and nitrogen on changes of some amino acids and pigments in canola. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 9(3), pp.114-122.
- Khan, N., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R. and Iqbal, N., 2010. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, 1(1), pp.1-8. doi: **10.4081/pb.2010.e1**
- Khaitov, B. and Tshaev, S., 2015. The effect of arbuscular mycorrhiza fungi on cotton growth and yield under salinated soil condition. *Journal of Cotton Genomics and Genetics*, 6(3), pp.1-5. doi: **10.5376/cgg.2015.06.0003**
- Liu, G., Li, X., Jin, S., Liu, X., Zhu, L., Nie, Y. and Zhang, X., 2014. Overexpression of rice NAC gene SNAC1 improves drought and salt tolerance by enhancing root development and reducing transpiration rate in transgenic cotton. *PloS One*, 9(1), pp.11-42. doi: **10.1371/journal.pone.0086895**
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B.P.C. and Sohrabi, Y., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 4(8), pp.580-585.
- Martinez-Romero, A., Dominguez, A. and Landeras, G., 2019. Regulated deficit irrigation strategies for different potato cultivars under continental Mediterranean-Atlantic conditions. *Agricultural of Journal Water Management*, 216(1), pp.164-176. doi: **10.1016/j.agwat.2019.01.030**
- Mbava, N., Mutema, M., Zengeni, R., Shimelis, H. and Chaplot, V., 2020. Factors affecting crop water use efficiency: A worldwide metaanalysis. *Agricultural Water Management*, 228(3), pp.105878. doi: **10.1016/j.agwat.2019.105878**
- Mehrabadi, H.R., 2014. Investigation on effects of drought stress on growth and physiological aspects of cotton at controlled and filed conditions, PhD thesis. pp:490. Agricultural College of Ferdowsi University, Mashhad. [In Persian]. doi: **10.22067/jpp.v31i1.45715**
- Meier, S., Tzfadia, O., Vallabhaneni, R., Gehring, C. and Wurtzel, E.T., 2011. A transcriptional analysis of carotenoid, chlorophyll and plastidial isoprenoid biosynthesis genes during development and osmotic stress responses in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of BMC Systems Biology*, 19(5), pp.1-77. doi: **10.1186/1752-0509-5-77**
- Saleem, M.F., Anjum, S.A., Shakeel, A., Ashraf, M. and Khan, H.Z., 2009. Effect of row spacing on earliness and yield in cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), pp.2179-2188.
- Saeid nejad, A.H. and Rajaei, P., 2015. Antioxidative responses to drought and salinity stress in plants, A comprehensive review. *International Journal of Life Sciences*, 9(2), pp.1-8. doi: **10.5555/20153209086**
- Schlegel, H.G., 1956. The utilization of organic acids by chlorella in the light. *Plant Journal*, 47(5), pp.510-526.

- Schlemmer, M.R, Francis, D.D., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S., 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*, 97(1), pp.106– 112. **doi: 10.2134/agronj2005.0106**
- Seddiq, S., Bajit, M., Qadri, M.Q. and Samadzadeh, A.R., 2014. Determining suitable indicators to evaluate drought tolerance in cotton genotypes. *Final Report of Cotton Research Institute, Iran, Gorgan*, 3(2), pp.41-53. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijcr.2016.106769**
- Steduto, P., Hoogeveen, J., Winpenny, J. and Burke, J., 2017. Coping with water scarcity: An action framework for agriculture and food security. *FAO Water Reports*, pp.38, Rome, Italy.
- Silva, M.A., Jifon, J.L, Silva, J.A. and Sharma, V., 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Braz. Journal of Plant Physiology*, 19(3), pp.193-201. **doi: .10.1590.s1677-04202007000300003**
- Stewart, R.R. and Bewley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 65(2), pp.245-248. **doi: 10.1104/pp.65.2.245**
- Sumartini, E.S., Mulyani, S. and Abdurakhman, M., 2013. Screening of cotton lines (*Gossypium hirsutum L.*) tolerance to drought at germination stage with PEG-6000. *Jurnal Litteri*, 19(3), pp.139-146. **doi: 10.5897/joda2021.0067**
- Tang, W., Luo, Z., Wen, S.M., Dong, H.Z., Xin, C.S. and Li, W.J., 2007. Comparison of inhibitory effects on leaf photosynthesis in cotton seedlings between drought and salinity stress. *Cotton Science*, 19(2), pp.28-32.
- Viera Santos, C., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Journal of Science Horticulturae*, 103(1), pp.93-99. **doi: 10.1016/j.scienta.2004.04.009**
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F., 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), pp.798-807. **doi: 10.5897/ajar10.405**
- Yu, X., X. Du. and Song, L. 2007. Effects of water stress on the growth and ecophysiology of seedlings of the *Rhustyphina*. *Scientia Silvae Sinicae*, 43(11), pp.57-61.
- Zain, N.A.M., Ismail, M.R., Mahmood, M., Puteh, A. and Ibrahim, M.H., 2014. Alleviation of water stress effects on MR220 rice by application of periodical water stress and potassium fertilization. *Molecules Journal*, 19(2), pp.1795-1819. **doi: 10.3390/molecules19021795**
- Zhang, Z., Zhang, X., Hu, Z., Wang, S., Zhang, J., Wang, X. and Zhang, B., 2015. Lack of K-dependent oxidative stress in cotton roots following coronatine-induced ROS accumulation. *PLoS One*, 10(5), pp.64-76. **doi: 10.1371/journal.pone.0126476**

Effect of low irrigation stress on yield, physiological characteristics and Non-enzymatic antioxidants of cotton cultivars (*Gossypium hirsutum* L.)

Hamid Kouhkan^{1*}, Ali Nakhzari Moghaddam², Ali Rahemi Karizaki², Omran Alishah³

¹ Ph.D. Student of Agrotechnology - Ecology of Agronomy Plants, Department of Plant Production, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

² Plant Production Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

³ Cotton Research Institute of Gorgan, Iran

*Corresponding Author: kouhkan.hamid@yahoo.com

Received: 25 August 2023

Accepted: 22 October 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.413281.1371

Abstract

Introduction: Due to Iran's location in the arid and semi-arid region of the world, the possibility of drought is high. Therefore, implementing low irrigation to increase the efficiency of limited water resources is a scientific solution to reduce water consumption. On the other hand, irrigation deficit in cotton is the most important factor limiting production worldwide, which indicates the need for optimal use of water resources to determine the real water needs of cotton plants. Therefore, development and introduction of drought tolerant cultivars and useful method to improve water productivity and efficiency in the face of drought and water scarcity. The aim of this experiment was to evaluate cotton cultivars by measuring traits related to photosynthetic pigments and yield in order to select drought tolerant cultivars.

Materials and Methods: The present study, evaluated physiological traits of 10 cotton cultivars that were known as tolerant cultivar under irrigation deficit based on the measurement of traits and mechanisms of drought tolerance split-plot arrangement using randomized complete blocks design with three replications in 2021 and 2022 years, in the educational and research farm of Gonbadkavous University (Golestan province), Iran. Experimental research includes two different irrigation regime The main factor of irrigation stress in two levels including low irrigation stress (two times of irrigation in the stages of bud formation and beginning of flowering) and no stress (four times of irrigation in the stages of bud formation, beginning of flowering, beginning of bud formation and beginning of bud opening) and the factor Sub-types of cotton were included in 10 levels (Shayan, Sahel, Sepid, Sajidi, Golestan, Latif, Armaghan, Parto, Mai and Lodos). The studied traits include physiological characteristics such as chlorophyll a, b and carotenoids, proline and boll yield. Photosynthetic pigments were measured by spectrophotometer and its concentration was performed by Arnon (1967) method.

Results and Discussion: Based on the results of this experiment, cultivars with low irrigation stress treatments showed a significant difference in terms of traits related to photosynthetic pigments and non-enzymatic antioxidants and their yield. The study of compound analysis of interaction effect of cultivars in the stress of low irrigation during two crop years showed a significant difference in the yield of Vash and malendialdehyde. Most of the studied traits were affected by the intensity of low irrigation stress and growth stage. The amount of proline increased with the increase of stress so that at the medium stress level of two stages of irrigation (bud formation and beginning of flowering) it increased significantly compared to the condition of no stress. The amount of chlorophyll a was affected by the intensity of stress, but there was no significant change in the amount of chlorophyll b. In the first and second year, the highest yield of rice in non-stress conditions belonged to Sajidi variety with 4596 and 4593 kg/ha⁻¹, respectively, and the lowest yield in water stress conditions in the first and second year belonged to Sepid variety, with 1649 and 1756 kg/ha⁻¹, respectively. The decrease in the yield of cotton was due to the decrease in the number of bolls in the plant under the condition of low irrigation stress.

Conclusion: The results of this study indicated the traits of tolerance cultivars under irrigation deficit. Also, cultivars showed different reactions to the studied traits. According to the results of the research and the correlation coefficients between the traits, among the water stress tolerant cultivars studied, Golestan and Sajidi cultivars are among the stress tolerant cultivars, Sahil and Sepid cultivars are the sensitive cultivars to water stress, and the other cultivars are the semi-sensitive cultivars. Water stress was introduced.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Proline, Sajdi

ارزیابی میزان رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های امید بخش گلرنگ پاییزه (*Carthamus tinctorius L.*) تحت تنش کمبود آب طی دوره زایشی

سمانه ساجدی چلیک^۱، سعید حضرتی^{۱*}، بهمن پاسبان اسلام^۲، امیررضا صادقی بختوری^۱

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
 ۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
 * مسئول مکاتبه: saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.399219.1345

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ویژگی‌های زراعی ژنوتیپ‌های گلرنگ متحمل به کم‌آبی برای کشت در اراضی شور و کم‌بازده اجرا گردید. آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اراضی شور ایستگاه خسروشاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل دو سطح آبیاری (بدون تنش و تنش از گلدهی تا رسیدگی دانه) و فاکتور فرعی شش ژنوتیپ گلرنگ پاییزه بودند. نتایج نشان داد در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ پدیده بیشترین و KH 92 کمترین عملکرد دانه و روغن را داشتند و تحت تنش کم‌آبی، ژنوتیپ پدیده بیشترین و KH 132 کمترین عملکرد دانه و روغن را نشان دادند. بیشترین و کمترین درصد روغن در آبیاری کامل به ترتیب مربوط به ژنوتیپ پدیده (۲۹/۴۳ درصد) و ژنوتیپ kh 92 (۲۲/۷۶ درصد) و در تیمار تنش کم‌آبی مربوط به ژنوتیپ پدیده (۲۴/۳ درصد) و ژنوتیپ kh 92 (۱۶/۸ درصد) بود. براساس نتایج حاصل از تجزیه کلاستر در شرایط عدم تنش و تنش، در گروه اول (پدیده و kh 132) به علت داشتن عملکرد دانه و روغن بالا و نیز ژنوتیپ‌های گروه دوم (قزاقی، kh 92 و kh 97) به دلیل این که از نظر صفاتی نظیر عملکرد دانه و روغن دارای بیشترین درصد انحراف نسبت به میانگین کل بودند، نسبت به تنش کم‌آبی مقاوم شناخته شدند. هم‌چنین ژنوتیپ‌های گروه سوم (قزاقی، kh 68 و kh 132) به دلیل عملکرد دانه و روغن پایین تر و نیز درصد انحراف کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های گروه دو، در گروه‌های حساس به تنش کم‌آبی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، دانه‌های روغنی، عملکرد دانه، عملکرد روغن

مقدمه

باتوجه به بومی بودن، داشتن خصوصیات ارزشمندی از جمله سازگاری به شرایط خشک و نیمه‌خشک، کیفیت بالای روغن، مقاومت به تنش‌های محیطی به‌خصوص تنش خشکی مورد توجه می‌باشد (Kaya, 2009).

گلرنگ با نام علمی (*Carthamus tinctorius L.*) گیاهی است یک‌ساله، علفی و از خانواده‌ی Compositae یا Asteraceae که عمدتاً برای تولید بذر و روغن کشت می‌شود (Emongor and Emongor, 2023). این گیاه بومی بخش‌هایی از آسیا، خاورمیانه و آفریقا است و به دلیل داشتن ریشه‌های عمیق نسبت به دانه‌های کوچک تحمل بیشتری در برابر شرایط شور و تنش‌های خشکی دارد (Hussain et al., 2016). ضمن آنکه با طیف وسیعی از خاک‌ها سازگار بوده و از منابع مهم روغن به شمار می‌رود (Gecgel et al., 2007). گلرنگ به عنوان یک محصول مهم سالانه دانه روغنی در تناوب زراعی در نظر گرفته می‌شود که حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن و ۱۵ تا ۲۰

نتایج حاصل از مطالعات و بررسی‌های مؤسسه‌ی تغذیه ایران حاکی از آن است که ۲۱ درصد از انرژی روزانه مردم ایران از طریق مصرف روغن تأمین می‌شود، از طرفی، در سال‌های اخیر، تولید دانه‌های روغنی در کشور به حداقل رسیده است (Mohseni and Jaliliyan, 2012). بنابراین، افزایش سطح زیرکشت دانه‌های روغنی و افزایش عملکرد آن‌ها برای کاهش وابستگی به کشورهای دیگر ضروری است. روغن موجود در دانه‌های روغنی در صنایع غذایی، محصولات دارویی و آرایشی بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Morya et al., 2022). تولید روغن خوراکی در ایران بسیار کم است و متأسفانه همه ساله مقدار قابل توجهی ارز جهت واردات این ماده از کشور خارج می‌شود. بنابراین، لازم است که به منظور تأمین نیاز روزافزون روغن کشور، تولید گیاهان دانه روغنی افزایش یابد (Rostami Ahmadvandi and Faghihi, 2021). گلرنگ

بدون تنش، ژنوتیپ Dincer با ۳۲ درصد روغن و در شرایط تنش، ژنوتیپ C9305 با ۳۱ درصد روغن دارای بیشترین درصد روغن در دانه بودند (Ozturk *et al.*, 2008). نتایج ارزیابی ده ژنوتیپ گلرنگ ایرانی در پاسخ به خشکی در مرحله گلدهی با تأکید بر تفاوت‌های اساسی بین ژنوتیپ‌ها برای همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که دوره گلدهی به‌عنوان حساس‌ترین مرحله نسبت به کم‌آبی است که خود باعث کاهش عملکرد می‌شود (Zareie *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای دیگر تنوع ژنتیکی معنی‌داری از نظر عملکرد دانه بین لاین‌های گلرنگ در شرایط تنش کمبود آب گزارش شده است که امکان گزینش لاین‌های متحمل به کمبود آب را فراهم می‌سازد (Bortolheiro and Silva, 2017). در آریزونا با مطالعه روی ۲۴ ژنوتیپ گلرنگ مشخص شد که عملکرد دانه در واحد سطح با تعداد طبق، تعداد بذر در طبق، وزن هزاردانه و تعداد شاخه جانبی دارای همبستگی معنی‌داری بود، ضمن این‌که تعداد طبق در بومه مهم‌ترین جزء از اجزای عملکرد گلرنگ می‌باشد. تأثیر خشکی بر میزان و ترکیب اسیدهای چرب دانه گلرنگ، ارزش اقتصادی روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه گلرنگ را تعیین می‌کند. بنابراین خشکی می‌تواند اثر برجسته‌ای بر کیفیت و کمیت روغن استخراج شده از دانه داشته باشد (Ashrafi and Razmjo, 2015). گلرنگ اگرچه به‌عنوان گیاهی متحمل به شرایط کم‌آبی شناخته می‌شود، اما تنش کم‌آبی به‌ویژه قطع آب آبیاری در فاز زایشی، از گلدهی به بعد باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد می‌گردد (Bijanazadeh *et al.*, 2022). محققان در مطالعه‌ای عنوان کردند که با وقوع تنش خشکی در گلرنگ، ارتفاع و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند (Tayebi *et al.*, 2018) و نیز تحقیق دیگری نشان داد آبیاری نرمال باعث افزایش ارتفاع در ژنوتیپ‌های گیاه گلرنگ می‌گردد و اعمال تیمار کم‌آبی از میزان این متغیر به‌طور معنی‌داری می‌کاهد (Farasat *et al.*, 2012).

در پژوهش‌های مختلف، عنوان شده است که کمبود آب، رشد گیاه گلرنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش خشکی، کاهش در اکثر صفات مورفولوژیکی از قبیل ارتفاع، فاصله محل اولین انشعاب شاخه‌ها تا سطح خاک، تعداد شاخه فرعی و میزان ماده خشک گیاهی مشاهده

درصد پروتئین است (Hussain *et al.*, 2016). اسیدهای چرب در دانه‌های گلرنگ بیشتر شامل اسید استئاریک (۲ تا ۳ درصد)، اسید اولئیک (۱۶ تا ۲۰ درصد)، اسید پالمیتیک (۶ تا ۸ درصد) و اسید لینولئیک (۷۱ تا ۷۵ درصد) است (Zafari *et al.*, 2020).

تنش خشکی که در دسترس بودن آب کم یا تغییرات تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی در شرایط آب و هوایی در طول دوره رشد گیاهان است، یکی از عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی می‌باشد. خشکی از جمله تنش‌های غیرزنده است که موجب محدودیت در تولیدات کشاورزی می‌گردد (Zafari *et al.*, 2020).

تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه با کاهش شاخص سطح برگ باعث کاهش تولید ماده خشک و کاهش عملکرد گیاه می‌شود. با ارزیابی پتانسیل توسعه کشت گلرنگ و آفتابگردان در کشور هندوستان و تطبیق آن‌ها مشخص شد که سود حاصل از تولید گلرنگ بالاتر از تولید آفتابگردان در مساحت مشخصی از مزرعه است. علت اصلی این امر تحمل بالاتر گلرنگ به کمبود آب به‌خاطر داشتن ریشه‌هایی با توان جذب آب بالاتر از لایه‌های عمیق‌تر خاک بود (Kumar, 2000). در مطالعه‌ای پژوهشگران عنوان کردند که وقوع تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی گلرنگ، باعث می‌شود که درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا کند (Mostafavi, 2011).

گزارش شده است که حساس‌ترین مرحله در گلرنگ به آبیاری، مرحله گلدهی و پر شدن است (Istanbulluoglu, 2009) و نیز رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیر قابل توجهی بر بذر، عملکرد روغن خام، تعداد دانه در طبق، شاخص برداشت و کل وزن خشک داشتند (Nabipour, 2007). در مطالعه‌ای محققان گزارش کردند که وقوع تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه‌ها در گلرنگ باعث شد که تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه به‌صورت معنی‌داری کاهش یابند (Pasban Eslam, 2011).

نتایج تحقیق دیگری نشان داد که تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر است. در این بررسی بین تنش و وزن هزاردانه و تعداد دانه در طبق اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (Ozturk *et al.*, 2008). همچنین اثر ژنوتیپ‌های گلرنگ بر میزان روغن دانه و عملکرد روغن دانه نیز معنی‌دار شد که ژنوتیپ Montola 2000 در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای کمترین مقدار روغن بود، ولی در شرایط

شده است.

کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تهیه شدند. جدول زمان‌بندی آبیاری واحدهای آزمایشی بر اساس روش تغییرات درصد حجمی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه انجام گرفت. در این آزمایش تیمار رژیم آبیاری کامل (عدم تنش) زمانی صورت گرفت که ۳۵ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک توسط گیاه و یا در اثر تبخیر از سطح خاک تخلیه گردید و در رژیم آبیاری دوم (تنش کم‌آبی) آبیاری زمانی انجام شد که ۶۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق صفر تا ۷۰ سانتی‌متری خاک تخلیه گردید. تعیین مقدار رطوبت قابل استفاده نیز از تفاوت درصد حجمی رطوبت (در عمق توسعه ریشه) در نقطه ظرفیت زراعی (ظرفیت زراعی) از درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی دائمی بدست آمد. برای کنترل رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از دستگاه T.D.R ساخت تایوان در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری کرت‌ها استفاده شد. در کل دوره رشد گیاه، تعداد دفعات آبیاری شامل دو مرحله آبیاری در پاییز و در فصل بهار کرت‌های عدم تنش چهار مرحله و کرت‌هایی که در آنها تنش اعمال گردیده بود دو مرحله آبیاری گردیدند. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، در دوره اعمال تنش بارندگی صورت نگرفت. هر کرت از چهار ردیف کاشت به طول چهار متر تشکیل شده بود و برای جلوگیری از نشست آب بین کرت‌ها و بین تکرارها دو متر فاصله ایجاد شد. فاصله خطوط کاشت ۲۴ سانتی‌متر تنظیم شد. میزان بذر ۲۰ کیلوگرم در هکتار بوده و در نهایت تراکم ۴۸۰ هزار بوته در هکتار تثبیت شد. کشت در ۲۰ شهریور ماه سال ۱۳۹۸ انجام گردید.

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی اثرات تنش کمبود آب در دوره زایشی روی هریک از اجزای عملکرد دانه و میزان بازتاب آن روی محصول نهایی دانه و روغن ژنوتیپ‌های امیدبخش گلرنگ پاییزه در اراضی کم‌بازده حاشیه دریاچه ارومیه به‌منظور گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کمبود آب در طی دوره زایشی برای گزینش نهایی جهت کشت در اراضی کم‌بازده حاشیه دریاچه ارومیه بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ایستگاه خسروشاه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. این ایستگاه (۴۶ درجه و ۲ دقیقه شرقی، ۳۷ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی) در سیستم اقلیم‌بندی کوپن سرد و نیمه‌خشک است. هم‌چنین منطقه زمستان‌هایی با روزهای یخبندان دارد. میانگین دراز مدت بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر می‌باشد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۴۷ متر می‌باشد. این ایستگاه در حاشیه دریاچه ارومیه قرار دارد. برخی خصوصیات خاک محل آزمایش تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در جدول ۱ گزارش شده است. آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی، تنش کم‌آبی با دو سطح بدون تنش و اعمال تنش از مرحله گلدهی تا رسیدگی دانه و فاکتور فرعی شامل شش ژنوتیپ گلرنگ پاییزه به نام‌های پدیده، قزاقی، 97 kh و 132 kh بود. بذر این ژنوتیپ‌ها از مرکز تحقیقات و آموزش

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Some Physico-chemical characteristics of experimental farm soil

عمق خاک Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	پتاسیم Potassium (mg/kg)	فسفر Phosphorus (mg/kg)	نیتروژن Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	pH
0-30	69	17	14	215	15	0.05	0.42	6.7	8

مقدار ۱۸ کیلوگرم در هکتار به‌صورت P_2O_5 قبل از کاشت انجام گرفت. هم‌چنین در اواسط مرحله‌ی گلدهی برای مبارزه با آفت مگس گلرنگ، مزرعه با سم دیازینون با غلظت یک در هزار سم‌پاشی گردید. علف‌های هرز به شکل دستی وجین شدند. با

کوددهی مزرعه بر پایه نتایج آزمون خاک با استفاده از کود نیتروژن دار اوره به مقدار ۱۳۲ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله قبل کاشت و شروع گلدهی، سولفات پتاسیم به مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار به صورت K_2O و سوپر فسفات تریپل به

سطح احتمال پنج درصد استفاده شد، هم‌چنین برای مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی از روش برش‌دهی استفاده گردید. برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. جهت ارزیابی ارتباط بین صفات مورد مطالعه در این پژوهش از اعداد همبستگی پیرسون استفاده گردید. به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، پی بردن به فاصله ژنتیکی بین آن‌ها و استفاده از تنوع ژنتیکی موجود در آن‌ها از تجزیه خوشه‌ای (Cluster Analysis) به روش Ward براساس مربع فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار فاصله استفاده گردید.

نتایج و بحث

تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان دادند که شروع تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی تأثیر معنی‌داری روی صفت تعداد طبق در بوته داشت (جدول ۲). به‌طوری‌که تعداد طبق در بوته، در شرایط نرمال (بدون تنش) و تنش کم‌آبی به ترتیب ۱۲/۲۵ و ۱۱ عدد در بوته بود. درحالی‌که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر صفت تعداد طبق در بوته اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. کاهش تعداد طبق در بوته در شرایط تنش را می‌توان به قدرت رشد رویشی کمتر گیاه تحت شرایط تنش کم‌آبی که از کاهش در صفاتی چون طول ساقه، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های فرعی ناشی می‌شود، نسبت داد. در آزمایش حاضر، کاهش منابع و مواد فتوسنتزی به‌دلیل کاهش سطح برگ‌ها در اثر رژیم آبیاری نامطلوب باعث کم شدن تعداد طبق در بوته گردید.

محققان در مطالعه‌ای عنوان کردند که اعمال قطع آبیاری از مرحله رشد زایشی باعث کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته در سه رقم گلرنگ سینا، فرامان و محلی اصفهان شد (Farjam *et al.*, 2014). در مطالعه‌ای دیگر محققان گزارش کردند که تنش کم‌آبی با کاهش طول دوره رشد گیاه و هم‌چنین تسریع در ورود به فاز زایشی منجر به کاهش تعداد طبق در بوته می‌شود، هم‌چنین کمبود آبیاری مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه فرعی و در نتیجه تعداد طبق در بوته گلرنگ را کاهش می‌دهد (Bijanazadeh *et al.*, 2022). تنش خشکی با کاهش طول دوره رشد گیاه و هم‌چنین تسریع در ورود به فاز زایشی منجر به کاهش تعداد طبق در بوته می‌شود.

مشاهده‌های رسیدگی فیزیولوژیک از اوایل تا اواخر تیرماه تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه، در ۱۰ بوته انتخابی به‌صورت تصادفی از هر کرت آزمایشی اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه پس از حذف حاشیه‌ها با برداشت کل بوته‌های هر کرت آزمایشی تعیین گردید. در این پژوهش، به‌منظور بدست آوردن وزن هزاردانه از ترازوی دقیق آزمایشگاهی استفاده گردید. سایر صفات نیز به‌صورت زیر اندازه‌گیری شدند: درصد و عملکرد روغن: جهت استخراج روغن از حلال دی اتیل اتر استفاده گردید. بدین منظور دو گرم دانه از هر تیمار به‌صورت کامل پودر گردید و در داخل فالكون‌های ۵۰ سی‌سی ریخته شد. سپس مقدار ۲۰ سی‌سی محلول دی اتیل اتر با استفاده از پیپت روی نمونه‌ها اضافه گردید. از دستگاه ورتکس جهت مخلوط کردن نمونه‌ها استفاده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ و با دمای ۲۰- درجه‌ی سانتی‌گراد در داخل دستگاه سانتریفیوژ قرار گرفتند و سپس فاز جامد از مایع جداسازی و تحت شرایط خلاء روغن از حلال جداسازی و جمع‌آوری گردید. درصد روغن از طریق رابطه‌ی وزن روغن تقسیم بر مقدار ماده خشک ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد (Zahedifard *et al.*, 2014).

برای محاسبه عملکرد روغن، درصد روغن در عملکرد دانه ضرب شده و عدد حاصل به‌عنوان عملکرد روغن در هکتار در محاسبات آماری استفاده شد.

دمای برگ: برای اندازه‌گیری دمای برگ با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل 825-T₂ ساخت کارخانه تستو ایتالیا اندازه‌گیری شد. تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و دمای آن‌ها اندازه‌گیری و میانگین مربوطه تعیین شد. هم‌چنین اندازه‌گیری دمای برگ بین ساعات ۱۱ الی ۱۴ صورت گرفت. شاخص سبزی‌نگی: برای این منظور در مرحله حداکثر رشد رویشی (اوایل دوره پر شدن دانه) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD شاخص سبزی‌نگی در پنج بوته و از لایه‌های بالایی کانونی (برگ‌های جوان توسعه یافته) در یک برگ انتخاب شده اندازه‌گیری شد.

قبل از تجزیه آماری، تست نرمال بودن داده‌ها انجام و سپس تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری صفات مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ تحت تنش کم‌آبی

Table 2- The results of analysis of variance of studied traits in autumn safflower genotypes under water stress

میانگین مربعات									
Mean Squares									
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	شاخص کلروفیل	دمای برگ
Sources of Variation	df	Petal Number per plant	Seed Number of Petal	Seed thousand Weight	Seed Yield	Oil Percentage	Oil Yield	Chlorophyll Index	Leaf Temperature
تکرار	2	1.61 ^{n.s}	102.61 ^{n.s}	4.21 ^{n.s}	20651.10 ^{n.s}	0.30 ^{n.s}	2073.7 ^{n.s}	** 1087	2.59 ^{n.s}
Replication									
تنش کم‌آبی	1	14.69 ^{**}	3616.01 ^{**}	35.20 ^{**}	** 10525742.04	129.58 ^{**}	1075731.98 ^{**}	16086.69 ^{**}	383.50 ^{**}
Water stress									
خطای اصلی	2	2.01	102.92	0.70	94689.71	0.16	6473.55	188.11	24.71
Error A									
ژنوتیپ	5	2.28 ^{n.s}	51.97 ^{n.s}	10.35 ^{**}	1149088.05 ^{**}	33.88 ^{**}	140248.05 ^{**}	1177.36 ^{**}	6.75 ^{n.s}
Genotype									
ژنوتیپ × تنش	5	0.24 ^{n.s}	35.70 ^{n.s}	2.18 ^{n.s}	400183.93 ^{**}	4.62 ^{**}	34076.56 ^{**}	1554.74 ^{**}	13.25 [*]
* Genotype Stress									
خطای فرعی	20	1.80	51.26	1.29	83930.99	12.91	4809.37	61.03	4.71
Error B									
ضریب تغییرات		9.38	17.29	3.69	13.96	3.31	13.33	11.01	11.79
(C.V) (%)									

* و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد n.s.

n.s., * and ** are respectively insignificant and significant at the probability level of 5% and 1%

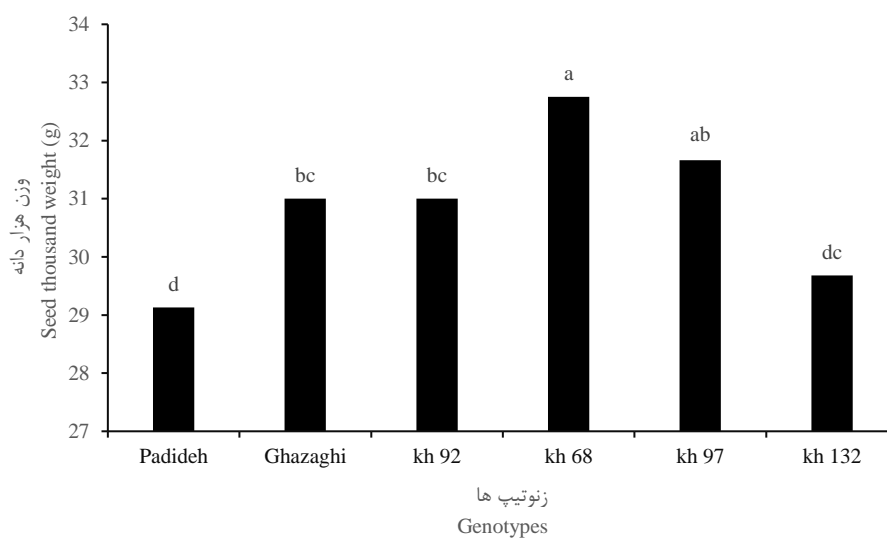
2004) از طرفی می‌توان گفت تنش خشکی باعث کاهش سطح ویژه برگ و دوام سطح برگ در گیاه شده که این وضعیت نیز با کاهش سطح فتوسنتزکننده در طول دوره رشد گیاه باعث کاهش سطح تولید اسیمیلات‌ها شده و در نتیجه تعداد دانه کاهش می‌یابد (Bogati and Walczak, 2022).

وزن هزار دانه

بر اساس اطلاعات بدست آمده مشخص گردید که اثر تنش کم‌آبی روی وزن هزاردانه معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوری که مقدار این صفت، در شرایط نرمال (بدون تنش) و تنش کم‌آبی به ترتیب ۳۱/۸۶ و ۲۹/۸۸ گرم بدست آمد. در نتیجه مقدار وزن هزاردانه در اثر تنش کم‌آبی کاهش یافت. هم‌چنین بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزاردانه مشاهده گردید (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشخص گردید که بیش‌ترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ 68 kh (۳۲/۷۵ گرم) و کم‌ترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ پدیده (۲۹/۱۳ گرم)

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که بروز تنش کم‌آبی از مرحله‌ی گلدهی تأثیر معنی‌داری روی تعداد دانه در طبق داشته (جدول ۲) به طوری که تعداد دانه در طبق، در شرایط نرمال (بدون تنش) و تنش کم‌آبی به ترتیب ۵۱/۴۳ و ۳۱/۳۸ عدد در بوته بود. ولی اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تعداددانه در طبق مشاهده نگردید. به طوری که تعداد دانه در طبق تحت تأثیر شرایط محیطی طی دوران رشد سریع طبق و شروع رشد مغز دانه قرار می‌گیرد و تعداد دانه در طبق می‌تواند از قبل از شروع گرده‌افشانی تا مدتی پس از آن تغییر کند (Sehgal *et al.*, 2018). ماده خشک ذخیره شده در بذر عمدتاً نتیجه فتوسنتز انجام شده (فتوسنتز جاری) می‌باشد، بنابراین در اثر تنش خشکی تعداد آغازهای گل کاهش می‌یابد و تعداد دانه در طبق کمتری تولید می‌گردد. به نظر می‌رسد کاهش جریان فرآورده‌های فتوسنتزی به تخمک‌های لقاح یافته در اواخر مرحله گلدهی که از نظر نیاز آبی بحرانی می‌باشد، باعث سقط دانه‌ها و افت تعداد دانه در طبق می‌گردد (Koutroubas *et al.*, 2004; Pasban Eslam, 2004).

تنش خشکی احتمالاً می‌تواند به این دلیل باشد که وقوع تنش موجب کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده شده است. در آزمایشی نشان داده شده است که از بین اجزای عملکرد، وزن هزاردانه در تعیین عملکرد دانه گلرنگ نقش برجسته‌ای دارد (Koutroubas *et al.*, 2004). نتایجی که در این تحقیق بدست آمده با نتایج سایر محققین (Mahmoudieh champiri, 2012) مبنی بر وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر صفت وزن هزاردانه، مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Figure 1- Mean comparison of seed thousand weight of studied genotypes

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش LSD می‌باشد.

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level by LSD method.

خشکی می‌باشد (جدول ۳). به دنبال افت آب قابل استفاده خاک، پتانسیل آب گیاه و کاهش تعرق، دمای برگ افزایش می‌یابد. بدیهی است کمبود آب برگ با بسته شدن روزنه‌ها و افت تعرق، افزایش دمای برگ و در نهایت کاهش عملکرد را باعث می‌شود (Bagheri *et al.*, 2013). به نظر می‌رسد که بتوان از شاخص دمای تاج پوشش برگی برای بررسی بازتاب اثرات تنش خشکی و ارزیابی تحمل به خشکی ارقام گلرنگ پاییزه استفاده نمود.

در آزمایشی، دمای برگ، شاخص مناسبی در نشان دادن اثرات خشکی روی ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ گزارش شده است (Pasban Eslam, 2011). امروزه اندازه‌گیری دمای برگ و تاج

بود (شکل ۱). بدیهی است که کمبود آب در طول دوره پر شدن دانه‌ها با کاهش فتوسنتز جاری و پشتیبانی کمتر مخزن دانه، باعث ایجاد دانه‌های سبک‌تری شده است.

به طور کلی وزن هزاردانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود که به نظر می‌رسد در تیمارهای قطع آبیاری، این مؤلفه‌ها از سرعت و مدت کمتری نسبت به شرایط عدم تنش برخوردار بودند (Sinaki *et al.*, 2007). در این تحقیق نیز دلیل کاهش وزن هزاردانه در شرایط

دمای برگ

بر اساس نتایج بدست آمده، مشخص گردید اثر متقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ نیز روی دمای برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). به طور کلی تنش کمبود آب در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش گلرنگ پاییزه باعث افزایش دمای برگ گردید، به طوری که دمای برگ دو ژنوتیپ kh 132 (۲۴/۱۶ درجه سانتی‌گراد) و قزاقی (۲۲/۳۳ درجه سانتی‌گراد) در شرایط اعمال تنش به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده که این موضوع می‌تواند ناشی از حساسیت بیشتر این دو ژنوتیپ به شرایط تنش باشد. همچنین کم‌ترین دمای برگ به ژنوتیپ‌های پدیده، kh 68 و kh 92 اختصاص داشت که نشان‌دهنده مقاومت آن‌ها نسبت به تنش

مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند (Schutz and Fangmier, 2001). شاخص کلروفیل به‌عنوان یک معیار سنجش برای بررسی تأثیر تنش‌های محیطی، از جمله تنش آب برگونه‌های زراعی و تعیین میزان مقاومت به کم‌آبی در آن‌ها پیشنهاد شده است. زیرا کم‌آبی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود و محققان عنوان کردند که تنش خشکی از طریق فعالیت آنزیم‌های کلروفیل‌از و پراکسیداز در گیاه باعث تخریب کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Misra and Sricastatva, 2000). مقدار کلروفیل از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت فتوسنتزی گیاهان است، زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده تأثیرگذار می‌باشد. کاهش محتوای کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است و حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند (Sherin et al., 2022).

عملکرد دانه

براساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که اثر متقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ روی عملکرد دانه در گلرنگ معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفت عملکرد دانه مشخص گردید که تنش کم‌آبی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گلرنگ پاییزه باعث کاهش عملکرد دانه گردید ولی در دو ژنوتیپ 132 kh (۹۵۵/۳) کیلوگرم در هکتار) و 92 kh (۱۳۲۳/۵) کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه، تحت تنش اعمال شده به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد (جدول ۳). دلیل کاهش عملکرد دانه در این دو ژنوتیپ را می‌توان ناشی از افزایش دمای برگ که به دنبال آن کلروفیل، فتوسنتز و در نتیجه تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه کاهش می‌یابد، دانست. به‌عبارتی دیگر احتمال دارد تنش خشکی باعث کاهش فتوسنتز جاری شده و روی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از لندام‌های گیاهی به دانه تأثیر منفی گذاشته و در نتیجه دانه‌های کمتر و سبک‌تری (چروکیدگی) در داخل طبق تشکیل گردد. همچنین در آزمایش حاضر ژنوتیپ پدیده بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت. نتایج

پوششی برگی به‌عنوان روشی متداول برای ارزیابی شدت تنش خشکی در گیاهان زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Durigon and van Lier, 2013) به‌طور کلی دمای تاج پوشش برگی با تنش خشکی همبستگی مثبت دارد. همچنین پژوهشگران عنوان کردند که یکی از مکانیسم‌های اصلی مقاومت به خشکی در گیاهان کاهش میزان تعرق از طریق بستن روزنه‌ها می‌باشد که نتیجه این امر افزایش دمای پوشش گیاهی و میزان آب حفظ شده برگ می‌باشد. با محدودیت دسترسی به آب، تعرق کاهش یافته و متعاقب آن دمای برگ‌ها به‌خاطر تداوم جذب تششع افزایش می‌یابد (Karimizadeh and Mohammadi, 2011).

شاخص کلروفیل (اسپد)

براساس نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید که اثر متقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ روی شاخص کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۲).

در اکثر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تنش کم‌آبی موجب کاهش شاخص کلروفیل در گیاه گلرنگ گردید ولی در دو ژنوتیپ 97 kh (۴۳/۶۷) و 132 kh (۴۸/۳۳) شاخص کلروفیل در شرایط اعمال تنش به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد که این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ، پیری زودرس برگ‌ها و تغییر در ساختار رنگدانه‌ها باشد. همچنین ژنوتیپ‌های پدیده، 68 kh و 92 kh دارای بیش‌ترین شاخص کلروفیل بودند به‌عبارتی این ژنوتیپ‌ها دارای دمای برگ کمتری بودند، بنابراین به تنش کم‌آبی مقاوم‌تر بوده و محتوای کلروفیل افزایش داشته است (جدول ۳). کاهش محتوای کلروفیل در تنش خشکی به‌علت کاهش عوامل لازم برای سنتز کلروفیل و تخریب ساختمان آن است؛ به این معنا که کاتابولیسم کلروفیل در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد و علت عمده آن علاوه بر موارد یاد شده، پیری زودرس برگ‌ها در اثر اختلال هورمونی ناشی از تنش خشکی است (Kafi and Rustami, 2009).

مطالعات نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی موجب تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش مقدار کلروفیل برگ و تخریب تشکیلات فتوسنتزی می‌گردد. در شرایط تنش، با وجود افزایش وزن مخصوص برگ، شدت تخریب کلروفیل نیز افزایش می‌یابد. کاهش میزان کلروفیل‌ها در شرایط تنش

بوته‌های گلرنگ در طول فصل رشد، عملکرد دانه و اجزای آن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Noroozi and Kazemeini, 2013).

درصد و عملکرد روغن

براساس نتایج بدست آمده از تجزیه‌ی واریانس مشخص گردید که اثر متقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ روی درصد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه گردید اما در دو ژنوتیپ kh 92 و kh 132 (۱۶/۸ درصد) و kh 132 (۲۱/۷۳ درصد) میزان کاهش بیشتر بود. به عبارتی حساسیت این دو ژنوتیپ به تنش کم‌آبی نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر بیشتر بود (جدول ۳).

در آزمایش حاضر ژنوتیپ پدیده در هر دو حالت آبیاری کامل و تنش کم‌آبی بیش‌ترین درصد روغن را کسب کرد. هم‌چنین این ژنوتیپ از شاخص کلروفیل بالاتر و دمای برگ کمتری برخوردار بود. نتایج مطالعه اثرات تنش خشکی روی روغن دانه و ترکیبات آن در گلرنگ نشان داد که کمبود آب باعث کاهش معنی‌دار درصد روغن دانه شد (Ashrafi and Razmjoo, 2010). اصولاً درصد روغن یک صفت کمی است و توسط چندین ژن کنترل می‌شود، بنابراین آسیب دیدن تعداد زیادی از ژن‌های کنترل کننده سننتر روغن دانه در اثر تنش خشکی بعید به نظر می‌رسد. از این رو کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی جزئی است (Jensen et al., 1996). در ارتباط با تأثیر تنش رطوبتی بر صفت درصد روغن در گیاهان دانه روغنی گزارش‌های متفاوت و حتی متناقضی موجود است. به‌طوری‌که برخی گزارش دادند که تنش خشکی باعث کاهش درصد روغن دانه می‌گردد (Rudranaik et al., 2001). در آزمایشی وقوع تنش خشکی طی مرحله پر شدن دانه موجب افت ۱ تا ۲ درصدی روغن دانه شده است (Mirshekari et al., 2013).

براساس نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس، مشخص گردید که اثر متقابل تنش کم‌آبی و ژنوتیپ روی عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در مورد عملکرد روغن مشخص گردید که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه

تحقیق حاضر نشان داد که تحت تنش کم‌آبی، عملکرد دانه در ژنوتیپ پدیده بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود که ممکن است به‌دلیل سازگاری بهتر این رقم با شرایط تنش آبی از مراحل گلدهی تا بلوغ بذر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها باشد. عملکرد گیاهان زراعی مختلف تحت تأثیر مقدار آب آبیاری، مرحله رشدی گیاه و هم‌چنین ژنوتیپ متفاوت است و معمولاً با افزایش تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد. در آزمایش حاضر از بین اجزای عملکرد دانه گلرنگ پاییزه اثر تنش کم‌آبی روی تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه معنی‌دار شده و در نهایت روی عملکرد دانه منعکس گردید. بنابراین چنین استنباط می‌شود که در طی دوره پر شدن دانه‌ها با کاهش جریان فرآورده‌های فتوسنتزی به سوی دانه‌ها، آن‌ها از وزن کمتری برخوردار شده و در نهایت وزن هزاردانه و عملکرد دانه کاهش یافته است. نتایج این آزمایش نشان دادند که کمبود آب در طول دوره پر شدن دانه‌ها با کاهش وزن هزاردانه، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه را کاهش داد.

در مورد گیاه گلرنگ پژوهشگران متعددی گزارش کردند که تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در این گیاه می‌گردد که با نتایج تحقیق حاضر در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ مطابقت دارد. در مطالعه‌ی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ تحت تنش کم‌آبی مورد مطالعه قرار گرفتند و نتایج نشان داد همه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش در مقایسه با عدم تنش کاهش معنی‌داری در میزان عملکرد دانه داشتند و در بین ژنوتیپ‌ها، گلدشت مقاومت بیشتری نسبت به تنش نشان داد و میزان کاهش عملکرد در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها کمتر بود (Bijanazadeh et al., 2022). پژوهشگران گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود (Farrokhinia et al., 2011).

محققان گزارش کردند که کمبود آب در مراحل مختلف رشد، فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه (نظیر تشکیل و پر شدن دانه) را کاهش داده و از این طریق عملکرد دانه را می‌کاهد (Jabbari Orange and Ebadi, 2011). در یک مطالعه نشان داده شد که با اعمال تنش کمبود آب روی

2011) گزارش شده است که تنش شدید کم‌آبی سبب کاهش مقدار روغن تولیدی در گلرنگ می‌شود و با کاهش بیشتر مقدار اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه و افزایش نسبت اسیدهای چرب اشباع، در نهایت موجب بالا رفتن درجه اشباع بودن روغن گلرنگ می‌گردد که با نتایج تحقیق حاضر روی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مطابقت دارد (Hamrouni et al., 2001).

تجزیه همبستگی بین صفات

با کمک تجزیه همبستگی پیرسون می‌توان اثر صفات غیر مؤثر یا کم تاثیر را در مدل رگرسیونی روی عملکرد حذف نموده و تنها صفاتی را که میزان قابل ملاحظه‌ای از تغییرات عملکرد را توجیه می‌کنند مورد بررسی قرار داد. بنابراین تجزیه ضرایب همبستگی صفات مختلف با عملکرد دانه به تصمیم‌گیری در مورد اهمیت نسبی این صفات و ارزش آن‌ها به‌عنوان معیارهای انتخاب کمک می‌کند (Al-Ashkar et al., 2021). شناسایی صفات مهم در گلرنگ و یا به‌عبارتی شناسایی همبستگی بین صفات با عملکرد دانه و روغن در این گیاه از اهمیت ویژه‌ای در تحقیقات به‌نژادی برخوردار می‌باشد (Bijanazadeh et al., 2022). جهت ارزیابی ارتباط بین صفات مورد مطالعه در این پژوهش از ضرایب همبستگی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده، ضرایب همبستگی عملکرد دانه با درصد روغن (۰/۸۳)، عملکرد روغن (۰/۹۹۱)، تعداد طبق در بوته (۰/۷۶۸)، تعداد دانه در طبق (۰/۷۰۱) مثبت و معنی‌دار بود که بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی به عملکرد روغن اختصاص داشت (جدول ۴). بنابراین بیش‌ترین تأثیر تنش خشکی روی عملکرد روغن از طریق تغییر روی درصد روغن، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق اعمال گردیده است. طبق بررسی‌های پژوهشگران، صفاتی مانند ارتفاع بوته و حجم نهایی بوته از مهم‌ترین ویژگی‌هایی هستند که به‌طور غیرمستقیم در تعیین عملکرد دانه نقش دارند (Jakson, 1995). پژوهشگران دریافته‌اند که تعداد روز تا شروع گلدهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه اصلی، تعداد طبق در بوته و قطر طبق در ارقام مختلف گلرنگ، تفاوت معنی‌داری از خود نشان داده و اثر قطر طبق را مهم‌ترین عامل غیر مستقیم در جهت افزایش عملکرد دانسته‌اند (Mathur et al., 1996). محققان گزارش نمودند که ضرایب همبستگی

گردید ولی در دو ژنوتیپ kh 92 (۲۲۳/۰۷ کیلوگرم در هکتار) و kh 132 (۲۰۷/۲۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد روغن در شرایط اعمال تنش به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد و نشان از افت شدید این صفت در ژنوتیپ‌ها دارد که می‌تواند ناشی از حساسیت بیشتر این ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش باشد و همچنین تنش کم‌آبی باعث کاهش طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن هزاردانه و عملکرد دانه و درصد روغن می‌شود. ژنوتیپ پدیده در هر دو شرایط آبیاری کامل (بدون تنش) و تنش کم‌آبی بیش‌ترین عملکرد دانه را کسب کرد، که نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای برتری معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین این ژنوتیپ از شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق بالاتری نیز برخوردار بود و از آنجایی که بین عملکرد روغن با تعداد دانه در طبق و تعداد طبق در بوته همبستگی مثبت وجود دارد بنابراین ژنوتیپ پدیده مقاومت بالایی در برابر تنش خشکی داشته و عملکرد روغن بالاتری دارد. در مطالعه‌ای بررسی ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و عملکرد روغن اختلاف معنی‌داری وجود دارد (Paban-Eslam, 2004). ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ نشان داد که بروز تنش کم‌آبی در هر دو مرحله گلدهی و پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته، وزن خشک بوته و عملکرد دانه و روغن گردید. در آزمایشی که با تیمارهای سطوح مختلف آبیاری براساس ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی روی گلرنگ انجام گرفت، بیش‌ترین عملکرد روغن به مقدار ۴۰۷/۲ کیلوگرم در هکتار با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین عملکرد روغن نیز به مقدار ۲۹۷/۷ کیلوگرم در هکتار با تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بدست آمد؛ در این گزارش آمده است که با اعمال تنش کم‌آبی در گلرنگ، عملکرد روغن به شدت کاهش یافت ولی با افزایش شدت تنش در سطوح بعدی، افت عملکرد روغن با شدت کمتری انجام شد (Ferasat et al., 2008).

در تحقیقی با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ۲۶ رقم، لاین و جمعیت گلرنگ در دو سال در شرایط نیمه‌خشک مشاهده شد که ارقام Hartinan, Syria Hama و لاین s-541-2 دارای بیش‌ترین عملکرد دانه و لاین‌های s-541-2 و s-541-2 دارای بیش‌ترین محتوای روغن بودند (Beyyavas et al., 2008).

و همچنین بین عملکرد دانه و وزن هزاردانه در گلرنگ وجود دارد (Bratulin, 1993). گزارش شده است که صفات قطر طبق، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق می‌توانند به‌عنوان بهترین شاخص‌های انتخاب در جهت افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد استفاده قرار بگیرند (Arsalan, 2007). پژوهشگران نیز صفات وزن هزاردانه و تعداد دانه در طبق را به‌عنوان بهترین شاخص‌های انتخاب مؤثر برای بهبود ژنتیکی عملکرد دانه ارقام گلرنگ بهاره در شرایط معمول رطوبتی معرفی نمودند (Mozaffari and Asadi, 2006).

ژنوتیپی بین عملکرد دانه و تعداد شاخه در گیاه، تعداد روز تا گلدهی و تعداد دانه در طبق در ژنوتیپ‌های گلرنگ مثبت بوده و تعداد طبق مهم‌ترین صفت برای افزایش عملکرد دانه می‌باشد (Elfadl *et al.*, 2009). در مطالعه‌ای دیگر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ مشخص شد که عملکرد دانه با صفات تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق همبستگی معنی‌داری داشت و نتایج تجزیه رگرسیون مرحله‌ای نشان داد که تعداد دانه در طبق و تعداد طبق در بوته بیش‌ترین سهم را در توجیه تغییرات عملکرد دانه داشتند (Amini *et al.*, 2008). گزارش شده است که رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد طبق در دانه

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص کلروفیل و دمای برگ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی

Table 3- Mean comparison of seed yield, oil content, oil yield, flower weight, chlorophyll index and leaf temperature of studied under normal conditions (no stress) and water stress genotypes

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد به روش LSD می‌باشد

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level by LSD method

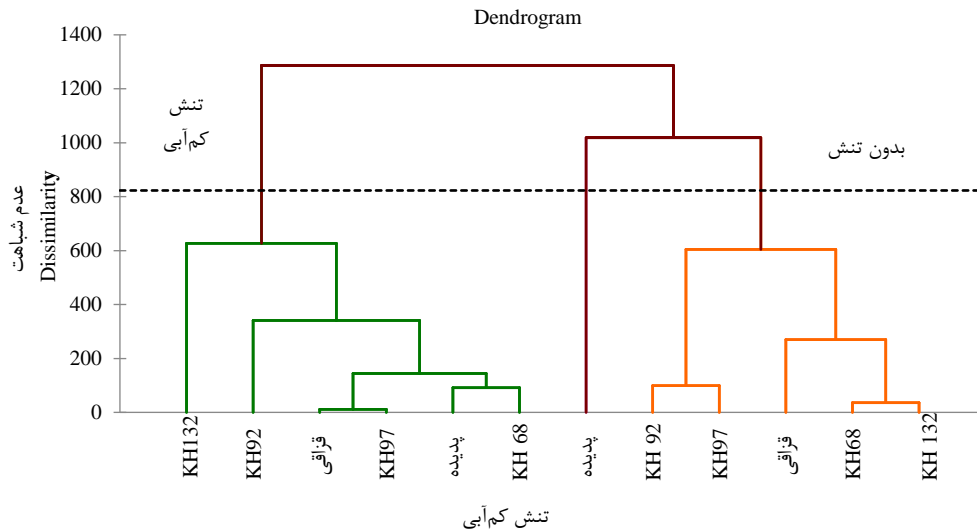
تنش کم‌آبی Water stress	ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	درصد روغن Oil content (%)	عملکرد روغن Oil yield (kg ha ⁻¹)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	دمای برگ Leaf temperature (°C)
بدون تنش آبی Without water stress	Padideh	3476.7 ^a	29.43 ^a	1023.25 ^a	52 ^c	15 ^{abc}
	Ghazaghi	2598.3 ^{bc}	25.1 ^c	651.73 ^{bc}	134 ^a	12.33 ^c
	KH 92	1733.1 ^d	22.76 ^d	393.65 ^d	93.5 ^b	17.5 ^{ab}
	KH 68	2855.8 ^b	26.76 ^b	764.37 ^b	77.33 ^b	13.83 ^{bc}
	KH 97	2202.9 ^c	26.26 ^b	578.46 ^c	118 ^a	17.83 ^a
تنش کم‌آبی Water stress	KH 132	2826 ^b	26.33 ^b	745.33 ^b	77.5 ^b	14.33 ^{abc}
	Padideh	2162.6 ^a	24.3 ^a	524.23 ^a	50.67 ^a	21 ^a
	Ghazaghi	1554.4 ^b	23.9 ^a	372.51 ^b	48.67 ^a	22.33 ^a
	KH 92	1323.5 ^{bc}	16.8 ^c	223.09 ^c	51 ^a	20.33 ^a
	KH 68	1652.1 ^{ab}	23.66 ^a	391.41 ^b	56.33 ^a	20.5 ^a
	KH 97	1556.2 ^b	23.5 ^a	363.99 ^b	43.67 ^a	21.66 ^a
	KH 132	955.3 ^c	21.73 ^b	207.22 ^c	48.33 ^a	24.16 ^a

تجزیه ضرایب مسیر عملکرد دانه نشان داد که وزن هزاردانه، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق بیش‌ترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند (Mohammadi *et al.*, 2012). در یک آزمایش نشان دادند که بین عملکرد دانه با صفات تعداد روز تا ظهور اولین گل، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته و وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (Bagheri *et al.*, 2001). همچنین براساس نتایج بدست آمده ضرایب همبستگی دمای برگ با تعداد دانه در طبق (۰/۸۳۹-)،

محققان در مطالعه‌ای عنوان کردند که عملکرد روغن، تعداد طبق در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته، همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه گلرنگ داشتند و تجزیه مسیر نشان داد که وزن هزاردانه و تعداد طبق در بوته بیش‌ترین تأثیر مستقیم بر عملکرد روغن و عملکرد دانه را داشتند (Naserirad *et al.*, 2013). در پژوهش دیگری نشان داده شد که عملکرد دانه با ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق و تعداد طبق در بوته دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود ولی

(جدول ۴). به عبارتی بین افزایش و کاهش میزان دمای برگ با مقدار صفات ذکر شده رابطه معکوس وجود داشت.

تعداد طبق در بوته (۰/۷۲۷-)، عملکرد روغن (۰/۸-)، درصد روغن (۰/۵۸-) و عملکرد دانه (۰/۸۵-) منفی و معنی‌داری بود



شکل ۲- گروه بندی ژنوتیپ های گلرنگ بر اساس میانگین صفات مورد ارزیابی به روش Ward و مربع فاصله اقلیدسی در شرایط نرمال (بدون تنش) و تنش کم‌آبی

Figure 2- Grouping of safflower genotypes based on the average traits evaluated by Ward and distance square method Euclidean in normal conditions (no stress) and water stress.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تنش کم‌آبی

Table 4- Correlation coefficients between studied traits under water stress conditions

صفات	عملکرد دانه	وزن هزاردانه	درصد روغن	تعداد طبق در بوته عملکرد روغن	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	شاخص کلروفیل	دمای برگ
Characteristics	Seed Yield	Seed Thousand Weight	Oil Percentage	Oil Yield	Petal Number	Seed Number of Petal	Chlorophyll Index	Leaf Temperature
عملکرد دانه	1							
Seed Yield								
وزن هزاردانه	0.262	1						
Seed Thousand Weight								
درصد روغن	0.83 **	0.254	1					
Oil Percentage								
عملکرد روغن	0.991 **	0.238	0.88 **	1				
Oil Yield								
تعداد طبق در بوته	0.768 **	0.482	0.722 **	0.757 **	1			
Petal Number								
تعداد دانه در طبق	0.701 *	0.573 *	0.489	0.678 *	0.617 *	1		
Seed Number of Petal								
شاخص کلروفیل	0.346	0.739 **	0.278	0.299	0.575 *	0.678 *	1	
Chlorophyll Index								
دمای برگ	-0.85 **	-0.549	-0.58*	**0.8	-0.727**	-0.839 **	-0.672 *	1
Leaf Temperature								

n.s, * and ** are respectively insignificant and significant at the probability level of 5% and 1%

جدول ۵- میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر براساس صفات مورد ارزیابی در شرایط نرمال (بدون تنش) و تنش کم آبی

Table 5- The average of the groups resulting from the cluster analysis based on the evaluated traits in normal conditions (no stress) and water stress

خوشه	ژنوتیپ	تعداد طبقه	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	شاخص کلروفیل	دمای برگ		
Cluster	Genotype	Petal number	Seed number of Petal	Seed thousand weight (g)	Seed yield (kg ha ⁻¹)	Oil (%)	Oil yield (kg ha ⁻¹)	Chlorophyll index	Leaf Temperature (°C)		
1	kh 132 Padideh	میانگین Average	12.66	52.93	29.9	3476.7	29.43	1023.25	52	15	
2	kh 92, Ghazaghi, kh 97, kh 92	میانگین Average	12.13	47.48	31.55	2529.19	25.75	652.82	91.5	15.86	
		درصد انحراف از میانگین کل	Percentage deviation from the total average	(0.62±)	(7.04±)	(1.96±)	(296.78±)	(0.91 ±)	(92.81±)	(30.24±)	(3.14±)
3	kh 68, Ghazaghi, kh 132	میانگین Average	11	34.43	30.46	1462.43	22.06	325.31	56.92	21.08	
		درصد انحراف از میانگین کل	Percentage deviation from the total average	(0.65±)	(9.08±)	(1.24±)	(259.16±)	(2.46±)	(78.7±)	(16.79±)	(2.05±)
		میانگین کل	Total Average	11.74	42.95	30.82	2242.62	24.82	578.09	23.71	17.89

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای به منظور اندازه‌گیری و تعیین فواصل ژنتیکی، دوری یا نزدیکی و خویشاوندی بین ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف یک متخصص اصلاح نباتات از دسته‌بندی ارقام و لاین‌های مختلف، پی بردن به فاصله‌ی ژنتیکی بین آن‌ها و استفاده از تنوع ژنتیکی موجود در آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی می‌باشد (Anderberg, 1973). شکل ۲ دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گلرنگ براساس میانگین صفات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس تجزیه خوشه‌ای در محل فاصله اقلیدسی توانست ژنوتیپ‌ها را در شرایط بدون تنش (نرمال) در سه گروه قرار دهد (شکل ۲). در گروه اول ژنوتیپ kh 132، در گروه دوم ژنوتیپ‌های قزاقی، kh 92 و kh 97 و در گروه سوم ژنوتیپ‌های پدیده و kh 68 قرار گرفتند. در حالت تنش کم آبی ژنوتیپ‌های گلرنگ در دو گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲) که در گروه اول

ژنوتیپ‌های پدیده، قزاقی و kh 97 و در گروه دوم ژنوتیپ‌های kh 92, kh 68 و kh 132 قرار گرفتند. تحلیل خوشه‌ای عنوان کلی برای یک سلسله از روش‌های ریاضی است که برای پیدا کردن شباهت بین مواد در یک مجموعه به کار می‌رود. هدف بسیاری از فعالیت‌های تحقیقاتی پی بردن به این موضوع است که کدام یک از مواد موجود در یک طبقه، مشابه یا متفاوت هستند؛ از این رو، این روش بهترین روش طبقه‌بندی است. در این روش گروه‌هایی که دارای شباهت بیش‌تری با یکدیگر هستند در یک گروه قرار می‌گیرند. روش‌های متفاوتی برای تشکیل خوشه‌های تراکمی در روش تحلیل خوشه‌ای وجود دارد مانند روش پیوند تکی، پیوند متوسط، پیوند کامل، روش وارد و روش مرکز ثقل، این روش‌ها از نظر نحوه محاسبه فاصله بین خوشه‌ها از هم متفاوت‌اند. انتخاب هر کدام از این روش‌ها بستگی به داده‌های آماری و هدف برنامه‌ریزی دارد (Hekmatnia, and Mousavi, 2006) میانگین و درصد انحراف ژنوتیپ‌های

بیش‌ترین شاخص کلروفیل و کم‌ترین دمای برگ به ژنوتیپ پدیده اختصاص داشت که نشان‌دهنده مقاومت آن نسبت به تنش خشکی است، همچنین نتایج اثر متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن در ژنوتیپ پدیده تحت شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی و کم‌ترین مقادیر صفات نامبرده در ژنوتیپ‌های kh 132 و kh 92 بدست آمد. میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه کلاستر، مشخص کرد که ژنوتیپ‌های گروه اول (پدیده و kh 132) به‌علت داشتن عملکرد دانه و روغن بالا و نیز ژنوتیپ‌های گروه دوم (قزاقی، kh 92 و kh 97) به‌دلیل این‌که از نظر صفاتی نظیر عملکرد دانه و روغن دارای بیش‌ترین درصد انحراف نسبت به میانگین کل بودند، بنابراین نسبت به تنش کم‌آبی مقاوم می‌باشند. همچنین ژنوتیپ‌های گروه سوم (قزاقی، kh 68 و kh 132) به‌دلیل این‌که دارای عملکرد دانه و روغن پایین‌تری بودند و نیز دارای درصد انحراف کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های گروه دو بودند، در گروه‌های حساس به تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. براساس نتایج تجزیه همبستگی، مشاهده گردید که بین عملکرد دانه با تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بنابراین تعداد طبق در بوته یکی از مهم‌ترین اجزا در افزایش عملکرد دانه‌ی گلرنگ می‌باشند. براساس گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به‌عنوان گروه‌های حساس و مقاوم به تنش کم‌آبی، با کشت ژنوتیپ‌های متحمل نسبت به کم‌آبی می‌توان در این دشت‌های وسیع که به‌علت شور و خشک شدن خاک آن‌ها، امکان کشت سایر محصولات پرپازده از بین رفته است، محصولی قابل قبول از نظر اقتصادی تولید کرد.

مورد مطالعه حاصل از تجزیه کلاستر در شرایط نرمال و تنش در جدول ۵ درج شده است. ژنوتیپ‌های گروه اول از نظر میانگین تعداد طبق در بوته، وزن هزاردانه و درصد روغن تقریباً نزدیک به متوسط کل ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های گروه دوم از نظر میانگین صفاتی نظیر تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن تقریباً نزدیک به متوسط کل ژنوتیپ‌ها بودند. از طرف دیگر ژنوتیپ‌های این گروه از نظر عملکرد دانه و عملکرد روغن بیش‌ترین درصد انحراف از میانگین کل ژنوتیپ‌ها را نشان دادند. ژنوتیپ‌های گروه سوم از نظر میانگین صفاتی نظیر تعداد طبق در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن نزدیک به متوسط کل ژنوتیپ‌ها بودند. همچنین ژنوتیپ‌های این گروه از نظر صفاتی مانند عملکرد دانه و روغن دارای درصد انحراف بیشتری نسبت به بقیه صفات بودند. پژوهشگران نشان دادند که گروه‌بندی با تجزیه خوشه‌ای مناسب‌تر است، چرا که از تمام اطلاعات صفات استفاده می‌کند (Ehteshami *et al.*, 2009). (Rahimi *et al.*, 2015) از تکنیک تحلیل خوشه‌ای به‌عنوان روشی برای کاهش داده‌ها، از این حیث که مشاهدات در هر خوشه می‌تواند به نمایندگی میانگین سایر مشاهدات در آن خوشه باشد نام برده‌اند (Shannon *et al.*, 2003).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج مشخص گردید که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در صفات وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص کلروفیل و دمای برگ تحت شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. به‌طوری‌که

References

- Al-Ashkar, I., Ibrahim, A., A. Ghazy, A., Attia, K., Al-Ghamdi, A. A., and Al-Dosary, M. A., 2021. Assessing the correlations and selection criteria between different traits in wheat salt-tolerant genotypes. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(9), pp.5414-5427. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.05.076
- Amini, F., Saeidi, G., and Arzani, A., 2008. Relationship among seed yield and its components in genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *JWSS - Isfahan University of Technology*, 12(45), pp.525-535. [In Persian].
- Anderberg, M. R., 1973. Cluster analysis for applications. Academic press. New York, 359 pp. doi: 10.1016/c2013-0-06161-0

- Arsalan, B., 2007. Assessing heritability and variance components of yield and some agronomic traits of different safflower cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(3), pp.554-557. doi: **10.3923/ajps.2007.554.557**
- Ashrafi, A., and Razmjoo, J., 2015. The effect of seed treatment under salinity and drought stress conditions on safflower plant germination. *Academic Jihad Scientific Information Center Database*, 28(106), pp.65-75. [In Persian].
- Ashrafi, E., and Razmjoo, K., 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. *Journal of the American Chemists Society*, 87, pp.499-506. doi: **10.1007/s11746-009-1527-8**
- Bagheri, A., Yazdi Samadi, B., Taib, B., and Ahmadi, M. R., 2001. Investigating the correlation and relationships between yield and other quantitative and qualitative traits of saffron. *Journal of Agricultural Science*, 32(2), pp.307-295. [In Persian].
- Bagheri, H., Andalibi, B., and Azimi Moghaddam, M., 2013. Effect of atrazine anti-transpiration application on improving physiological traits. Yield and yield components of safflower under rainfed condition. *Journal of Crop Improvement*, 14(2), pp.1-16. [In Persian]. doi: **10.22059/jci.2013.29497**
- Beyyavas, V., Haliloglu, H., Copur, O., and Yilmaz, A., 2011. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid condition. *African Journal of Biotechnology*, 10(4), pp.527-534. doi: **10.5897/ajb09.1395**
- Bijanzadeh, E., Moosavi, S. M., and Bahadori, F., 2022. Quantifying water stress of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by crop water stress index under different irrigation regimes. *Heliyon*, 8(3). doi: **10.1016/j.heliyon.2022.e09010**
- Bogati, K., and Walczak, M., 2022. The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and Plants. *Agronomy*, 12(1), 189. doi: **10.3390/agronomy12010189**
- Bortolheiro, F., and Silva, M.A., 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. *Annals of the Brazilian Academy of Science*, 89, pp.3051-3066. doi: **10.1590/0001-3765201720170475**
- Bratuliu, C., 1993. Studies of some genetic resources under rain condition in Moldavia. Proceedings of the Third International Safflower Conference. *China*. 9-13 June, Pp 196-205.
- Durigon, A., and Van Lier, Q. D. J., 2013. Canopy temperature versus soil water pressure head for the prediction of crop water stress. *Agricultural Water Management*, 127, PP.1-6. doi: **10.1016/j.agwat.2013.05.014**
- Ehteshami, S. M., Ramezani, M., and Frozi, M., 2015. The selection of top genotypes in forage corn using multivariate methods in Varamin region. *Journal of Plant Ecology*, 7, pp.98-111. [In Persian].
- Elfadl, E., Reinbrecht, C., and Claupein, W., 2009. Evaluation of phenotype variation in a world germplasm collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under organic farming conditions in Germany. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(2), pp. 155-170. doi: **10.1007/s10722-009-9458-7**
- Emongor, V. E., and Emongor, R. A., 2023. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In *Neglected and Underutilized Crops* (pp. 683-731). Academic Press.

- Farasat, M., Sajedi, N., and Mirzakhani, M., 2012. Evaluation of effect of drought stress on yield and yield components of safflower genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2), pp.346-353. [In Persian].
- Farjam, S., FarRokhzadi, A., Mohammadi, H., and Qala-Shakhani, S., 2014. The effect of irrigation interruption stress and salicylic acid foliar application on growth, yield and yield components of three spring safflower cultivars. *Journal of Crop Physiology*, 6(23), pp.112-99.
- Farrokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., and Sasandoost, R., 2011. Effect of drought stress on seed yield and several morphological traits of safflower. *Journal of Agricultural Science*, 5(3), pp.545-553. [In Persian].
- Ferasat, M., Sajedi, N., and Mirzakhani, M., 2008. Response of plant traits in four safflower genotypes under water deficit conditions. *New Agricultural Findings*, 3(1), pp.67-81. [In Persian].
- Gecgel, U., Demirci, M., and Esendal, E., 2007. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) varieties sown in spring and winter. *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 1, pp.11-15.
- Hamrouni, I., Ben Salah, H., and Marzouk, B., 2001. Effect of water deficit on lipids of safflower aerial parts . *Journal of Phytopharmacology*, 58, pp. 277-280. doi: 10.1016/s0031-9422(01)00210-2
- Hekmatnia, H., and Mousavi, M., 2006. Evaluation of sustainable urban development indicators in the areas of Yazd city. Collection of articles of the first conference on geography and the 21st century. Isfahan. *Islamic Azad University, Najaf-Abad branch*, 25-38. [In Persian].
- Hussain, M. I., Lyra, D. A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., and Khalid, N., 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, pp.1-31. doi: 10.1007/s13593-015-0344-8
- Istanbulluoglu, A., 2009. Effects of irrigation regimes on yield and water productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Mediterranean climatic condition. *Agricultural Water Management*, 96, pp. 1792-1798. doi: 10.1016/j.agwat.2009.07.017
- Jabbari Orange, M., and Ebadi, G. H., 2011. Effect of supplemental irrigation on nutrient uptake, water relations and drought tolerance of safflower cultivars in Ardabil conditions . *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(2), pp.115-127. [In Persian]. doi:10.22077/escs.2011.88
- Jakson, K.J., 1995. Plant population and moisture usage in safflower, Sesame and Safflower. Status and Potentials, Pp, 26.
- Jensen, C. R., Morgensen, V. O., Mortensen, G., and Fieldsend, J. K., 1996. Glucosinolate, oil and protein of field grown rape affected by soil drying and evaporative demands. *Field Crops Research*, 47, pp.693- 705.
- Kafi, M., and Rustami, M., 2009. Effect of drought stress on yield, yield components and oil percentage of safflower cultivars under irrigated conditions with saline water. *Iranian Journal of Crop Research*, 5(1), pp.132-121. [In Persian].
- Karimizadeh, R., and Mohammadi, M., 2011. Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplementary irrigated and rainfed conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 5(2), 138. doi:10.3316/informit.835205284825916
- Kaya, M. D., 2009. The role of hull in germination and salinity tolerance in some sunflower (*Helianthus annuus* L.)

- cultivars. *African Journal Biotechnol*, 8(4), pp.597–600. doi: **10.5897/ajb2009.000-9100**
- Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K., and Doitsinis, A., 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. *Field Crops Research*, 90, pp.263-274. doi: **10.1016/j.fcr.2004.03.009**
- Kumar, H., 2000. Development potential of safflower in 536comparison to sunflower. Sesame and Safflower Newsletter. *Institute of Sustainable Agriculture*, Spain 5, pp.86-89.
- Mahmoudieh Champiri, R., 2012. Contribution of photosynthesis of inflorescence and upper leaves of four safflower cultivars to yield seeds and its components in Isfahan. Thesis of Master of Agriculture, Faculty of Agriculture. *Isfahan University of Technology*, 25-36. [In Persian].
- Mathur, J. R., Tikka, S. B., Sharman, R. K., and Singh, S. P., 1996. Genetic variability and path coefficient analysis of yield components in safflower. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 8, pp.314- 315.
- Mirshekari, M., Majnoonhoseini, N., Amiri, R., Moslehi, A., and Zandvakili, O.R., 2013. Effects of sowing date and irrigation treatment on safflower seed quality. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15, pp.505-515.
- Misra, A., and Sricastatva, N. K., 2000. Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 7, pp.51-58. doi: **10.1300/J044v07n01_07**
- Mohammadi, M., Sharifi, P., Karimizadeh, R., and Shefazadeh, M. K., 2012. Sequential path analysis for determination of relationships between yield and oil content and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Agricultural Research and Reviews*, 2(4), pp.410-415.
- Mohsenniya, V., and Jalilian, J., 2013. The effect of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, 4(3), pp.245-235. [In Persian].
- Morya, S., Mena, F., Jiménez-López, C., Lourenço-Lopes, C., BinMowyna, M.N., and Alqahtani, A., 2022. Nutraceutical and pharmaceutical behavior of bioactive compounds of miracle oilseeds: An Overview. *Foods*, 11, 1824. doi: **10.3390/foods11131824**
- Mostafavi, K., 2011. 'An evaluation of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.), seed germination and seedling characters in salt stress conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 6(7), pp.1667-1672. doi: **10.5897/ajar10.915**
- Mozaffari, K., and Asadi, A. A., 2006. Relationships among traits using correlation, principal components and path analysis in safflower mutants sown in irrigated and drought stress condition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(6), pp.977-983. doi: **10.3923/ajps.2006.977.983**
- Nabipour, M., Meskarbashee, M., and Yousefpour, H., 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(3), pp.421-426. doi: **10.3923/pjbs.2007.421.426**
- Naserirad, H., Soleymanifard, A., Naseri, R., and Nasiri, S., 2013. Study of correlation between important agronomic traits and path analysis for grain and oil yield in Safflower. *International Journal of Agronomy and*

Plant Production, 4, pp. 670-673

- Noroozi, M., and Kazemeini, S. A., 2013. Effect of irrigation deficit and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10, pp. 781-788. [In Persian].
- Ozturk, E., Ozer, H., and Potal, T., 2008. Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and nonirrigated conditions in a highland environment. *Plant Soil Environment*, 54(10), pp.453-460. **doi: 10.17221/403-pse**
- Pasban Eslam, B., 2004. An evaluation of yield and yield components in new spineless genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 4, pp.869-874. [In Persian].
- Pasban Eslam, B., 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agriculture Sciences and Technology*, 13, pp.327-338. [In Persian].
- Rahimi, M., Ramezani, M., and Rabiee, B., 2009. Identification of elite lines and hybrids of rice using factor analysis. *Journal of Agronomy*, (Pajouhesh & Sazandegi), 84, pp.78-85. [In Persian].
- Rohini, V. K., and Sankara, K. R., 2000. Embryo Transformation, A Practical Approach for realizing Transgenic Plants of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Annals of Botany*, 86, pp.1043-1049. **doi: 10.1006/anbo.2000.1278**
- Rostami Ahmadvandi, H., and Faghihi, A., 2021. Adapted oilseed crops with the ability to grow economically in dryland conditions in Iran. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(3), pp. 122-128. **doi: 10.22126/atic.2021.6518.1015**
- Rudranaik, V., Gulgangi, G. G., Mallapupr, C. P., and Raju, S. G., 2001. Association analysis in safflower under rain fed condition. 5 th International Safflower Conference. Montana, USA. July. 23-27. P. 89-97
- Schutz, H., and Fangmier, E., 2001. Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated Co2 and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, pp.187-194. **doi: 10.1016/s0269-7491(00)00215-3.**
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H. M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., HanumanthaRao, B., Nair, R. M., Prasad, P. V. V., and Nayyar, H., 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 9, pp. 1705. **doi: 10.3389/fpls.2018.01705**
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., and Battaglia, M. L., 2021. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(2), 259. **doi: 10.3390/plants10020259**
- Shannon, W., Culverhouse, R., and Duncan, J., 2003. Analyzing micro array data using cluster analysis. Ashley Publications Ltd, 4, pp. 41-54. **doi: 10.1517/phgs.4.1.41.22581.**
- Sherin, G., Aswathi, K. R., Puthur, J. T. 2022. Photosynthetic functions in plants subjected to stresses are positively influenced by priming. *Plant Stress*, 4, 100079. **doi:10.1016/j.stress.2022.100079**
- Sinaki, M. J., Majidi Heravan, E., Shirani-rad, A. H., Noormohamadi, G., and Zarei, G.H., 2007. The effects of water deficit during growth stage of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural*

- & *Environmental Sciences*, 2(4), pp. 417-424.
- Tayebi, S., Earahvash, F., Mirshekari, B., Tarinejad, A., and Yarnia, M., 2018. Effect of shoot application of Salicylic acid on some growth parameters and yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 32, pp.78-93. [In Persian].
- Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., and Sedghi, M., 2020. Safflower (*Carthamus tinctorius*) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(22), pp.6040-6047. [In Persian].
- Zahedifard, M., Sharafzadeh, S., Zolfibavariani, M., and Zare, M., 2014. Influence of nitrogen and vermicompost on grain and oil yield of rapeseed CV. RGS003. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3, pp. 54-57..
- Zareie, S., MohammadiNejad, G., and SardouieNasab, S., 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science*, 7, pp.1032–1037.

Evaluation of the growth rate, yield, and yield components of promising autumn safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes under water deficit stress during the reproductive period

Samaneh Sajedi Chilak¹, Saeid Hazrati^{1*}, Bahman Pasban Eslam², Amir Reza Sadeghi-bakhtvari¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

² Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran

*Corresponding Author: saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir

Received: 29 May 2023

Accepted: 30 September 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.399219.1345

Abstract

Introduction: *Carthamus tinctorius* L., is a member of the family Asteraceae, cultivated mainly for its seed, which is used as edible oil and as birdseed. This plant originated in the Middle East, due to the deep and extensive root system known for salt as well as drought tolerance. Climate changes and water availability have an important impact in agriculture, food disposal and consequently in human health. We evaluated the agronomic characteristics and drought-tolerant genotypes of safflower for cultivation in saline and low-yielding environments.

Materials and Methods: This experiment was conducted in the saline lands of Khosrowshahr Station of East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center during the crop year 2018-2019 using split plots with randomized complete blocks design. The main factor was drought stress with non-stress (control) and stress from flowering to seed maturity and 6 autumn safflower genotypes as secondary factor.

Results and Discussion: The results showed that the water deficit stress in the studied stages caused a significant decrease in the number of seeds per petal, the number of petals per plant, and the weight of 1,000 seeds. It was also found that the interaction effect of water stress and genotype on seed yield, oil content, oil yield, chlorophyll index and leaf temperature was significant. According to the results, under without water deficit stress the highest and the lowest seed yield respectively belonged to the Padideh genotype (3476.7 kg ha⁻¹) and the Kh 92 genotype (1733.1 kg ha⁻¹) and under water deficit stress to to the Padideh genotype (2162.6 kg ha⁻¹) and the kh 132 genotype (955.3 kg ha⁻¹) was related. The highest and lowest content of oil in the full irrigation treatment corresponded to the Padideh genotype (29.43 %) and kh 92 genotype (22.76 %) and under water stress conditions related to the Padideh genotype (24.3 %) and genotype kh was 92 (16.8 %). The highest oil yield under normal irrigation related to the Padideh genotype (524.23 kg ha⁻¹) and the lowest in the kh 132 genotype (207.22 kg ha⁻¹) was obtained. The leaf temperature of the genotypes in non-stress conditions was significantly lower compared to stress conditions. Based on the results of cluster analysis under normal and stress conditions, in the first group (Padideh and kh 132) due to high seed and oil yield, and also the genotypes of the second group (Kazakhi, kh 92 and kh 97) due to this which in terms of traits such as seed and oil yield had the highest deviation percentage compared to the total average, were known to be resistant to water deficit stress. Also, the genotypes of the third group (Kazakhi, kh 68 and kh 132) due to the fact that they had lower seed and oil yield and also had a lower deviation percentage than the genotypes of the second group, were in the groups They were sensitive to water stress.

Conclusion: Accordingly, it can be understood that the variations among genotypes in terms of oil content, and oil yield and seed yield are important components that could be used to select appropriate genotypes with drought conditions. Padideh genotype had the highest seed yield and oil yield in both favorable and stressful conditions.

Keywords: Drought stress, Oilseeds, Oil yield, Seed yield

بررسی خصوصیات بیوشیمیایی لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) و پروتئین دانه تحت سطوح مختلف آبیاری و ترکیبات محرک رشد

محمد کاظم علیلو^{۱*}، محسن رشدی^۲، ساسان رضادوست^۲، جواد خلیلی محله^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران

* مسئول مکاتبه: kazemalilou1@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.351363.1260

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷

چکیده

به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر خصوصیات بیوشیمیایی و عملکرد لوبیا قرمز، آزمایشی به صورت طرح اسپلت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در روستای پیرموسی شهرستان خوی طی سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح ۸، ۱۱ و ۱۴ روز یک‌بار و ترکیبات محرک رشد به عنوان فاکتور فرعی در ۵ سطح که ۳ مورد به صورت محلول پاشی شامل آمینو اسید، محرک ریشه‌زایی و کود پتاسیم و مصرف هیومیک اسید همراه با آب آبیاری، و عدم مصرف (شاهد) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری و محرک‌های رشد تأثیر معنی‌داری بر قند محلول، محتوای آب نسبی برگ، درصد پروتئین و عملکرد دانه داشت. افزایش فاصله آبیاری‌ها محتوای پرولین را افزایش داد و در مقابل سبب کاهش کارتنوئیدها و کلروفیل کل برگ‌ها شد. کاربرد هیومیک اسید به طور معنی‌داری عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه را تحت تأثیر قرار داد. با افزایش فاصله آبیاری‌ها، صفات بیوشیمیایی و زراعی مؤثر بر رشد و نمو لوبیا قرمز دچار اختلال گردیده و عملکرد دانه کاهش یافت. هم‌چنین اثر متقابل دو فاکتور مورد بررسی بر پرولین، محتوای آب نسبی برگ، قندهای محلول، درصد پروتئین و عملکرد دانه معنی‌دار بود. بالاترین درصد پروتئین دانه در تیمار آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و مصرف کود پتاسیم و هم‌چنین عدم مصرف مواد محرک بدست آمد. به طوری که بالاترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری ۸ روز یکبار و هیومیک اسید به میزان ۳۰۷۶ کیلوگرم در هکتار و حداکثر پروتئین دانه هم در تیمار آبیاری ۱۴ روز یکبار و عدم مصرف مواد محرک به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آمینو اسید، پرولین، درصد پروتئین، کلروفیل برگ، محتوای آب نسبی

مقدمه

آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی، گونه‌های فعال اکسیژن ایجاد شده را کاهش می‌دهند (Puthur, 2016). منابع قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد، هیدرولیز پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه خاص از جمله پرولین، بتاین، مشتقات و مواد اولیه حاصل از آن‌ها، می‌تواند باعث تقویت سیستم دفاعی گیاه به انواع مختلف تنش‌های غیر زنده از جمله شوری، خشکی، دما و شرایط اکسید کننده گردند (Du Jardin et al., 2015). کاهش مقدار کلروفیل در اثر تنش خشکی می‌تواند به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن و در نتیجه ساخت ترکیباتی نظیر پرولین باشد که در چنین شرایطی در تنظیم اسمزی نقش دارد (Sorkhi et al., 2015). محتوای نسبی آب (RWC^1) برگ گیاهان با افزایش سطوح تنش آبی کاهش می‌یابد. انتظار بر این است که در شرایط معمول، RWC گیاه نزدیک ۱۰۰ درصد و

ارزش غذایی لوبیا به علت دارا بودن پروتئین و کربوهیدرات‌های بالا، فیبر فراوان و برخی ویتامین‌ها، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها و پلی‌فنل‌ها است (Kumer et al., 2013). برخی از محققان گزارش نمودند که تحت تنش خشکی، کاهش فتوسنتز به دلیل کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن در واحد سطح برگ نبوده بلکه به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده است (Tatrai et al., 2016). گیاه لوبیا به تنش خشکی حساس بوده و عملکرد آن حتی در دوره‌های کوتاه مدت تنش عملکرد کاهش می‌یابد یا صدمه می‌بیند. تنش خشکی باعث کاهش محتوای رطوبتی، منفی تر شدن پتانسیل آب برگ و نزول فشار آماس، انسداد روزنه و کاهش بزرگ شدن سلول و رشد آن می‌شود (Jaleel et al., 2009). گیاهان از طریق ساز و کارهای

¹ Relative water content

پتانسیل آبی متمایل به صفر باشد (Korir et al., 2006).

هیومیک اسید یکی از بهترین کودهای آلی است که از تجزیه میکروبی، بیولوژیکی و شیمیایی مواد آلی بدست می‌آید. هیومیک اسید سبب حاصلخیزی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مانند نفوذ پذیری، تهویه، دانه‌بندی، ظرفیت نگهداری آب در خاک، تحرک و در دسترس قرار دادن مواد غذایی می‌شود (Khan et al., 2012). ارزش استفاده از مجموعه‌ای از اسیدهای آمینه در این است که به دلیل غنای اسید آمینه‌ای این فرآورده‌ها، سلول‌های بیوسنتز مجدد این ترکیبات نداشته و انرژی مورد نیاز جهت این بیوسنتز، در گیاه ذخیره می‌شود (Raeisi et al., 2014). کاربرد عصاره جلبک دریایی باعث افزایش رشد گیاه، تعداد برگ، تحریک رشد ریشه، تسریع زمان گل‌دهی و افزایش تشکیل میوه، تأخیر در پیری برگ و بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و درجه حرارت و افزایش کمیت و کیفیت میوه در بیش‌تر گیاهان به خصوص حبوبات می‌شود (Shokouhifar, 2016). محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت دو در هزار لیتر آب در گیاه لوبیا سبزی، وزن و تعداد دانه و مقدار پروتئین دانه را افزایش داد (Kocira et al., 2018). وجود پتاسیم نیز در نگهداری آب بافت‌های گیاهی اهمیت خاصی دارد. این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی، کنترل روزنه‌ای و نقل و انتقال قند از طریق آوند آبکش نقش ایفا می‌کند (Khan et al., 2012).

به نظر می‌رسد مصرف مواد محرک رشد می‌تواند در تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاهان حساسی مثل لوبیا قرمز مؤثر واقع گردد؛ لذا هدف عمده از انجام این تحقیق، ارزیابی کاربرد این ترکیبات بر خصوصیات بیوشیمیایی و پروتئین دانه در شرایط آبیاری نرمال و کم آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محرک‌های رشد بر صفات بیوشیمیایی و پروتئین دانه لوبیا قرمز تحت سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در منطقه پیرموسی شهرستان خوی با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴

درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۵۷ متر در سال ۱۴۰۰ به اجرا درآمد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش و آمار هواشناسی منطقه طی ماه‌های اجرای آزمایش نیز در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. این پژوهش به صورت طرح اسپلت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ۴۵ کرت اجرا شد. عامل اصلی شامل آبیاری در سه سطح ۸، ۱۱ و ۱۴ روز یکبار و عامل فرعی در پنج سطح شامل هیومیک اسید ۹۵ درصد (فولویک اسید ۱۵ درصد، هیومیک اسید ۳۵ درصد، جلبک دریایی ۳۰ درصد و پتاسیم ۱۵ درصد)، آمینو اسید ۲۵ درصد (آمینو اسید ۲۵ درصد، اسکوربیک اسید ۱ درصد، ویتامین ب ۱، ۱۰۰ پی پی ام، فولویک اسید ۳ درصد)، محرک ریشه‌زایی (فسفرزایی ۱۸ درصد، نیتروژن کل ۵ درصد، فولویک اسید ۲۵ درصد و ماده آلی ۲۵ درصد)، پتاسیم ۳۰ درصد (پتاسیم ۳۰ درصد و اسید آمینه ۲۵ درصد) و عدم مصرف مواد (شاهد) در نظر گرفته شد. در این آزمایش برای کشت، از بذر اصلاح شده و تجاری لوبیا قرمز رقم سان‌رای^۱ تلقیح شده با باکتری‌های *Rhizobium leguminosarum* فازوئولی سویه R177 استفاده شد که از بخش آب و خاک موسسه تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه گردید. هر کرت آزمایشی دارای ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی متر بوده و فاصله بوته‌ها در روی ردیف نیز ۸ سانتی متر در نظر گرفته شد. بین هر کرت با کرت بعدی دو خط خالی و بدون کشت و بین بلوک‌ها ۱/۵ فاصله برای جلوگیری از انتقال آب در زمان اعمال تیمارهای آبی در نظر گرفته شد. کاشت بذور به صورت دستی در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه و در عمق ۴-۵ سانتی متر روی ردیف‌ها انجام شد. بعد از کاشت جهت سبز شدن بذور، اولین آبیاری با استفاده از لوله به صورت نشتی انجام و در ادامه آبیاری تمام کرت‌ها بر اساس سطوح عامل اصلی به ترتیب در ۸، ۱۱ و ۱۴ روز یکبار انجام گرفت. تیمارهای محلول‌پاشی شامل آمینو اسید ۲۵ درصد، محرک ریشه‌زایی و پتاسیم ۳۰ درصد بوده ولی تیمار اسید هیومیک ۹۵ درصد همراه با آب آبیاری (دو کیلوگرم در هکتار) در مرحله قبل از گل‌دهی و شروع غلاف‌بندی در دو نوبت به طور جداگانه اعمال شدند.

¹ Sun ray

WD، WF و WT به ترتیب وزن خشک، تر و آماس برگ‌ها می‌باشد. فعالیت آنزیم‌ها به روش اسپکتروفتومتری (اسپکتروفتومتری JENWAY مدل uv-6505) در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX¹) به روش فناتی و همکاران تعیین شد (Ghanati et al., 2002). هم‌چنین برای اندازه‌گیری قند محلول از روش کوچرت استفاده شد (Kochert et al., 1978). پس از برداشت در ۱۵ شهریورماه، دانه‌های تمیز شده از هر تیمار با آسیاب خرد شدند. سپس پروتئین دلنه از طریق حاصل‌ضرب غلظت نیترژن دانه در عدد ۶/۲۵ به عنوان ضریب تبدیل به دست آمد. غلظت نیترژن دانه در هر تیمار با دستگاه کجلدال تعیین شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 14 صورت پذیرفت. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری (MSTSTC Ver 2.1) مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن انجام و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

محتوی پروتئین بر اساس وزن تر انجام شد (Bates et al., 1973). برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کارتنوئیدها در این آزمایش، در ابتدا یک گرم نمونه برگ‌های تازه در هاون چینی کوبیده و سپس در ۱۰ میلی‌لیتر حلال استون حل شد. عصاره بدست آمده را به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و سپس به دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Bio Quast, CE250 uk منتقل و میزان جذب بدست آمده در طول موج‌های ۶۶۲ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئید قرائت شد (Dere et al., 1998). برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی برگ، برگ‌های انتهایی گیاه که شامل برگ‌های جوان تر بود به وزن ۱۰۰ میلی‌گرم برش داده شد. بلافاصله توزین و به لوله‌های آزمایش دربار محتوی آب مقطر وارد شدند و بعد از شش ساعت وزن آماس برگ‌ها تعیین شد سپس برگ‌ها به داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شده و بعد از ۴۸ ساعت وزن خشک برگ‌ها بدست آمد. مقدار رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد.

$$RWC = \frac{WF-WD}{WT-WD} \times 100 \quad (1)$$

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil in the experiment site

پتاسیم	فسفر	نیترژن	کربن آلی	آهک	رس	سیلت	شن	اشباع	اسیدیته	شوری	بافت
K	P	N	OC	T.N.V	Clay	Silt	Sand	SP	pH	EC	TEX
(mg/kg)		Total	(%)						(ds/m)		
601.2	56.02	0.1	0.84	14.1	42	43	15	62	8.1	0.86	Clay silty

Sp: درصد رطوبت نسبی جرمی

SP: Percentage by mass relative humidity

محلول در شرایط تنش علاوه بر نقش‌های فیزیولوژیکی مهمی که از نظر تامین انرژی و جلوگیری از مرگ حتمی ایفا می‌کنند، می‌تواند باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و به این ترتیب در ساز و کار تحمل به خشکی نقش مهمی داشته باشند و از این نظر نتایج بدست آمده با نتایج (Jiang and Huang, 2001) مطابقت دارد. تنش خشکی باعث افزایش میزان قندهای محلول در گیاه لوبیا قرمز نسبت به شرایط آبیاری نرمال می‌گردد (Saman et al., 2011). تجمع قندهای محلول نظیر ساکارز، گلوکز و فروکتوز با مقاومت به خشکی در گیاهان ارتباط

نتایج و بحث

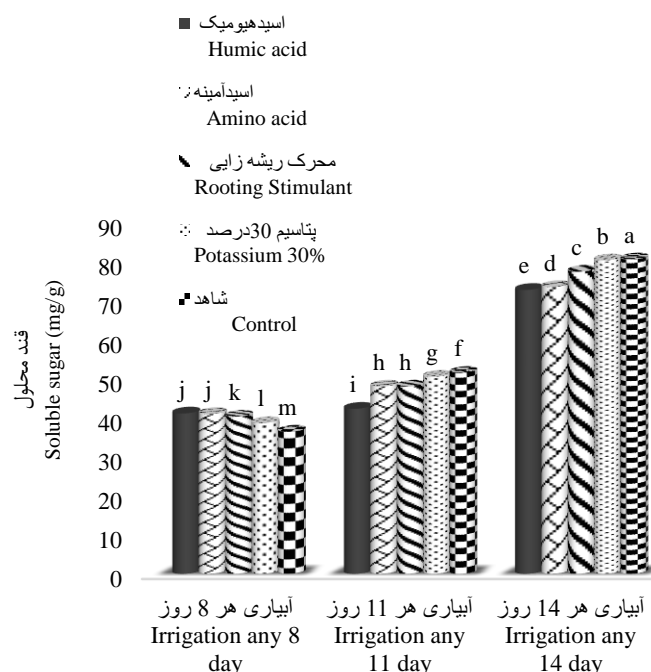
قندهای محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری و محرک‌های رشد و برهمکنش آن‌ها بر قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین قند محلول در تنش شدید (آبیاری ۱۴ روز یکبار) و تیمار شاهد و کم‌ترین قندهای محلول در آبیاری نرمال (آبیاری ۸ روز یکبار) و تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱). با افزایش تنش، قندهای محلول هم افزایش نشان دادند. انباشت قندهای

¹ Peroxidase enzyme

تحمل به خشکی نقش مهمی بازی می‌کند (Mohsenzadeh *et al.*, 2006). گزارش کردند که تنش کمبود آب می‌تواند باعث افزایش قندهای محلول، افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز و هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده و کند شدن انتقال قندها از برگ به سایر مراکز رشد شود، همچنین با افزایش کمبود آب بر مقدار کربوهیدرات‌های محلول افزوده می‌شود (Zhang *et al.*, 2010).

بسیار نزدیکی دارد. افزایش غلظت این ترکیبات در شرایط تنش، با کاهش پتانسیل اسمزی سلول امکان جذب آب و ادامه فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه را فراهم می‌کند. این افزایش در غلظت قندهای محلول می‌تواند یک پاسخ نسبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ‌ها ارزیابی شود، زیرا افزایش در غلظت ساکارز و سطح قندهای محلول تحت شرایط تنش خشکی به سبب بهبود وضعیت آب برگ در القای



شکل ۱- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر قند محلول

Figure 1- Interaction of irrigation levels and growth stimulants on soluble sugar

فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه بر بوده و منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Khalili *et al.*, 2010). تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی موجب محافظت غشاهای سلول، آنزیم‌های سیتوپلاسمی، پروتئین‌ها، مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang *et al.*, 2013). پرولین یکی از آمینو اسیدهایی است که به طور معمول در پاسخ به تنش ظاهر می‌شود (Zegaoui *et al.*, 2017). افزایش تجمع پرولین و ممانعت از تجزیه آن در برگ لوبیا، سازگاری برای تعدیل

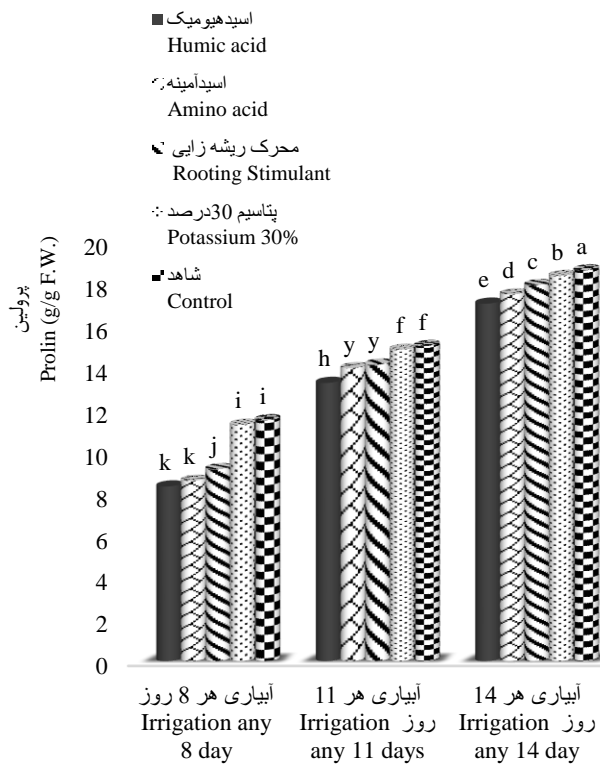
پرولین

مقدار پرولین تحت تأثیر معنی‌دار هر دو عامل آزمایشی و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). در این بررسی بیش‌ترین محتوای پرولین در سطوح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و تیمار شاهد (عدم مصرف) و کم‌ترین محتوای پرولین در سطوح آبیاری ۸ روز یک‌بار و تیمار هیومیک اسید مشاهده گردید (شکل ۲). تجمع ترکیب‌هایی مانند پرولین و اسیدهای آمینه در بافت گیاه تحت تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه

محتوای پرولین وجود دارد. به همین ترتیب، میزان پرولین با کاربرد محرک‌های رشد از جمله هیومیک اسید در طول دوره‌های خشکی کاهش محسوس از خود نشان داد. همچنین محققان دیگری اعلام کردند که استفاده از ترکیب‌های ارگانیک مانند هیومیک اسید یکی از روش‌هایی است که ممکن است از طریق آن بتوان دوره‌های آبیاری را کاهش داد و باعث بهبود بهره‌وری مصرف آب و کاهش اثر تنش خشکی در گیاهان شد (Lotfi *et al.*, 2015).

اسمزی تحت شرایط تنش خشکی معرفی شده است (Siddiqui *et al.*, 2015).

در کاربرد محرک‌های رشد، عواملی نظیر نوع گیاه، غلظت محرک‌های رشد، زمان و تعداد دفعات کاربرد در عکس العمل گیاه تأثیر می‌گذارد (Ramroudi and Khamar, 2013). بنابراین می‌توان انتظار داشت که در سطح بالای تنش خشکی، به کارگیری هیومیک اسید سبب کاهش تولید پرولین، کاهش اثر تنش خشکی و افزایش عملکرد لوبیا شود. گزارش‌های متعددی در مورد کاربرد کودهای آلی و هیومیک اسید بر



شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر پرولین

Figure 2- Interaction of irrigation levels and growth stimulants on proline

محتوای آب نسبی برگ نیز در سطوح آبیاری ۱۴ روز یکبار و تیمار شاهد (عدم مصرف) مشاهده گردید (شکل ۳). به نظر می‌رسد تأمین نیاز کامل آبی گیاه همراه با کاربرد هیومیک اسید باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ در تیمار مذکور گردید، به عبارتی دیگر سطوح دو فاکتور اثرات همدیگر را در این تیمار تشدید نمودند. بسیاری از محققان بر این عقیده‌اند که کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کم آبی

محتوای آب نسبی برگ

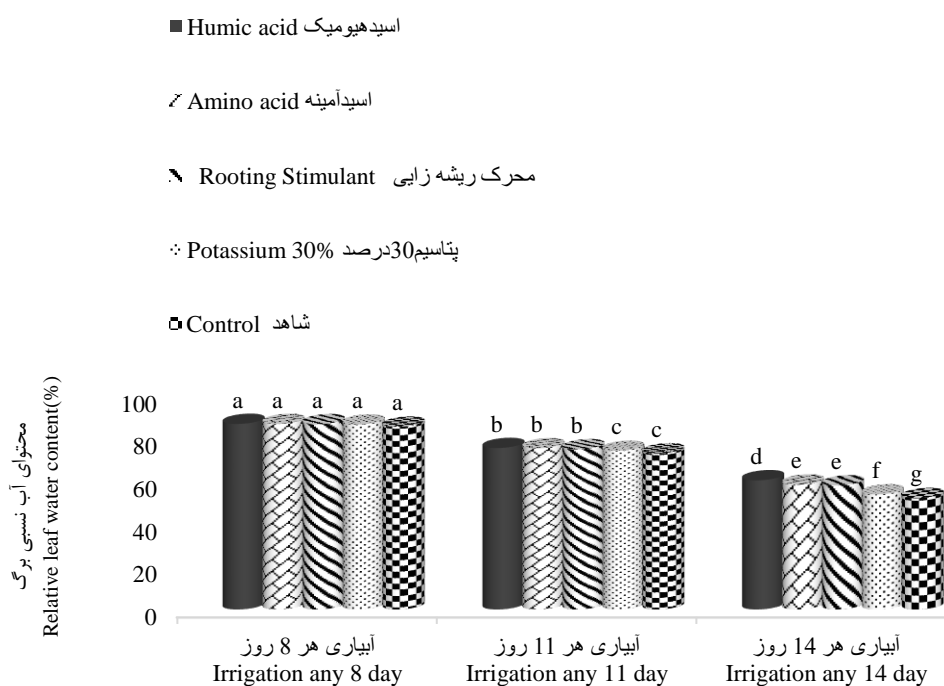
افزایش فاصله آبیاری‌ها محتوای آب نسبی برگ را کاهش داد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری و محرک‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای آب نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در این بررسی بیش‌ترین محتوای آب نسبی برگ در سطوح آبیاری ۸ روز یکبار و تیمار هیومیک اسید و کم‌ترین

امکان اتساع دیواره سلولی را فراهم می‌نماید. در پژوهشی دیگر کاربرد هیومیک اسید موجب افزایش محتوی آب نسبی برگ گردید (Mozafari *et al.*, 2017).

عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب در گیاه محتمل‌ترین دلیل کاهش محتوای آب نسبی برگ گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. در تنش خشکی به علت تعرق بالا، گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد که با یافته‌های (Allahmoradi *et al.*, 2013)، مطابقت داشت. گونه‌های متحمل به تنش کم آبی، محتوای آب نسبی برگ‌های خود را از طریق کاهش هدر رفت آب حفظ می‌کنند اما زمانی که طی اتفاقاتی رشد گیاه به شدت کاهش می‌یابد محتوای آب نسبی برگ نیز به صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد (Khan *et al.*, 2012). مواد هیومیکی با افزایش جذب آب در گیاه، محتوای آب نسبی برگ را افزایش داده و در نتیجه با افزایش فشار تورژسانس در گیاه رشد و توسعه سلول‌های برگ را افزایش می‌دهند (Osman and Rady, 2014).

مربوط به انسداد روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسزیک اسید می‌دانند. بسین میزان محتوای رطوبت نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد (Khan *et al.*, 2012).

به نظر می‌رسد کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش توانسته دسترسی بیش‌تر رطوبت خاک را فراهم آورد و تحمل گیاه را نسبت به کمبود آب بیش‌تر نماید. به طوری که در سطح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار هیومیک اسید بالاترین رطوبت نسبی برگ را داشت (شکل ۳). گیاهان در شرایط تنش خشکی میزان آب سلول‌های خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیش‌تری وارد آن‌ها شوند. این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد. بررسی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با کاربرد هیومیک اسید از اثرات تنش خشکی کاسته شد. بنابراین با افزایش میزان محتوای آب نسبی برگ‌ها، فشار درون سلولی برای رشد سلول فراهم می‌شود و



شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر محتوای آب نسبی برگ

Figure 3- Interaction of irrigation levels and growth stimulants on relative leaf water content

کارتنوئیدها، کلروفیل a و کلروفیل b برگ را کاهش داد. به طوری که سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح

رنگدانه‌های برگ

افزایش فاصله آبیاری‌ها به طور معنی‌داری مقدار

داشتند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل a می‌شود که با این نتایج مطابقت دارد (Moharramnezhad *et al.*, 2016). در شرایط تنش خشکی اکسیداسیون نوری رنگ دلنه‌ها منجر به تخریب کلروفیل a می‌شود و میزان کلروفیل a کاهش می‌یابد (Giancarla *et al.*, 2013). نتایج حاصل از اندازه‌گیری کلروفیل a برگ‌ها، روند کاهش تدریجی را همراه با افزایش تنش خشکی نشان داد. کاهش این رنگریزه مهم فتوسنتزی می‌تواند به علت اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری در سنتز رنگریزه‌های فتوسنتزی باشد. تنش موجب افزایش تولید اکسیژن واکنش‌گر می‌شود و کاهش میزان کلروفیل به خصوص a، نشان دهنده وسعت آسیب‌های اکسیداتیو است. هم‌چنین کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان تحت تنش ممکن است در ارتباط با افزایش فعالیت تجزیه کلروفیل توسط آنزیم کلروفیلاز باشد (Goldani, 2012). مقایسه تغییرات مقادیر کلروفیل a و b در تحقیقی نشان داد که در اثر تنش خشکی، میزان کاهش کلروفیل a بیشتر از میزان کاهش کلروفیل b است. با کاهش میزان کلروفیل تغییرات زیادی در مقدار تولید در گیاهان به وجود می‌آید (Sadehipur and Aghaei, 2012).

بیش‌ترین مقدار کلروفیل b مربوط به سطح آبیاری ۸ روز یکبار به میزان ۲۳/۶ میلی‌گرم و کم‌ترین مقدار کلروفیل b نیز در تنش شدید (آبیاری در ۱۴ روز یکبار) به میزان ۲۲/۴۴ میلی‌گرم مشاهده شد (جدول ۳). نتایج فوق با یافته‌های برخی محققین مطابقت داشت (Armand *et al.*, 2016; Hosseinzadeh *et al.*, 2015). یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی، مطالعه میزان تغییراتی است که در سنتز کلروفیل (a+b) برگ در اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد. کاهش سنتز کلروفیل b از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardner, 2010). تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل b می‌شود به طوری که این میزان کاهش نسبت به شاهد ۴۰ درصد گزارش شده است (Moharramnejad *et al.*, 2016). عده‌ای نیز کاهش میزان کلروفیل b در شرایط تنش خشکی را به افزایش رادیکال‌های آزاد نسبت می‌دهند که باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌شود (Flexas and Medrana, 2008).

یک‌درصد بر رنگ‌دانه‌های برگ داشته است. ولی محرک‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها نتوانست این صفات را تحت تأثیر قرار دهند (جدول ۲). بیش‌ترین کارتنوئید، کلروفیل a و کلروفیل b مربوط به تنش شدید (آبیاری ۱۴ روز یکبار) و کم‌ترین آن نیز (آبیاری در ۸ روز یکبار) تعلق داشت (جدول ۳).

این نتایج با یافته‌های محققان دیگری نیز مطابقت دارد (Armand *et al.*, 2016; Hosseinzadeh *et al.*, 2015). کارتنوئیدها از مشتقات ایزوپرنوئیدی هستند که یکی از مهم‌ترین وظایف آنها فعالیت ضد اکسیداسیونی و دفع رادیکال‌های آزاد اکسیژن حاصل از تنش خشکی در گیاه است. از مهم‌ترین مشتقات کارتنوئیدها می‌توان به کاروتن‌ها اشاره نمود که یک بخش کلیدی سیستم ضد اکسیداسیونی گیاه را تشکیل می‌دهند (Ghorbanli *et al.*, 2013). به همین دلیل احتمال داده می‌شود که گیاهان قرار گرفته در شرایط تنش آبی به منظور کاهش صدمات ناشی از افزایش میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن در بافت‌ها میزان کارتنوئید را در بافت‌های فتوسنتزی خود بالا می‌برند (Koc *et al.*, 2010). گزارش‌های متعددی در مورد افزایش یا کاهش کارتنوئیدها در طی تنش خشکی وجود دارد. میزان کارتنوئیدها در تنش خشکی شدید به عنوان یک حامی کلروفیل می‌تواند افزوده شود تا مانع تخریب کلروفیل گردد (Abdalla and El-Khoshiban, 2007). محتوای کارتنوئید تحت تنش خشکی در لوبیا کاهش می‌یابد (Silva, 2007). در حالی که محققان دیگری افزایش میزان کارتنوئید را تحت تنش خشکی در لوبیا گزارش کردند (Emadi *et al.*, 2012). می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تنش خشکی بر میزان کارتنوئیدها در ارقام و گونه‌های گیاهان مختلف یکسان نیست و پاسخ‌های متفاوتی دیده می‌شود.

دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت مقاومت به تنش خشکی هستند (Tatrai *et al.*, 2016). در بررسی اثرات تنش کم آبی بر گیاه نخود گزارش شد که با کاهش میزان آب قابل دسترس، محتوای کلروفیل a در بافت سبز برگ کاهش یافت (Rahbarian *et al.*, 2011). در زمان تنش خشکی روزنه برگ‌ها به طور کامل یا جزئی بسته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند (Nasrollahzadeh Asl *et al.*, 2016). سایر محققان با بررسی اثر تنش دور بالای آبیاری اظهار

آبیاری کامل مشاهده شد (Mohajerani *et al.*, 2015). در شرایط تنش خشکی، جذب و تثبیت دی اکسید کربن بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها کاهش می‌یابد در حالی که انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه کاهش نمی‌یابد و این امر سبب افزایش درصد پروتئین می‌شود. در این رابطه نتایج تحقیقاتی نشان داد که بالا بودن درصد پروتئین در شرایط دور بالای آبیاری می‌تواند مرتبط با کاهش طول دوره رشد و نمو در تیمارهای تنش دیده باشد که موجب کاهش نسبت کربوهیدرات به پروتئین و در نتیجه افزایش درصد پروتئین در این تیمارها می‌گردد (Jalilian *et al.*, 2005).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان داد که بین سطوح آبیاری و کاربرد محرک‌های رشد و اثر متقابل آنها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. بیش‌ترین عملکرد دانه در سطح آبیاری نرمال به میزان $3076/12$ کیلوگرم در هکتار با کاربرد هیومیک اسید و کمترین مقدار این صفت نیز در تنش خشکی و عدم کاربرد محرک‌های رشد (شاهد) به میزان $1220/96$ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۵). با وقوع تنش از عملکرد دانه کاسته شد، به طوری که گیاهان در سطوح مختلف تنش عملکرد کم‌تری نسبت به آبیاری مطلوب داشتند. با بررسی کاربرد هیومیک اسید پژوهشگران عنوان کردند که هیومیک اسید نفوذپذیری غشای سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار داخل سلولی منجر به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد (Giasuddin *et al.*, 2007).

تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ‌ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر و کاهش در اجزای عملکرد دانه می‌گردد. همچنین، کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش لقاح گل‌ها در شرایط تنش خشکی، کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دلنه‌ها را در پی خواهد داشت و به دنبال کاهش این اجزاء، عملکرد دانه نیز کاهش خواهد یافت (Mohammadi *et al.*, 2018 ; Sadat Rasti Sani *et al.*, 2014). در این ارتباط محققان با بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی در لوبیا چیتی نشان دادند که بیش‌ترین تأثیر خشکی بر تعداد دانه در

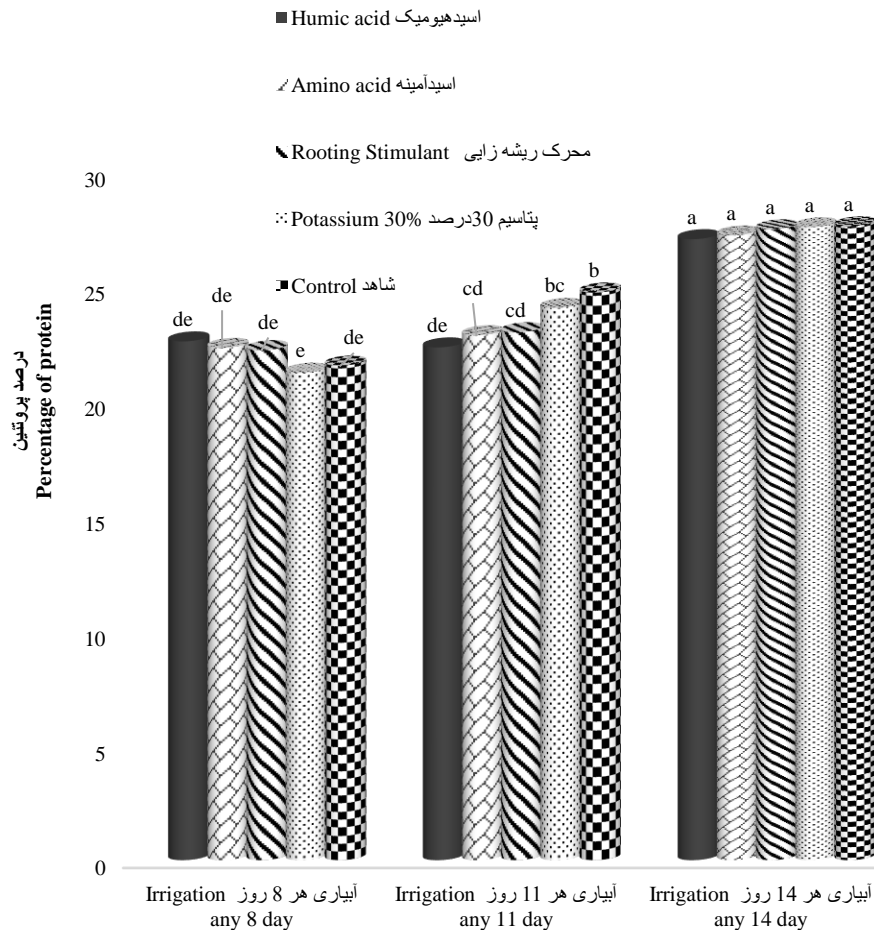
کلروفیل b در گیاه سویا گردید. کاهش کلروفیل b در شرایط تنش خشکی به علت تجزیه کلروپلاست و ناپدید شدن ساختارهای تیلاکوئید است (Ghorbanli *et al.*, 2013). به نظر می‌رسد کاهش میزان کلروفیل b طی تنش کم آبی به علت اکسیداسیون نوری باشد شبیه تخریب کلروفیل a، لذا میزان کاهش کلروفیل a و b در طی تنش خشکی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک مناسب جهت ارزیابی مقاومت به تنش خشکی می‌باشد.

درصد پروتئین دانه

میزان قابل توجهی از ذخیره بذر در دانه لوبیا را پروتئین تشکیل می‌دهد. تولید پروتئین گیاهی از اهداف کشت لوبیا می‌باشد. در این بررسی بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در سطوح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و تمام تیمارهای محرک‌های رشد و کم‌ترین درصد پروتئین دانه در سطوح آبیاری ۸ روز یک‌بار و پتاسیم مشاهده گردید (شکل ۴). با تشدید تنش کم آبی میزان پروتئین افزایش یافت که افزایش درصد پروتئین با اعمال تنش کم آبی می‌تواند به دلیل تأثیر کمبود آب بر کاهش طول دوره پر شدن دلنه باشد. در زمان وقوع تنش، جهت انجام تنظیم اسمزی در گیاه پروتئین‌های مخصوص تنش نیز تولید می‌شوند به طوری که غلظت این پروتئین‌ها در تمامی اجزاء گیاه افزایش می‌یابد. این پروتئین‌ها جزء پروتئین‌های ساختمانی نبوده ولی درصد پروتئین را بالا می‌برند (Liu *et al.*, 2005). تنش خشکی موجب کوتاه شدن دوره زایشی و کاهش زمان ذخیره نشاسته در دانه می‌شود که در نهایت منجر به افزایش درصد پروتئین می‌گردد و در مرحله پایانی رشد به حداکثر مقدار می‌رسد (Mertz Henning *et al.*, 2017). این افزایش در جهت کمک به تنظیم اسمزی سلول در شرایط تنش کم آبی ایجاد می‌شود. در شرایط تنش خشکی به خصوص در مرحله پر شدن غلاف، به واسطه کاهش طول دوره پر شدن دانه و کاهش فتوسنتز خالص، تغییراتی در تجمع نشاسته در دانه رخ می‌دهد. میزان تأثیرپذیری متابولیسم نیتروژن و تجمع کربوهیدرات‌ها در دانه، اثر تعیین کننده‌ای بر درصد پروتئین دلنه به جای می‌گذارند (Navvabpour *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای گزارش شد که در بین سطوح آبیاری بیش‌ترین درصد پروتئین دانه لوبیا مربوط به تنش شدید آبی بود و کم‌ترین درصد پروتئین دانه در تیمار

خشکی عملکرد دانه لوبیا کاهش یافت، گزارش دادند کمبود آب در مرحله گل‌دهی باعث افزایش سقط جنین در دانه‌گرده می‌شود که در نهایت ریزش گل‌ها و غلاف‌ها عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Zadeh Bagheri *et al.*, 2012).

بوته و عملکرد دانه بود (Asadi *et al.*, 2013). محققان دیگری نیز کاهش وزن دانه لوبیا در اثر خشکی را به علت کاهش تقسیمات سلولی در درون بذر و در نتیجه جذب آسیمیلات کم‌تر و همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های سنتز نشاسته و ساکارز دانستند (Sadeghi Pour *et al.*, 2012). بر اثر تنش

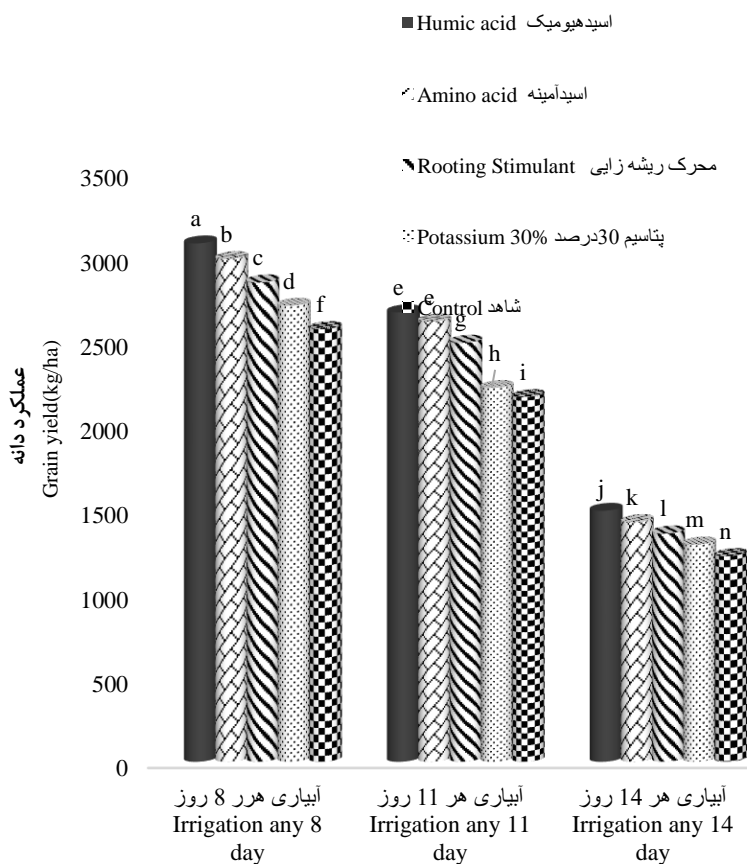


شکل ۴- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر درصد پروتئین

Figure 4- Interaction of irrigation levels and growth stimulants on protein content

اسید نیز از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تقسیم و بزرگ شدن سلول بر افزایش عملکرد اثر مثبتی دارد (Zhang, 2010). کاربرد عصاره جلبک دریایی در گیاه سویا در مقایسه با گیاهان شاهد، عملکرد دانه را بهبود بخشید (Abu Seif *et al.*, 2016). سالیسیلیک اسید نقش مثبت در فعالیت‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های مربوط به فتوسنتز دارد. از طرفی باعث انتقال بهتر مواد پرورده از منبع به مخزن می‌شود، در نتیجه موجب رشد بهتر و عملکرد بیشتر گیاهان می‌شود (Modarres Sanavy *et al.*, 2014).

کاربرد هیومیک اسید سبب افزایش میزان کربوهیدرات در ساقه و برگ گیاهان می‌شود. این کربوهیدرات‌ها از طریق ساقه به ریشه و از ریشه به خاک انتقال داده می‌شوند و از طریق فراهمی مواد غذایی برای میکروارگانیسم‌های خاک و گیاه، سبب افزایش عملکرد می‌گردد (Sassi Aydi *et al.*, 2014). طی تحقیقی دیگر مشاهده گردید که هیومیک اسید از طریق افزایش رشد گیاه به خصوص ریشه‌ها، میزان فتوسنتز، جذب عناصر غذایی، اندازه سطح برگ، بیوماس گیاهی و نفوذپذیری بافت‌ها را افزایش داده است و در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Rafiel Hossaini *et al.*, 2016). آسکوربیک



شکل ۵- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک های رشد بر عملکرد دانه

Figure 5- Interaction of irrigation levels and growth stimulants on grain yield

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی لوبیا قرمز تحت سطوح مختلف آبیاری و کاربرد محرک های رشد

Table 2- Analysis of variance of experimental traits of red bean under different levels of irrigation and application of growth stimulants

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات MS				
		قندهای محلول	پرولین	محتوای آب نسبی برگ	کارتنوئید	کلروفیل a
S.O.V	df	Soluble sugars	Proline	Relative leaf water content	Carotenoid	Chlorophyll a
تکرار	2	0.007	0.002	0.815	4.407	2.242
Replication	2	5740.642**	247.403**	3402.941**	31.001**	32.076**
سطوح آبیاری	2					
Irrigation(A)	2					
اشتباه	4	0.003	0.002	0.414	3.574	2.647
Error	4					
محرک های رشد	4					
Growth stimuli(B)	4	28.711**	7.893**	20.659**	10.216 ^{ns}	3.769 ^{ns}
آبیاری* محرک های رشد	8					
A*B	8	30.541**	0.8**	8.989**	7.140 ^{ns}	3.541 ^{ns}
اشتباه	24	0.003	0.003	0.199	3.369	1.543
Error	24					
ضریب تغییرات						
cv/.		10	4	6.2	13.3	3.79

ادامه جدول ۲

Table 2- continued

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل b	پراکسیداز	درصد پروتئین	عملکرد دانه
S.O.V	df	Chlorophyll b	Peroxidase	Percentage of protein	Grain yield
تکرار Replication	2	0.165	0.217	1.874	49.96
سطوح آبیاری Irrigation(A)	2	1.679**	1.099 ^{ns}	117.548**	877432.09**
اشتباه Error	4	0.227	0.275	1.245	53.521
محرک های رشد Growth stimuli(B)	4	0.562 ^{ns}	0.517 ^{ns}	0.503**	286816.79**
آبیاری*محرک های رشد A*B	8	1.059 ^{ns}	1.006 ^{ns}	1.736*	14505.42**
اشتباه Error	24	0.487	0.481	0.683	49.541
ضریب تغییرات cv/		3.06	1.7	3.4	3.2

** و * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و غیر معنی دار بودن اختلاف ns, * and ** indicate non-significant and significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات آزمایشی لوبیا قرمز تحت سطوح مختلف آبیاری و کاربرد محرک های رشد

Table 3- Comparison of mean experimental traits of red beans under different levels of irrigation and application of growth stimulants

تیمارهای آزمایشی	سطوح آبیاری			محرک های رشد				
	levels of Irrigation			Stimuli of growth				
Treatment	۸روز	۱۱روز	۱۴روز	پتاسیم ۳۰٪	محرک ریشه زایی	آمینو اسید	هیومیک اسید	شاهد
	8 days	11 days	14 days	Humic acid	Amino acid	Rooting stimulant	Potassium 30%	Control
کارتنوئید								
Carotenoid (mg/g)	12.2 ^c	14.50 ^b	14.85 ^a	14.91	15.09	13.31	12.81	13.14
کلروفیل a								
Chlorophyll a(mg/g)	33.74 ^a	33.41 ^b	31.07 ^c	33.72	33.03	32.28	32.09	32.63
کلروفیل b								
Chlorophyll b(mg/g)	23.11 ^a	22.83 ^b	22.44 ^c	22.91	23.13	22.65	22.47	22.81

میانگین ها دارای حروف مشابه در هر ردیف فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن هستند.
The means with similar letters in each Row have no significant difference in the 5% probability level with Duncan test.

نتیجه گیری کلی

تنش خشکی نشان می دهد. تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل a و b و محتوای نسبی آب برگ شد ولی در مقابل باعث افزایش کارتنوئیدها، پرولین، قندهای محلول و پروتئین گردید. فاصله

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که لوبیا قرمز مانند اکثر گیاهان واکنش های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متعددی به

و بيو شیمیایی در گیاهان گردند که منجر به افزایش رشد و باعث کاهش اثرات منفی تنش کم آبی گردند. رویکرد استفاده از کودهایی با منشأ طبیعی همانند هیومیک اسید علاوه بر افزایش عملکرد می‌تواند در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی همچنین آلودگی محیط زیست نقش مثبتی ایفا کند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان مقله وجود ندارد.

بالای آبیاری، درصد پروتئین دلنه را افزایش داد. با وجود بالا بودن پروتئین دلنه در تیمار دور بالای آبیاری، عملکرد پروتئین در این تیمار به دلیل پایین بودن عملکرد دلنه کمتر از دو تیمار دیگر بود. کاربرد هیومیک اسید در شرایط تنش خشکی به کاهش غلظت پرولین و افزایش غلظت هیدرات کربن محلول در برگ منجر شد. این امر نشان می‌دهد که هیومیک اسید می‌تواند به عنوان کود آلی در تنظیم اسمزی تحت شرایط تنش خشکی مؤثر باشد. اسیدهای هیومیک و فولیک می‌توانند با عناصر غذایی خاک تعامل نمایند و باعث ایجاد واکنش‌های فیزیولوژیکی

References

- Abdalla, M., and El- Khoshiban, N.H. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(12), pp.2062-2074.
- Abu Seif , Y., El-Miniawy, S., Abu El-Azm, N., and Hegazi, A. 2016. Response of snap bean growth and seed yield to seed size, plant density and foliar application with algae extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), pp.187-199. doi: 10.1016/j.aos.2016.09.001
- Allahmoradi, P., Mansourifar, C., Saidi, M., and Jalali Honarmand, S. 2013. Waterdeficiency and its effects on grain yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. *Annals of Biological Research*, 4(5), pp.139-145. [In Persian].
- Armand, N., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Interaction of methanol spray and water-deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. *Photochemistry and Photobiology*, 92, pp.102-110. [In Persian]. doi: 10.1111/php.12548
- Asadi, B., Ghadiri, A., and Asteraki, H. 2013. Evaluation of drought stress tolerance indices in Chitti bean genotypes. *The 5th Iranian Pulse Crops Symposium*, Karaj, pp. 334-337. [In Persian].
- Bates, I., Waldern, R., and Teare, I. 1973. Rapid determination of free prolin for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205-207.
- Dere, S., Gunes, T., and Sivaci, R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b and total carotenoid cintents of some algae species using different solvents. *Journal of Botany*, 22, pp.13-17. doi: 10.1016/s0039-9140(97)00325-1
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, pp.3-14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021
- Emadi, N., Baluchi, H., and Worldview, S. 2012. Effect of drought stress on grain yield and some physiological characteristics of diffrent red bean genotypes. *Plant Ecophysiology*, 18, pp.1-11. [In Persian].
- Flexas, J., and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3- plants: stomatal and nonstomatal limitation revisited. *Annals of Botany*, 183, pp.183-189. doi: 10.1093/aob/mcf027

- Gardner, F. 2010. Physiology of crop plants. *Scientific Publishers (India), Crops*, 327 pp.
- Ghanati, F., Morita, A., and Yokota, H. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tobacco cells. *Soil Science and Plant Nutrition*, 48, pp.357-364. **doi: 10.1080/00380768.2002.10409212**
- Ghorbanali, M., Gafarabad, M., Amirikian, T., and Allahverdi, B. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in akria and mobil tomato cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 3, pp.651-658. [In Persian].
- Giancarla, V., Madosa, E., Ciulca, S., Coradini, R., Iuliana, C., Mihaela, M., et al. 2013. Influence of water stress on the chlorophyll content in barley. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 17, pp.223-228.
- Giasuddin, A., Kanel, S., and Choi, H. 2007. Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal. *Journal of Environment Science Technology*, 41(6), pp.2022-2027. **doi: 10.1021/es0616534**
- Goldani, M. 2012. Effect of irrigation intervals on some growth indices ecotypes basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Agricultural Research*, 10, pp.412-420. [In Persian].
- Hosseinzadeh, S., Amiri, H., and Ismaili, A. (2015). Effect of vermincompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1), pp.87-92. [In Persian]. **doi: 10.1007/s11099-015-0162-x**
- Jaleel, C.A, Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, J., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2009. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, pp.100-105.
- Jalilian, J., Modarres Sanavy, S., and Sabbaghpour, S. 2005. The effect of density and supplemental irrigation on yield, yield components and protein content of four chickpea (*Cicer aritinum*) cultivars under dry land condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12(5), 1-9. [In Persian].
- Jiang, Y., and Huang, B. 2001. Osmotic adjustment and root growth associated with drought pre-conditioning enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Journal of Crop Science*, 41, pp.1168-1173. **doi: 10.2135/cropsci2001.4141168x**
- Khalil, S., Nahed, G., Aziz, A., and Abou Leil, B. 2010. Effect of water stress and ascorbic acid on some morphological and biochemical composition of (*Ocimum basilicum*). *Journal of American Science*, 6, pp.33-44.
- Khan, A., Guramni, A., Khan, M., Hussain, F., Akhtar, M., and Khan, S. 2012. Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Chemical Society of Pakistan*, 6, pp.56-63.
- Koc, E., Islek, C., and Ustun, A. 2010. Effect of coldon protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23, pp.1-6.
- Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. In helebust J.A. *Craig J. (ed): Hand book of physiological method*, pp.96-97. Carbring unir. Press, Cambridge. (Handbook). **doi: 10.1007/978-3-642-67356-6_52**

- Kocira, S., Kocira, A., Kornas, R., Koszel, M., Szmigielski, M., Krajewska, M., et al. 2018. Effects of seaweed extract on yield and protein content of two *common bean* (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Legume Research*, 41 (4), pp.589-593. doi: **10.18805/lr-383**
- Korir, P., Nyabundi, J., and Kimurto, P. 2006. Genotypic responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to moisture stress conditions in Kenya. *Asian Journal of Plant Science*, 5, pp.24-32. doi: **10.3923/ajps.2006.24.32**
- Kumar, S., Verma, A., Das, M., Jain, S., and Dwivedi, P. 2013. Clinical complications of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption. *Nutrition*, 29, pp.821-827. doi: **10.1016/j.nut.2012.11.010**
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S., and Becker, D. 2013. Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxid Redox Signal*, 19(9), pp.998-1011. doi: **10.1089/ars.2012.5074**
- Liu, F., Andersen, M., Jacobsen, S., and Jensen, C. 2005. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L.) during progressive soil drying. *Environmental Journal of Experimental Botany*, 54, pp.33-40. doi: **10.1016/j.envexpbot.2004.05.002**
- Lotfi, R., Gharavi Kouchebagh, P., and Khoshvaghti, H. 2015. Biochemical and physiological responses of Brassica napus plants to humic acid under water stress. *Russ. J. Plant Physiol.*, 64(2), pp.480-486. [In Persian]. doi: **10.1134/s1021443715040123**
- Mertz-Henning, L., Ferreira, L., Henning, F., Mandarino, J., Santos, E., Oliveira, M., et al. 2017. Effect of water deficit induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. *Agronomy*, 8, pp.1-11. doi: **10.3390/agronomy8010003**
- Modarres-Sanavy, S., and Keshavarz, H. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two *canola cultivars*. *Journal of Crop Production*, 7, pp.161-171. [In Persian].
- Mohajerani, S., Alavifazel, M., Madani, H., Lak, S., and Madhaj, A. 2015. Effects of water shortage at different growth stages on physiological and biochemical traits in red bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 10(40), pp.41-50. [In Persian].
- Mohammadi, M., Tavakoli, A., Tavakoli, A., Pouryousef, M., and Mohseni Fard, E. 2018. The Effect of Epibrassinolide on Growth and Seed Yield of Bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Agricultural Crops Production*, 20, pp.595-608. [In Persian].
- Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asgari, A., and Shiri, M. 2016. Response of antioxidant defense system to osmotic stress in maize seedlings. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25, pp.805-811. [In Persian].
- Mohsenzade, S., Malboobi, M., Razavi, K., and Farrahi Aschtiani, S. 2006. Physiological and molecular responses of (*Aeluropus lagopoides*) to water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 56, pp.322-374. [In Persian]. doi: **10.1016/j.envexpbot.2005.03.008**
- Mozafari, S., Khorasani Nejad, N., and Ghorgin Shabankareh, H. 2017. The effect of irrigation regimes and the application of humic acid on some of the physiological and biochemical characteristics of purple herb in greenhouse conditions. *Journal of Crop Improvement*, 19(2), pp.401-416. [In Persian].

- Nasrollah Zadeh Asl, P., Shirkhani, A., Zehtab Salmasi, S., and Chokan, R. 2016. Effect of chemical and biological fertilizers on grain yield and corn leaf characteristics in different irrigation conditions. *Journal of Agricultural Practice Research*, 29(4), pp.75-86. [In Persian].
- Navvabpour, S., Hezar Jaribi, A., and Mazandarani, A. 2017. Investigating the effect of drought stress on important agronomic traits and protein and seed oil content in Glycin max L. genotypes. *Environmental Stress in Crop Sciences Journal*, 4(10), pp.491-503. [In Persian].
- Osman, A., and Rady, M. 2014. Effect of humic acid as an additive to growing media to enhance the production of eggplant and tomato transplants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 89(3), pp.237-244. [In Persian]. doi: **10.1080/14620316.2014.11513074**
- Puthur, J. 2016. Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants. *South Indian Journal of Biological Sciences*, 2(1), pp.9-13. doi: **10.22205/sijbs/2016/v2/i1/100335**
- Raeisi, M., Farahani, L., and Palashi, M. 2014. Changes of qualitative and quantitative properties of radish (*Raphanus sativus* L.) under foliar spraying through amino acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 4(1), pp.463-469. [In Persian]. doi: **10.12692/ijb/4.1.463-468**
- Rafiiolhossaini, M., Salehi, F., and Mazhari, M. 2016. The Effect of Drought Stress Intensity and Stage on Agronomic Characteristics of Two Common Bean Cultivars. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 5(11), pp.45-56. [In Persian].
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 53(1). [In Persian]. doi: **10.2478/v10182-011-0007-2**
- Ramroudi, M., and Khomr, A. 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmoregulators in basil (*Ocimum basilicum*). *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 1(1), pp.19-31.
- Sadat Rasti Sani, M., Lahouti, M., and Ganjeali, A. 2014. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 5, pp.103-116. [In Persian].
- Sadeghipour, O., and Aghaei, P. 2012. Response of common bean to exogenous application of salicylic acid under water stress condition. *Advances in Environmental Biology*, 6(3), pp.1160-1168. [In Persian].
- Saman, M., Sepehri, A., and Ahmadvand, G. 2011. Dry matter accumulation and compatible metabolites production of six chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under different soil moisture. *Iranian Journal of Biology*, 24(3), pp.373-389. [In Persian].
- Sassi-Aydi, S., Aydi, S., and Abdelly, C. 2014. Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*: lessons from a drought-sensitive cultivar. *Horticultural Science*, 49(5), pp.550-555. doi: **10.21273/hortsci.49.5.550**

- Shokouhi Far, y. 2016. Application of algae in agriculture. *Second International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Iran (Tabriz)*, 2325, Feb, pp.3-4. **doi: 10.1201/9781003165941-17**
- Siddiqui, M., Khaishany, M., Qutami, M., Whaibi, M., Grover, A., Ali, M., et al. 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 16, pp.10214-10227. **doi: 10.3390/ijms160510214**
- Silva, M., Jifon, J., Silva, J., and Sharma, V. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, pp.193-201. **doi: 10.1590/s1677-04202007000300003**
- Sorkhi, F. 2015. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer levels on physiological characteristics of four varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(3), pp.401-416. [In Persian].
- Tatrai, Z., Sanoubar, R., Pluhar, Z., Mancarella, S., Orsini, F., and Gianquinto, G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*, 10, pp.1-8. **doi: 10.1155/2016/4165750**
- Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M., Javanmardi, S., and Sharafzadeh, S. 2012. Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean genotype. *African Journal of Agriculture Research*, 7, pp.5661-5670. [In Persian]. **doi: 10.5897/ajar10.901**
- Zegaoui, Z., Planchais, S., Cabassa, S., Djebbar, R., Belbachir, O., and Carol, P. 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. *Journal of Plant Physiology*, 218, pp.26-34. **doi: 10.1016/j.jplph.2017.07.009**
- Zhang, K., Yu, H., Shi, K., Zhou, Y., Yu, J., and Xia, X. 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science*, 179(3), pp.202-208. **doi: 10.1016/j.plantsci.2010.05.006**

Evaluation of the biochemical characteristics of red beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) and seed protein under different levels of irrigation and growth stimulating compounds

Mohammad Kazem Alillou^{1*}, Mohsen Roshdi², Sasan Rezaoust², Javad Khalili Mahaleh²

¹ PhD Student, Department of Agriculture, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

*Corresponding Author: kazemalilou1@gmail.com

Received: 27 May 2022

Accepted: 7 October 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.351363.1260

Abstract

Introduction: In recent years, dehydration has led to different reactions in drought-sensitive plants, including red beans. The decreased level of available water resulted in adverse effects on the yield and biochemical characteristics of red beans. The results of variance analysis indicated that irrigation levels and growth stimulants had significant effects on soluble sugar, leaf relative water content, protein percentage, and seed yield. Increased time intervals between irrigations increased the proline content, while decreasing carotenoids and chlorophyll in the whole leaves. Application of humic acid significantly affected the yield and protein percentage in the seeds. As the time interval between irrigations increased, the biochemical and agronomic traits affecting the growth and development of red beans were disturbed, leading to a decrease in the seed yield.

Materials and Methods: An experiment was conducted in a farm in Pir Musa, Khoy (38°34'26"N 44°53'24"E) at 1157 m above sea level in 2021 to evaluate the effect of growth promoters on biochemical traits and proteins of kidney beans under different irrigation levels. Chemical and physical properties of the farm soil and the climate information of the area during the experiment are listed in Tables 1 and 2, respectively. The experiment was conducted using a SPLAT plot plan in the form of purely random blocks with 3 iteration in 45 terraces. The primary agent was irrigation at three levels of each 8, 14, and 14 days and the secondary agent was five different cases of humic acid 95% (15% fulvic acid, 35% humic acid, 30% seaweed, and 15% potassium), amino acid 25% (25% amino acid, 1% ascorbic acid, 100 ppm vitamin B1, and 25% fulvicol acid), rooting stimulator (18% phosphorus, 5% nitrogen, 25% fulvicol acid and 25% organic matter), potassium 30% (30% potassium and 25% amino acid), and no additional material (control). Genetically-modified commercial sun ray cultivar inoculated with Phaseoli strain R117 rhizobium leguminosarum bacteria was used provided by the Soil and Water department of Agricultural Research Center of West Azerbaijan Province. Each experimental terrace was composed of five 4 m-long rows with 60 cm spacing. The space between adjacent plants on each row was 8 cm. There was two unplanted rows between adjacent terraces, and a 1.5 m space was considered between blocks to prevent water penetration during irrigations. The seeds were planted by hand on May 15, 2021 at the depth of 4-5 cm. The first irrigation was after planting the seeds using a leak pipe and then, all terraces were irrigated each 8, 11, and 14 days. The foliar spraying treatment included amino acid 25%, rooting stimulator, and potassium 30%, but the humic acid 95% treatment was carried out twice with irrigation (2 kg per hectare) before flowering and capsule initiation.

Results and Discussion: The water shortage decreased the carotenoid content of leaves in the red bean plant. The maximum carotenoid content is observed once in 8 days with irrigation levels of 18.41, with the minimum carotenoid content observed for severe stress (irrigation once in 14 days) by 11.06 mg/g. Increasing the irrigation interval significantly reduced the amount of chlorophyll b and an in the leaves so that in the severe stress treatment (irrigation once in 14 days), this reduction was more evident compared to the normal irrigation treatment (irrigation once in 8 days). Moreover, the interaction effect of the two investigated factors was significant on proline, relative leaf water content, soluble sugars, protein percentage, and grain yield. Drought stress increases the number of

soluble sugars in red bean plants compared to normal irrigation conditions. The maximum soluble sugar in severe stress (irrigation once every 14 days) is 80.35 mg/g and the control treatment and the minimum soluble sugar in normal irrigation (irrigation once every 8 days) is 36.33 mg/g and control treatment. According to the results of comparing the means, the maximum proline content was observed in the levels of irrigation once every 14 days, and the control treatment (no use) was equal to 18.59 mg/g of fresh weight and the minimum content of proline was observed in the levels of irrigation once every 8 days and Humic acid treatment at the rate of 8.31 mg per fresh weight. In addition, the maximum relative water content of leaves observed in irrigation levels once every 8 days and humic acid treatment and the minimum relative water content of leaves observed in irrigation levels once every 14 days and control treatment (no use), as 86.32 and 51.82, respectively. The grain protein percentage increased following applying drought stress and increasing the irrigation interval, so that the maximum percentage of grain protein was obtained in the treatment of irrigation every 14 days and no stimulants, with the minimum observed in the treatment of irrigation once every 8 days and the use of potassium. So that the maximum grain yield was obtained in the treatment of irrigation once every 8 days and humic acid at the rate of 3076 kg/ha and the minimum in the treatment of irrigation once 14 days and the absence of growth stimulants at the rate of 1221 kg/ha

Conclusion: The results of a one-year experiment show that the biochemical compounds such as proline and soluble sugars increase and the chlorophyll content of the leaves decreases drastically with the application of drought stress in red beans, which leads to a severe drop in grain yield in the treatments under stress.

Keywords: Amino acid ,Leaf chlorophyll, Proline, Protein percentage, Relative water content

Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 6, No. 2, Summer 2024

Publisher: University of Zabol

Editor-in-Chief: Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Managing Editor: Dr. Esmaeel Seyedabadi, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Editorial Board:

Dr. Seyyed Jalal Tabatabaei, Professor, Department of Horticultural, University of Shahed

Dr. Naser Majnoon Hoseini, Professor, Department of Agricultural Science, University of Tehran

Dr. Mohammad Reza Shakiba, Professor, Department of Plant Ecophysiology, University of Tabriz

Dr. Seyyed Mohsen Mousavi Nik, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Mohammad Sedghi, Professor, Department of Agronomy, University of Ardabil

Dr. Khosro Azizi, Professor, Department of Agronomy, Lorestan University

Dr. Abdol Ali Ghafari, Associate Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI)

Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Behnam Kamkar, Professor, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad

Dr. Reza Sadrabadi Haghighi, Professor, Department of Agronomy Islamic Azad University of Mashhad

Dr. Mahmoud Ramroodi, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Mehdi Dahmardeh, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

International Advisory Board:

Dr. Aria Dolatabadian, Assistant Professor, University of Western Australia, Australia

Dr. Howard Charles Lee, University of Hadlow College, England

Dr. Amit Kesarwani, Assistant Professor, University of Pantnagar, India

Dr. Shahzad maqsood Ahmed Basra, Professor, University of Agricultural, Faisalabad, Pakistan

Dr. Murat Tunçtürk, Professor, University of Van Yüzüncü Yıl, Turkey

Assistant Editors: Dr. Esmaeel Seyedabadi, Dr. Abbas Nasiri Dehsorkhi

Typesetting: Fatemeh Fathi

Address: Journals office, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Bonjar Road, Zabol, Iran, 9861335856.

Tel: +98(54)31232102, **Fax:** +98(54)31232100

Email: csraa@uoz.ac.ir, csraa.uoz1@gmail.com

URL: www.cropsceince.uoz.ac.ir

Yield evaluation of a shattering tolerant sesame genotype grown under different planting arrangements and densities in the hot and dry climate of the South East	413
Majid Gholamhoseini; Ahmad Aein; Behnam Bakhshi; Sadollah Mansouri; Farnaz Shariati	
Evaluation of the efficiency of WAASB, WAASBY indices and and linear mixed effects model (LMM) for identifying high- yielding lentil genotypes adapted to rainfed regions	431
Payam Pezeshkpour; Mohammad Armion; Borzo Rostami	
The effect of culture substrate and seed pretreatment on the production of papaya seedlings of Bangladeshi variety	453
Ali Najm; Mehdi Aran; Abdolrahman Rahimian Boogar	
Study the effect of the using of mycorrhiza and different levels of manure and chemical fertilizers on some traits of forage cactus (<i>Opuntia ficus-indica</i> L.)	467
Fatemeh Fateminick; Khosro Azizi; Soraya Ghasemi; Omid ali Akbarpoor	
The effect of land consolidation on the yield of wheat fields in Kerman with the Translog function approach	487
Hamidreza Safari; Mahdi Safdari; Amir Dadrasmoghadam	
Effect of low irrigation stress on yield, physiological characteristics and Non-enzymatic antioxidants of cotton cultivars (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	501
Hamid Kouhkan; Ali Nakhzari Moghaddam; Ali Rahemi Karizaki; Omran Alishah	
Evaluation of the growth rate, yield, and yield components of promising autumn safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) genotypes under water deficit stress during the reproductive period	521
Samaneh Sajedi Chilak; Saeid Hazrati; Bahman Pasban Eslam; Amir Reza Sadeghi-bakhtvari	
Evaluation of the biochemical characteristics of red beans (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.) and seed protein under different levels of irrigation and growth stimulating compounds	541
Mohammad Kazem Alilou; Mohsen Roshdi; Sasan Rezadust; Javad Khalili Mahaleh	

Volume 6, Number 2, Summer, 2024

ISSN:2423-611X(print)
ISSN:2588-4603(online)

- Identification of REAMP markers related to morpho-physiological and agronomic traits in oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) under normal and limited irrigation conditions** 245
Nasrin Akbari; Reza Darvishzadeh
- The effect of inoculation of Rhizobium (*Mesorhizobium*) and Arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus claroideum*) on agricultural characteristics of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping** 261
Zahra Marzban; Elham Faryabi; Hadis Zaremanesh; Pariya Asgharzadeh
- Using a step-by-step regression model to identify plant traits related to yield in rice (*Oryza sativa*) under drought stress conditions** 281
Hadiseh Faramarzi Kohsar; Ali Rahemi Karizaki; Hossein Sabouri; Abbas Biabani; Masoomeh Naeimi
- Evaluation of rapeseed cultivars in different planting dates using comparative performance analysis method in yield components and phenological stages of development** 295
Seyed Ali Tabatabaei; Amin Anagholi; Hamid Jabbari
- Investigation of compatibility of internal and external sesame germplasm** 313
Morvarid Rezaei; Nafiseh Mahdi Nezhad; Fatemeh Ebrahimi; Ahmad Aien; Barat Ali Fakheri; Abbasali Emamjomeh
- Evaluation of physicochemical responses and storage of late melon (*Cucumis melon* L.) in irrigation with saline water** 329
Soodabeh Einafshar; Seyyed Fazel Fazeli Kakhki; Javad Baghani; Shahram Riahinia
- Evaluation of the effect of drought stress on agronomic and physiological characteristics of melon under application of animal manure and bentonite** 345
Habib Rostami; Mahdi Dahmardeh; Mohammad Galavi; Mahmood Ramroudi; Mohammadreza Narooeirad
- Genetic diversity of beard wheat genotypes in response to zinc efficiency in a calcareous soil** 365
Zahra Bahrevar; Ezatollah Esfandiari; Sedigheh Hajihousenloo; Esmail Karimi; Shahriyar Dashti
- Investigation the effect of planting distance on morphological traits, yield and yield components and quality of grain quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)** 381
Mahmood Eslami; Hadi Salek Mearaji; Davood Jamshidi; Aram Taghavi; Iran Adinevand
- Yield gap analysis for irrigation wheat (*Triticum aestivum* L.) production system in some location of Kermanshah province using CERES-Wheat model** 395
Farzad Mondani; Babak Gholami; Alireza Bagheri; Gholamreza Mohammadi

The list is continued on the back cover.....