



تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

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

جلد چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱

- ۱ تأثیر محلول پاشی هورمون سیتوکینین بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام گندم
مهديه سادات حسینی، هادی سالک معراجی، افشین توکلی، رضا فتوت
- ۱۹ تأثیر نظام‌های مختلف تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت رایج و فواصل ردیف خیلی باریک
ام‌الله شمس، محمد آرمین، متین جامی معینی
- ۳۳ آنالیز رشد گیاه دارویی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo convar. pepo var. Styriaca*) با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده تحت تیمارهای متفاوت آبیاری و مالچ پلاستیکی
سیاوش برده جی، محمد بنایان، سارا زارع، مهرداد محلوچی، عباس نصیری دهرسخی
- ۴۹ ارزیابی و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین (مطالعه‌ی موردی: دشت تجن مازندران)
مرضیه باقری خانقاهی، سید حسن میرهاشمی، مهدی پناهی
- ۶۱ بررسی نقش فتوسنتزی برگ و گل آذین گلرنگ در عملکرد و محتوی روغن تحت تنش کم‌آبی
سعید حضرتی، نادر صالح نیا، امیر رضا صادقی بختوری، هادی اسدپور، بهمن پاسبان اسلام
- ۷۷ تأثیر کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست بر ویژگی‌های خاک مزرعه و غلظت عناصر غذایی دانه کینوا رقم Red در منطقه سیستان
افسانه سلطان زاده، سید احمد قنبری، اسماعیل سیدآبادی
- ۸۷ شناسایی ارقام گندم نان و دوروم مناسب کاشت در منطقه ارزوئیه استان کرمان
محمدعلی جواهری
- ۹۷ پهنه‌بندی زراعی - بوم شناختی کشت اسفرزه (*Plantago ovata*) در منطقه سیستان با استفاده از مدل بولین و تحلیل سلسله مراتبی
محمد رضا اصغری پور، زهرا مرزبان
- ۱۱۳ تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه داروئی خار مریم (*Silybum marianum*)
مصطفی سارانی ملاک، مریم اله دو، لیلا مهرآوران، حلیمه پیری
- ۱۲۹ واکنش عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا به تنش کم آبیاری و سطوح کود نیتروژن
محسن کریمی آذر، ناصر مجنون حسینی، محمد رضا بی همتا
- ۱۴۱ عملکرد و اجزای عملکرد، ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در مراحل مختلف رشد
لیلا طاهرآبادی، فرخ کفیل‌زاده
- ۱۵۳ اثر کاربرد سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو رقم ماش (*Vigna radiata* L.) در سیستان
مسعود برجاس، لیلا مهرآوران، مریم اله دو، صالحه گنجعلی

ادامه فهرست در پشت جلد

- ۱۷۳ تأثیر نوع پیوند و سن پیوندک بر دوره نونهالی گیاه دارویی باریجه (*Ferula gumosa Boiss*) توده خراسان شمالی
غلامعلی ولی زاده، رضا برادران، سید غلامرضا موسوی، فاطمه نخعی
- ۱۸۳ بررسی تنوع ژنتیکی برای صفات شیمیایی در جمعیت لاین‌های خالص نو ترکیب توتون شرقی
پرویز گودرزی مگری، رضا درویش زاده، بهرام ملکی زنجانی، مرجان جنت دوست
- ۱۹۷ ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های جو بهاره از لحاظ برخی صفات فنولوژیکی و مورفولوژیکی
رامین مدرسی، علیرضا پورمحمد، بهزاد صادق زاده
- ۲۱۳ ترسیب کربن و پتانسیل گرمایش جهانی مزارع گندم آبی و دیم در مناطق نیمه‌خشک (مطالعه موردی: شهرستان
شیروان)
مهدی بابائیان، اسماعیل شیرغانی، مصطفی جعفریان
- ۲۲۹ اثر بیوچار و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea L.*)
در شرایط عدم تنش و تنش خشکی
طاهره امامی
- ۲۴۵ واکنش‌های فیزیولوژیکی و زراعی ارقام مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa Willd*) به هیدروپرایمینگ در
شرایط تنش خشکی
فتح اله نادعلی، حمید رضا اصغری، حمید عباس دخت، وجیهه درستکار، محمود باقری
- ۲۶۳ ارزیابی پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دیم در شرایط بهره‌بردار
مهناز رحمتی، علی احمدی، علی میناپور، کیانوش حمیدیان
- ۲۷۷ تأثیر آبیاری جزئی ریشه و مدیریت کوددهی بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب در باقلا
کامیار کاظمی، سیدنادر موسویان

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱

این نشریه بر اساس آیین نامه نشریات علمی مصوب ۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۰ 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

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

مدیر مسئول: دکتر اسماعیل سیدآبادی، استادیار 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 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 رمرودی، دانشیار 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، عباس نصیری ده سرخی

صفحه آرا: مریم الشریف

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

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

وبگاه: www.cropscience.uoz.ac.ir

پست الکترونیک: csraa@uoz.ac.ir، csraa.uoz1@gmail.com

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، پاراگراف‌بندی 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 In Persian آورده شود).

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): 241-254. (In Persian).

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

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 ارائه 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.

تأثیر محلول پاشی هورمون سیتوکینین بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام گندم

مهديه سادات حسینی^۱، هادی سالک معراجی^۲، افشین توکلی^{۳*}، رضا فتوت^۳

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

۲- گروه علوم کشاورزی، دانشکده باهنر پاکدشت و شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبه: tavakoli@znu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306638.1138

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

چکیده

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی دنیا است. به‌کارگیری راه‌کارهایی که سبب بهبود عملکرد گندم شود، بسیار ضروری است. به‌منظور بررسی اثرات محلول پاشی سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل محلول پاشی بنزیل‌آمینوپورین در دو سطح (صفر (شاهد) و ۵۰ میکرومولار) و شش رقم گندم (آزادی، کرج ۳، روشن، فلات، سرداری و باواروس) بودند. محلول پاشی هورمون در مرحله‌ی ۵۰ درصد ظهور خوشه‌ها (کد ۵۵ مرحله رشدی زادوکس) سه مرتبه به فاصله هر هفت روز یک بار انجام گردید. سرعت فتوسنتز، دوام شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه با کاربرد سیتوکینین افزایش معنی‌داری داشت. طول دوره پر شدن همه ارقام به‌جز رقم فلات با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت. هم‌چنین، کاربرد سیتوکینین سرعت پر شدن دانه همه ارقام را کاهش ولی رقم روشن را به‌میزان ۱۷/۳ درصد افزایش داد. محلول پاشی سیتوکینین وزن خشک نهایی دانه ارقام آزادی، روشن و باواروس را به‌ترتیب به‌میزان ۵/۶، ۱۴/۸ و ۶/۲ درصد افزایش داد ولی بر سایر ارقام اثر معنی‌داری نداشت. از بین ارقام مورد بررسی، رقم آزادی با میانگین ۱/۰۸ و رقم سرداری با ۱/۵۵ میلی‌گرم در روز به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه را دارا بودند. کاربرد سیتوکینین طول دوره پر شدن دانه همه ارقام به‌غیر از رقم روشن را افزایش داد. در شرایط بدون کاربرد سیتوکینین، رقم آزادی با ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و رقم روشن با ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را دارا بودند. نتایج نشان داد که واکنش ارقام گندم به کاربرد سیتوکینین یکسان نبوده و نتیجه به‌دست آمده در ارقام مختلف گندم متفاوت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بنزیل‌آمینوپورین، پر شدن دانه، دوام سطح برگ، فتوسنتز، *Triticum aestivum*.

مقدمه

محیطی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های گزینش ارقام می‌باشد (Bakhshayeshi, 2011). بر همین اساس، مطالعه و بررسی پایداری و سازگاری ارقام و لاین‌ها در شرایط محیطی مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Rahemi karizaki et al., 2020). عملکرد دانه یک ژنوتیپ تحت تأثیر اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط است (Mehari et al., 2014)؛ بنابراین برای توصیه ارقام، علاوه بر عملکرد دانه، درجه سازگاری و ثبات عملکرد نیز بسیار مهم هستند (Bakhshayeshi, 2011). پژوهش‌های مختلفی در رابطه با تفاوت ارقام گندم از نظر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و صفات مرتبط با عملکرد دانه با یکدیگر، گزارش گردیده (Bakhshayeshi and Bakhshayeshi, 2012; Karimi et al., 2012; Hooshmandi, 2015; Aydin et al., 2010;

گندم یک محصول استراتژیک در جهان بوده (Khajehpour, 2014) که از نظر سطح زیر کشت رتبه اول و از نظر تأمین غذا، پس از برنج در رتبه دوم قرار دارد (FAOSTAT, 2018). در حال حاضر، گندم بیش از ۱۹ درصد کالری غذای انسان را تأمین کرده و تقریباً ۳۰ درصد تولید غلات در سراسر جهان را شامل می‌شود (Reynolds and Braun, 2019). جمعیت جهان هم‌چنان در حال افزایش بوده و همین عامل منجر به افزایش تقاضا برای غذا شده است (Nguyen et al., 2020)؛ بنابراین افزایش عملکرد گیاهان جهت تأمین امنیت غذایی در جهان ضروری است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که میانگین بارندگی سالانه آن‌ها تقریباً ۲۵۰ میلی‌متر است (Salehnia et al., 2020)، ثبات و پایداری عملکرد گندم در شرایط مختلف

داخلی سیتوکینین از طریق دست‌ورزی ژنتیکی، سبب افزایش سرعت رشد گیاهچه، محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل، عملکرد و کیفیت دانه گندم در شرایط تنش خشکی گردید (Joshi *et al.*, 2019). کاربرد خارجی هورمون سیتوکینین در گندم سبب افزایش طول خوشه (Aldesuquy *et al.*, 2013) و دوام سطح برگ (Alizade *et al.*, 2010) گردید. گزارش شده است که محلول‌پاشی سیتوکینین از طریق تأثیر بر دوام سطح برگ و افزایش تعداد سلول‌های آندوسپرم، وزن دانه را افزایش می‌دهد (Ghatei *et al.*, 2015). عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت که احتمالاً به علت تحریک تقسیم سلولی، تأخیر در پیری گیاه، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و افزایش دوره فعال رشد دانه، سبب افزایش وزن دانه‌ها می‌شود (Saeidi *et al.*, 2006). افزایش تعداد برگ (Abd El-Rheem and Mahdy, 2014)، سطح برگ (Nagar *et al.*, 2015; Zaheer *et al.*, 2019; Farouk and Sanusi, 2019) شاخص سبزیگی (Zaheer *et al.*, 2019)، سرعت فتوسنتز (Khamdi *et al.*, 2019; Dwivedi *et al.*, 2014; Zaheer *et al.*, 2019; Nagar *et al.*, 2015; Sarfraz Ardakani, 2019; Farouk and Sanusi, 2019)، عملکرد زیست‌توده (Nagar *et al.*, 2015; Zaheer *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2019)، عملکرد دانه (Khamdi *et al.*, 2019; Nagar *et al.*, 2015; Zaheer *et al.*, 2019; Nagar *et al.*, 2015) شاخص برداشت (Saeidi *et al.*, 2006; Nagar *et al.*, 2015; Emam *et al.*, 2013) کاربرد سیتوکینین، بیانگر آن است که محلول‌پاشی سیتوکینین در شرایط تنش رطوبتی، می‌تواند سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گردد.

نکته قابل توجهی که در پژوهش‌های مختلف گزارش شده این است که واکنش ارقام مختلف گندم نسبت به کاربرد هورمون‌ها با یکدیگر متفاوت است. به‌عنوان مثال، در پژوهشی گزارش شده که واکنش ارقام پیشگام و MV-17 گندم نسبت به کاربرد سیتوکینین و آبسیزیک اسید متفاوت بود (Sarafraz *et al.*, 2018). در آزمایش دیگری گزارش شده است که واکنش ارقام گندم ریژاو و آذر ۲ نسبت به کاربرد اکسین، جیبرلین و سیتوکینین در شرایط دیم با یکدیگر تفاوت داشت (Jalali Honarmand *et al.*, 2018). در پژوهشی، گزارش

(Rahemi karizaki *et al.*, 2020) که ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی و اثر عوامل محیطی بر آن‌هاست. به‌عبارت بهتر، وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط سبب بروز تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در بین ژنوتیپ‌ها می‌گردد.

هورمون‌های گیاهی از مهم‌ترین عوامل داخلی تنظیم‌کننده رشد و نمو گیاهان هستند (Sinclair and Jamieson, 2006). نقش برجسته فیتوهورمون‌ها در نمو گندم، به‌ویژه در مراحل که عملکرد دانه را تعیین می‌کنند، بدین معناست که آگاهی در رابطه با تنظیم هورمونی یک عامل کلیدی در برنامه‌های آینده تولید گندم است (Nguyen *et al.*, 2020) استفاده از فیتوهورمون‌ها به‌عنوان شاخص‌های اولیه عملکرد در برنامه‌های مدرن پرورش گندم، راهی امیدوارکننده برای تولید محصولات مقاوم به آب و هوا با عملکرد بالا است (Jameson and Song, 2016; Wani *et al.*, 2016). پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد خارجی برخی از فیتوهورمون‌ها در شرایط مطلوب و تنش، سبب بهبود کیفیت و کمیت محصول می‌گردد (Nimir *et al.*, 2015). سیتوکینین یکی از هورمون‌های گیاهی بوده که بر فرآیندهای رشد و نموی مختلفی مانند تقسیم سلول، پیری برگ، انتقال و ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی، غالبیت انتهایی، تشکیل و فعال‌سازی مریستم انتهایی، نمو گل، شکستن خواب جوانه، جوانه‌زنی، تمایز کلروپلاست، تمایز سلول‌ها، کنترل چرخه سلولی و گسترش برگ (Ketelsen, 2012)، روابط منبع - مخزن گیاه در زمان پر شدن دانه، گل‌دهی و نمو بذر نقش دارد (Peleg *et al.*, 2011).

پژوهش‌ها بیانگر آن است که افزایش غلظت سیتوکینین در گیاه به روش‌های مختلف، ممکن است سبب افزایش تحمل گیاه به شرایط نامطلوب محیطی گردد. گزارش گردیده که کاربرد سیتوکینین در شرایط تنش سبب حفظ غلظت کلروفیل برگ جو، گندم و ذرت گردید (Yaronskaya *et al.*, 2006; Zavaleta-Mancera *et al.*, 2007). هم‌چنین عنوان گردیده است که هورمون سیتوکینین سبب کاهش سرعت پیری برگ می‌شود (Peleg *et al.*, 2011; Qin *et al.*, 2011). تأخیر سرعت پیری برگ در گیاهان، به‌ویژه در شرایط تنش آبی، می‌تواند به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده و هم‌چنین روابط منبع - مخزن کمک کرده و بنابراین منجر به بهبود عملکرد محصول می‌شود (Joshi *et al.*, 2019). افزایش بیوسنتز

آفت سن گندم، یک مرتبه در مرحله خوشه‌دهی حشره‌کش دلتامترین با غلظت ۰/۵ در هزار محلول پاشی گردید. آبیاری نیز بر اساس عرف منطقه هر هفت روز یکبار به صورت آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ انجام گردید. محلول پاشی هورمون سیتوکینین نیز با ترکیب بنزیل‌آمینوپورین (BAP) طی سه مرتبه (به فاصله هفت روز یکبار) در مرحله‌ی حدود ۵۰ درصد ظهور خوشه‌ها (کد ۵۵ مرحله رشدی زادوکس) انجام شد (Zadoks et al., 1974). تیمار شاهد نیز سه مرتبه با آب شهری محلول پاشی گردید. پنج روز پس از محلول پاشی نوبت سوم، شاخص سبزیگی هر تیمار به کمک کلروفیل متر دستی مدل CCM-200 از برگ پرچم پنج بوته اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان عدد نهایی گزارش گردید. سرعت فتوسنتز نیز در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح به کمک دستگاه فتوسنتز متر مدل LCA4-ADCCO.UK مورد سنجش قرار گرفت. سطح برگ به کمک دستگاه پهنه‌سنج مدل VME/K 900 اندازه‌گیری شد. بدین منظور، یک هفته پس از محلول پاشی نوبت سوم، تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و سپس در آزمایشگاه سطح برگ اندازه‌گیری گردید. در ادامه شاخص سطح برگ به کمک معادله ۱ و دوام شاخص سطح برگ طبق معادله ۲ محاسبه گردید (Aldesuquy et al., 2013).

$$LAI = \frac{LA}{GA} \quad \text{معادله ۱:}$$

LAI: شاخص سطح برگ، LA: سطح برگ، GA: سطح زمینی که توسط برگ اشغال شده است.

$$LAID = \frac{LAI_1 + LAI_2}{2} \times t_2 - t_1 \quad \text{معادله ۲:}$$

LAID: دوام شاخص سطح برگ، LAI_1 و LAI_2 به ترتیب شاخص سطح برگ نمونه برداری اول و دوم، t_1 و t_2 به ترتیب زمان نمونه برداری اول و دوم.

به منظور تعیین روند رشد دانه‌ها، بعد از اتمام دوره گل‌دهی، هر هفت روز یکبار تا زمان رسیدگی کامل خوشه‌ها نمونه برداری انجام شد. در هر بار نمونه برداری، پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت کفبر شده و پس از جداسازی خوشه‌ها در پاکت‌های کاغذی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند سپس وزن خشک دانه‌ها با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۱) اندازه‌گیری گردید. پس از محاسبه‌ی وزن خشک تک دانه، روند رشد دانه از معادله

کرده‌اند که تأثیر کاربرد هورمون سیتوکینین و آبسزیک اسید در ارقام گندم متفاوت است (Khosravi-Nejad et al., 2013). همچنین گزارش شده که واکنش ارقام سیوند و پیش‌تاز گندم به کاربرد سیتوکینین متفاوت بود (Jalali-Honarmand et al., 2015). در پژوهش دیگری، مشخص گردیده که تأثیرپذیری ارقام جو به کاربرد سیتوکینین با یکدیگر تفاوت داشت (Maddah Hosseini et al., 2008). با توجه به نتایج گزارش شده، هورمون سیتوکینین می‌تواند سبب ثبات عملکرد گندم گردد. این در حالی است که واکنش ارقام گندم نسبت به کاربرد سیتوکینین با یکدیگر متفاوت است، بر همین اساس، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی سیتوکینین بر ارقام مختلف گندم طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، با مختصات جغرافیایی ۱۵° ۲۴' ۴۸" طول شرقی و ۳۶° ۴۰' ۳۷" عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد هورمون سیتوکینین در دو سطح (صفر و ۵۰ میکرومولار) و شش رقم گندم (آزادی، کرج ۳، روشن، فلات، سرداری و باواروس) بود. ارقام مورد استفاده در پژوهش حاضر از بین ۶۴ رقم گندم که طی آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته بودند، گزینش شد. به منظور اجرای طرح، ابتدا در تاریخ سوم مهرماه زمین مورد نظر با گاواهن برگردان‌دار به عمق ۳۰ سانتی‌متر شخم زده شد. پس از انجام شخم، مقدار ۱۶۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات‌تریپل، ۱۲۰ کیلوگرم پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژنه اوره به عنوان استارتر بر اساس عرف کشاورزان منطقه، به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک، با لولر زمین مورد نظر تسطیح گردید. در ادامه، کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول چهار متر بود. کاشت بذر در نیمه اول مهرماه (۱۴ مهرماه) توسط عمیق‌کار غلات انجام گردید. در بهار نیز مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک به محصول داده شد. علف‌های هرز کرت‌ها نیز به صورت مکانیکی (وجین کردن) کنترل شد. جهت مبارزه با

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100$$

معادله ۶:

HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه و BY: عملکرد

زیست توده.

پس از اندازه‌گیری‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، مقایسات میانگین، ضرایب همبستگی صفات و برازش خطوط رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹.۱) انجام شد. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام محاسبه گردید. جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده گردید.

نتایج و بحث

شاخص سبزی‌نگی برگ (SPAD)

تیمار رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر شاخص سبزی‌نگی برگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) داشت (جدول ۱). تأثیر محلول پاشی سیتوکینین بر شاخص سبزی‌نگی در ارقام مورد بررسی بسیار متفاوت بود (شکل ۱). سیتوکینین بر شاخص سبزی‌نگی ارقام فلات، کرج ۳، روشن و یاوروس اثر معنی‌داری نداشت ولی شاخص سبزی‌نگی رقم سرداری را به میزان ۱۱۶/۲ درصد افزایش و رقم فلات را به میزان ۱۲/۸ درصد کاهش داد (شکل ۱).

لجستیک (معادله ۳) محاسبه گردید (Duguid and Brule- (Babel, 1994).

$$Y = \frac{W}{1 + Be^{-cx}}$$

معادله ۳:

که در این معادله، Y: وزن دانه (میلی‌گرم)، W: وزن نهایی دانه (میلی‌گرم)، B: ضریب مربوط به سرعت و دوره پر شدن دانه، C: ضریب مربوط به سرعت پرشدن دانه و X: روز پس از گرده‌افشانی بود.

با توجه به اینکه از نظر تئوری در معادله وزن دانه هرگز به وزن نهایی دانه نمی‌رسد، دوره پر شدن دانه را از زمان گرده‌افشانی تا رسیدن وزن دانه به ۹۵ درصد وزن نهایی دانه، با قرار دادن در معادله ۴ به دست می‌آوریم:

$$D = \frac{\ln B - \ln 19}{c}$$

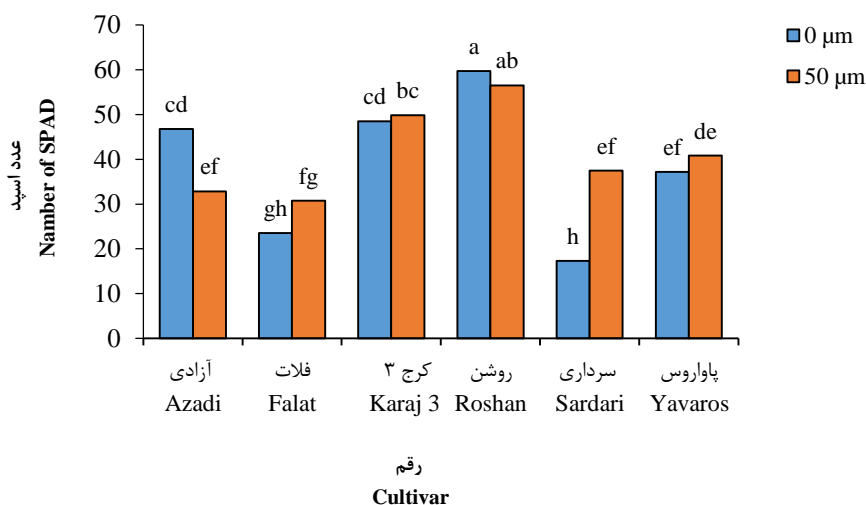
معادله ۴:

D: طول دوره پرشدن دانه و B و C ضرایب برآوردی معادله می‌باشد. سرعت پر شدن دانه نیز بر اساس معادله ۵ محاسبه گردید:

$$SFR = \frac{GW}{GF}$$

معادله ۵:

SFR: میانگین سرعت پر شدن دانه، GW: وزن نهایی دانه، GF: طول دوره پر شدن دانه. به‌منظور بررسی عملکرد دانه و اجزای عملکرد، پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان، دو متر مربع از هر کرت برداشت و صفات تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. شاخص برداشت نیز به کمک معادله ۶ برآورد گردید (Karam et al., 2007).



شکل ۱- اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر شاخص سبزی‌نگی

Figure 1- The interaction effect of cytokinin × cultivar on greenness index

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد ارقام گندم با کاربرد سیتوکینین

Table 1- Analysis of variance of physiological traits and yield components of wheat whit cytokinin application

| شاخص برداشت Harvest Index | عملکرد زیست توده Biological yield | عملکرد دانه Grain yield | وزن هزار دانه Weight of thousand grain | وزن خشک نهایی دانه Final grain dry weight | سرعت پر شدن دانه Grain filling rate | طول دوره پر شدن دانه Grain filling period | تعداد دانه در بوته Number of grain per plant | دوام شاخص سطح برگ Leaf area index duration | سرعت فتوسنتز خالص Net CO ₂ assimilation rate (A _{CO₂}) | شاخص سبزیگی Index Greenness | درجه آزادی d.f | منابع تغییرات S. O. V |
|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|--|--|--|---|---|---|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 35.08 ^{ns} | 1939047.8 ^{ns} | 679511.96 ^{ns} | 15.44 ^{ns} | 5.61 ^{ns} | 0.07 ^{ns} | 4.14 ^{ns} | 1251.9 ^{ns} | 2.94 ^{ns} | 5.52 ^{ns} | 48.35 ^{ns} | 3 | تکرار Repeat |
| 53.79 ^{ns} | 36517037.01 [*] | 9289866.90 ^{**} | 49.58 [*] | 3.08 ^{**} | 0.10 ^{ns} | 412.77 ^{**} | 4998.3 ^{ns} | 664.4 ^{**} | 109.95 ^{**} | 75.16 ^{ns} | 1 | سیتوکینین Cytokinin |
| 155.31 [*] | 20809416.7 [*] | 7095746.53 ^{**} | 239.33 ^{**} | 189.16 ^{**} | 0.20 ^{**} | 94.29 ^{**} | 7427.9 ^{**} | 102.04 ^{**} | 25.48 ^{**} | 1180.9 ^{**} | 5 | رقم Cultivar |
| 78.11 ^{ns} | 1959939.8 ^{ns} | 1908450.23 ^{**} | 2.49 ^{ns} | 18.98 ^{**} | 0.04 ^{ns} | 60.78 ^{**} | 2318.8 ^{ns} | 94.44 ^{**} | 4.27 ^{ns} | 254.6 ^{**} | 5 | سیتوکینین × رقم C × C |
| 46.72 | 7576856.8 | 377500.18 | 9.55 | 3.46 | 0.04 | 1.60 | 683.95 | 21.53 | 3.02 | 17.17 | 33 | خطای آزمایشی Error |
| 20.88 | 18.54 | 12.84 | 7.40 | 3.94 | 15.11 | 3.70 | 20 | 13.77 | 20.72 | 13.01 | -- | ضریب تغییرات C.V (%) |

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

ذرت (Pan and Xu, 2011; Davani *et al.*, 2016) نیز گزارش گردیده که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که واکنش ارقام مختلف به کاربرد سیتوکینین یکسان نبوده و تأثیر سیتوکینین بر شاخص سبزیگی ارقام مختلف ممکن است به صورت کاهشی، افزایشی و یا بی تأثیر باشد که دلیل این نتایج متفاوت را می توان به خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و ژنتیکی هر رقم نسبت داد. در پژوهشی

مقدار کلروفیل برگها در بسیاری از گیاهان با ظرفیت فتوسنتزی ارتباط نزدیکی دارد (Arunyanark *et al.*, 2008). هورمون سیتوکینین از طریق کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل آز و مشارکت در تشکیل پروتوکلروفیل، محتوای کلروفیل را افزایش می دهد (Cortleven and Schmölling, 2015). افزایش شاخص کلروفیل در نتیجه محلول پاشی با هورمون سیتوکینین در گندم (Alizadeh *et al.*, 2010; Zaheer *et al.*, 2019) و

گزارش شده است که محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش شاخص سبزیبگی ارقام جو گردید این افزایش در ارقام مختلف متفاوت بود (Maddah Hosseini *et al.*, 2008) که هم‌سو با نتایج بدست آمده در این آزمایش است.

سرعت فتوسنتز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) سیتوکینین و رقم بر سرعت فتوسنتز بود (جدول ۱). کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین، سرعت فتوسنتز را ۴۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (صفر میکرومولار) افزایش داد (جدول ۲). سرعت فتوسنتز در بین ارقام مورد بررسی نیز متفاوت بود. رقم کرج ۳ با میانگین ۱۰/۶ میکرومول CO₂ در متر مربع در ثانیه بیش‌ترین و رقم فلات با ۶/۴۶ میکرومول CO₂ در متر مربع در ثانیه کم‌ترین مقدار فتوسنتز را داشتند (جدول ۲).

گزارش‌ها بیانگر آن است که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش سرعت فتوسنتز گندم می‌گردد (Dwivedi *et al.*,)

گزارش شده است که محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش شاخص سبزیبگی ارقام جو گردید این افزایش در ارقام مختلف متفاوت بود (Maddah Hosseini *et al.*, 2008) که هم‌سو با نتایج بدست آمده در این آزمایش است.

سرعت فتوسنتز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) سیتوکینین و رقم بر سرعت فتوسنتز بود (جدول ۱). کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین، سرعت فتوسنتز را ۴۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (صفر میکرومولار) افزایش داد (جدول ۲). سرعت فتوسنتز در بین ارقام مورد بررسی نیز متفاوت بود. رقم کرج ۳ با میانگین ۱۰/۶ میکرومول CO₂ در متر مربع در ثانیه بیش‌ترین و رقم فلات با ۶/۴۶ میکرومول CO₂ در متر مربع در ثانیه کم‌ترین مقدار فتوسنتز را داشتند (جدول ۲).

گزارش‌ها بیانگر آن است که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش سرعت فتوسنتز گندم می‌گردد (Dwivedi *et al.*,)

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر محلول پاشی سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد ارقام گندم

Table 2- Mean comparisons effect of cytokinin application on physiological traits and yield components of wheat cultivars

| تیمار Treatment | سرعت فتوسنتز خالص Net CO ₂ assimilation rate (ACO ₂) ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) | تعداد دانه در بوته Number grain per plant | وزن هزار دانه Weight of thousand grain (g) | عملکرد زیست توده Biological yield (Kg/h) | شاخص برداشت Harvest Index (HI) (%) |
|-----------------------------------|---|---|--|--|--|
| سیتوکینین Cytokinin | | | | | |
| ۰ میکرومولار 0 μm | 6.88b | 119.55a | 40.69b | 13971.5b | 31.67a |
| ۵۰ میکرومولار 50 μm | 9.91a | 127a | 42.73a | 15716.2a | 33.79a |
| رقم Cultivar | | | | | |
| روشن Roshan | 9.90a | 145.56b | 45.55a | 13248.11b | 25.12b |
| کرج ۳ Karaj 3 | 10.59a | 172.68a | 34.95b | 13208.45b | 35.38a |
| آزادی Azadi | 9.44a | 132.22bc | 34.60b | 16183.08ab | 37.53a |
| فلات Falat | 6.45b | 138.50bc | 45.19a | 15933.32ab | 33.34a |
| یاواروس Yavarus | 7.03b | 83.77d | 43.40a | 16742.25a | 30.43ab |
| سرداری Sardari | 6.94b | 111.30c | 46.58a | 13748.81ab | 34.58a |

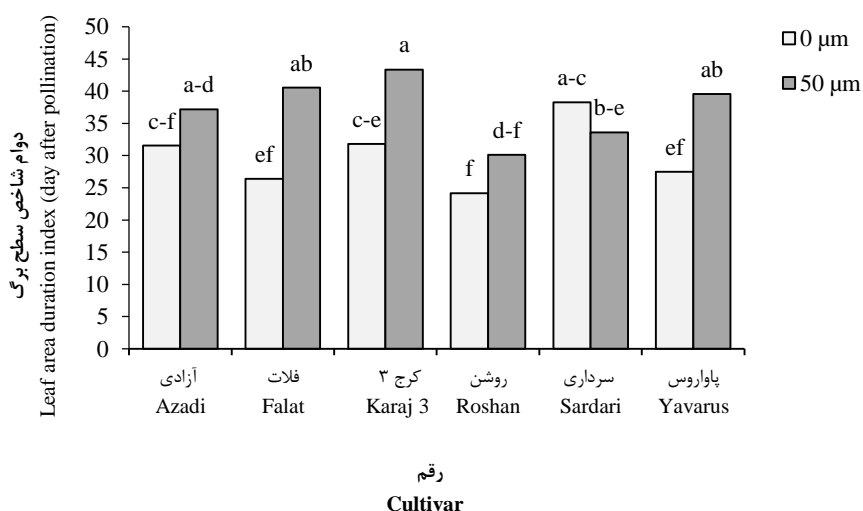
در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

افزایش دوام شاخص سطح برگ گیاه گندم با کاربرد سیتوکینین در تحقیقات مختلفی گزارش گردیده است (Azzedine *et al.*, 2011; Dwivedi *et al.*, 2014; Alizadeh *et al.*, 2010) که با نتایج به دست آمده در این پژوهش همخوانی دارد. متفاوت بودن دوام شاخص سطح برگ ارقام مختلف را می توان به خصوصیات ژنتیکی و همچنین شرایط محیطی نسبت داد. به نظر می رسد ارقامی که از تحمل بالاتری نسبت به شرایط کمبود رطوبت برخوردار باشند از دوام شاخص سطح برگ بالاتری نیز برخوردار خواهند بود. در پژوهش های مختلفی گزارش شده که شاخص سطح برگ ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت است (Rahemi karizaki *et al.*, 2020; Hooshmandi, 2015) هم سو با نتایج پژوهش حاضر است.

دوام شاخص سطح برگ

دوام شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمار سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم قرار گرفت (جدول ۱). رقم روشن و سرداری با ۲۴/۱ و ۳۸/۲ به ترتیب کم ترین و بیش ترین دوام شاخص سطح برگ را در شرایط بدون کاربرد سیتوکینین داشتند (شکل ۲). کاربرد سیتوکینین دوام شاخص برگ ارقام فلات، کرج ۳ و یاوروس را به طور معنی داری افزایش داد و بر سایر ارقام اثر معنی داری نداشت (شکل ۲). بالا بودن دوام شاخص سطح برگ سبب افزایش سطوح فتوسنتز کننده و تولیدات فتوسنتزی شده و در نهایت عملکرد را افزایش می دهد. گزارش گردیده که پیری برگ در ارقام گندم، با کاربرد سیتوکینین به تأخیر افتاده و محلول پاشی سیتوکینین سبب حفظ رنگیزه های کلروفیلی شده و دوره رشد گیاه را افزایش می دهد (Dwivedi *et al.*, 2014).



شکل ۲- اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر دوام شاخص سطح برگ

Figure 2- The interaction effect of cytokinin × cultivar on leaf area duration index

بررسی از نظر تعداد دانه در بوته با یکدیگر اختلاف معنی داری داشتند. رقم کرج ۳ و یاوروس به ترتیب با ۱۷۲/۶ و ۸۳/۷ عدد، بیش ترین و کم ترین تعداد دانه در بوته را دارا بودند (جدول ۲). گزارش ها بیانگر آن است که تعداد دانه در بوته ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت بوده و همین عامل یکی از دلایل اصلی تفاوت در عملکرد ارقام می باشد. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج دیگر تحقیقات مطابقت دارد (Ghatei *et al.*, 2015; Pan and Xu, 2011; Pirasteh Anosheh and Emam, 2012; Mohammadi *et al.*, 2012; Moshattati *et al.*, 2010;

تعداد دانه در بوته

محلول پاشی سیتوکینین بر تعداد دانه در بوته اثرگذار نبود ولی تعداد دانه در ارقام مورد بررسی با یکدیگر تفاوت معنی داری ($P \leq 0.01$) داشتند (جدول ۱). با توجه به این که گندم گیاهی رشد محدود می باشد، صفات تعداد دانه در خوشه و طول خوشه در مرحله ساقه رفتن به اتمام می رسد (Khajepour, 2014) و از آن جا که محلول پاشی سیتوکینین در آزمایش حاضر یک هفته بعد از شروع گل دهی انجام گردید، بر همین اساس، کاربرد سیتوکینین در شروع گل دهی بر تعداد دانه در بوته اثر معنی داری نداشت. ارقام مورد

لجستیک برآزش و در جدول ۳ آورده شده است. محلول پاشی سیتوکینین وزن خشک نهایی دانه ارقام آزادی، روشن و یاواروس را به ترتیب به میزان ۵/۶، ۱۴/۸ و ۶/۲ درصد افزایش داد ولی بر سایر ارقام اثر معنی داری نداشت (جدول ۳). سرعت پر شدن دانه تحت تأثیر رقم قرار داشت و از بین ارقام مورد بررسی، رقم آزادی با میانگین ۱/۰۸ و رقم سرداری با میانگین ۱/۵۵ میلی گرم در روز به ترتیب کمترین و بیشترین سرعت پر شدن دانه را دارا بودند (جدول ۳). کاربرد سیتوکینین بر طول دوره پر شدن دانه همه ارقام به غیر از رقم روشن، اثر معنی داری نداشت و سبب افزایش طول دوره پر شدن دانه گردید (جدول ۳).

(Talebifar et al., 2015; Rahemi karizaki et al., 2020). در پژوهشی گزارش گردیده که اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر تعداد دانه در بوته گیاه گندم اثر معنی داری نداشت (Jalali-Honarmand et al., 2015) که مشابه با نتایج این پژوهش است.

روند رشد دانه

وزن خشک دانه و طول مدت زمان پر شدن دانه تحت تأثیر سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم قرار گرفت ولی سرعت پر شدن دانه فقط تحت تأثیر تیمار رقم قرار داشت (جدول ۱). روند رشد دانه ارقام با کاربرد سیتوکینین بر اساس مدل

جدول ۳- مدل لجستیک برآزش شده روند رشد دانه ارقام گندم تحت شرایط محلول پاشی هورمون سیتوکینین

Table 3- Fitted logistic model of grain growth trend of wheat cultivars under cytokinin foliar application conditions

| سیتوکینین Cytokinin | رقم Cultivar | وزن خشک نهایی دانه Final grain dry weight (mg) | سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (mg/day) | طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (day) |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
| ۰ میکرومولار 0 μm | آزادی Azadi | 39.08f | 1.14ab | 24.14h |
| | فلات Falat | 49.26bc | 1.37a | 35.90c |
| | کرچ ۳ Karaj 3 | 52.037ab | 1.51a | 34.37cd |
| | روشن Roshan | 38.84e | 1.26ab | 30.72fg |
| | سرداری Sardari | 50.55abc | 1.67a | 30.23g |
| | یاواروس Yavarus | 48.36c | 1.5a | 32.25ef |
| | ۵۰ میکرومولار 50 μm | آزادی Azadi | 41.29e | 1.01b |
| فلات Falat | | 51.93ab | 1.21ab | 42.87a |
| کرچ ۳ Karaj 3 | | 52.55a | 1.38a | 38.03b |
| روشن Roshan | | 44.62d | 1.48a | 30.09g |
| سرداری Sardari | | 48.07c | 1.45a | 33.03de |
| یاواروس Yavarus | | 51.36ab | 1.31ab | 38.97b |

بوده ولی طول دوره پر شدن دانه عمدتاً توسط شرایط محیطی کنترل می شود (Mohammadi Gonbad et al., 2016). کاربرد سیتوکینین باعث طولانی شدن تقسیم سلول های آندوسپرم دانه شده در نتیجه مدت زمان پر شدن دانه ها و به تبع آن وزن دانه ها افزایش خواهد یافت (Alizadeh et al., 2010). به نظر می رسد که

به نظر می رسد که سیتوکینین با افزایش تقسیم و تعداد سلول های آندوسپرم سبب طولانی شدن مدت و سرعت پر شدن دانه می گردد. منحنی رشد دانه حاصل از معادله لجستیک در تمامی تیمارهای سیتوکینین و ارقام گندم تقریباً روند یکسانی داشت (نمودار ۳). سرعت پر شدن دانه بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ

به دست آمده در پژوهش حاضر هم خوانی دارد. هر چند در پژوهش دیگری گزارش کرده اند که کاربرد سیتوکینین بر وزن هزار دانه ارقام گندم اثر معنی داری نداشت (Jalali-Honarmand *et al.*, 2015) که مغایر با نتایج به دست آمده در این آزمایش می باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که وزن هزار دانه بین ارقام مختلف گندم متفاوت بوده که با نتایج سایر پژوهش ها مطابقت دارد (Rahemi karizaki *et al.*, 2020; Karimi *et al.*, 2012; Hooshmandi, 2015).

عملکرد زیست توده

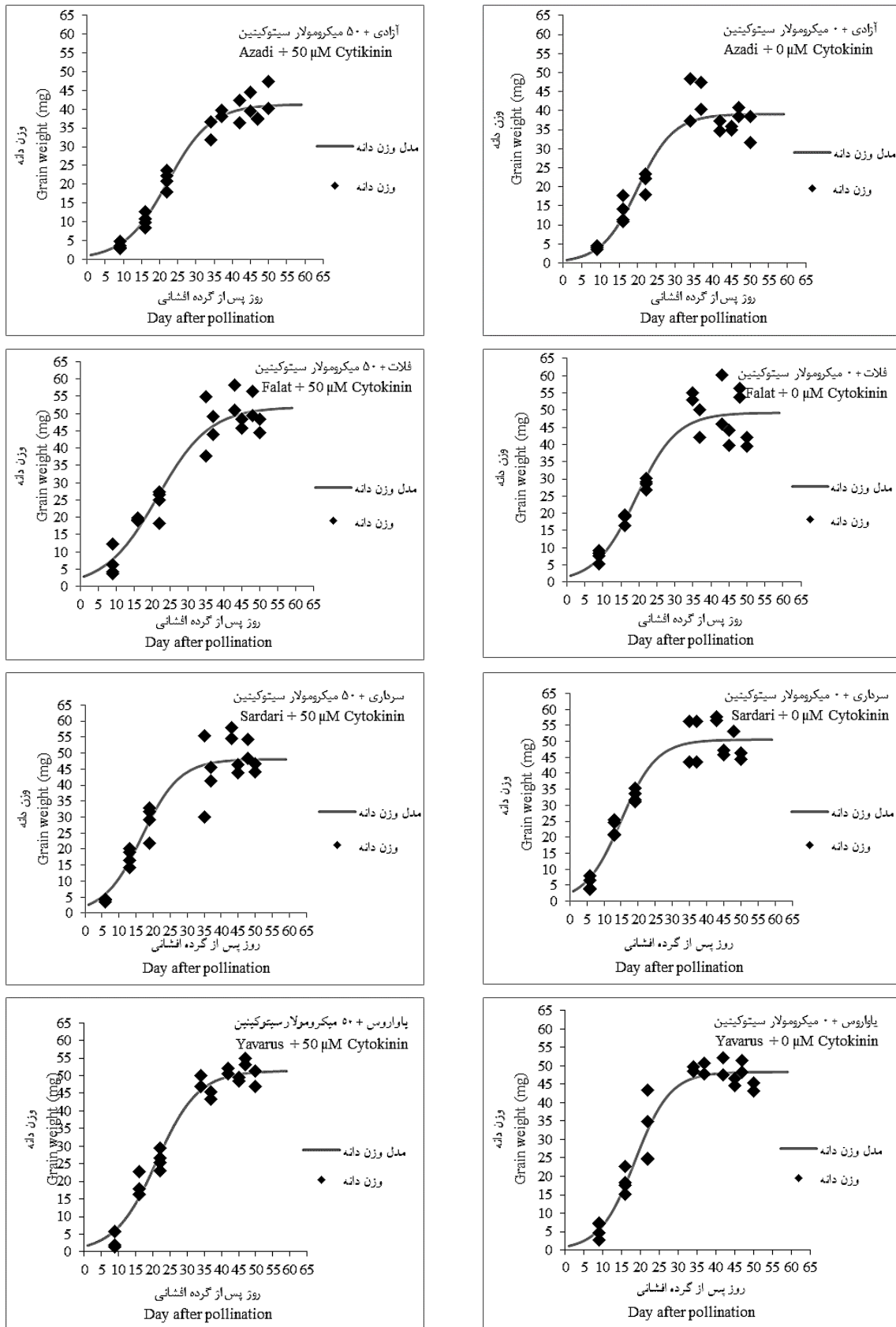
عملکرد زیست توده در سطح پنج درصد تحت تأثیر محلول پاشی سیتوکینین و رقم قرار گرفت (جدول ۱). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش ۱۲/۴ درصدی عملکرد زیست توده گردید (جدول ۲). تقسیم سلولی یکی از مهم ترین نقش های سیتوکینین بوده و به نظر می رسد که محلول پاشی سیتوکینین از طریق افزایش تقسیم سلولی اندام های رویشی، افزایش فتوسنتز، افزایش دوام شاخص سطح برگ و وزن دانه، سبب افزایش وزن زیست توده شده است. افزایش وزن زیست توده گندم با کاربرد سیتوکینین در پژوهش های دیگری نیز گزارش شده است (Nagar *et al.*, 2015; Zaheer *et al.*, 2019; Jalali-Honarmand *et al.*, 2016) که هم سو با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر است. هر چند گزارش شده که سیتوکینین بر وزن هزار دانه گندم تأثیر معنی داری نداشت (Jalali-Honarmand *et al.*, 2015) که بر خلاف نتایج پژوهش حاضر است. ارقام مورد بررسی نیز از نظر عملکرد زیست توده با یکدیگر متفاوت بودند. از بین ارقام مورد بررسی رقم روشن با ۱۳۲۰۸/۱۱ کیلوگرم کم ترین و رقم فلات با ۱۶۷۴۲/۱۳ کیلوگرم بیش ترین عملکرد زیست توده را دارا بود (جدول ۲). دلیل تفاوت عملکرد زیست توده در بین ارقام می تواند به علت وجود تفاوت در صفاتی مانند سطح برگ، ارتفاع بوته، سرعت فتوسنتز، عملکرد دانه، تعداد پنجه بارور، طول خوشه و سایر عوامل باشد. تفاوت در عملکرد زیست توده ارقام گندم در پژوهش های دیگری نیز گزارش شده است (Jalali-Honarmand *et al.*, 2016; Rahemi karizaki *et al.*, 2020; Karimi *et al.*, 2012; Hooshmandi, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

سیتوکینین با افزایش اندازه دانه ها سبب طولانی شدن مدت زمان پر شدن دانه ها شده باشد. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج گزارش شده روی گندم هم خوانی دارد (Saeidi *et al.*, 2006; Jalali-Honarmand *et al.*, 2016). همچنین گزارش شده که در شرایط تنش خشکی، کاربرد سیتوکینین سبب افزایش سرعت پر شدن دانه و وزن دانه برنج گردید (Zhang *et al.*, 2010) که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. نتایج نشان داد که وزن خشک نهایی دانه، سرعت پر شدن دانه و طول مدت دوره پر شدن دانه در بین ارقام مختلف گندم متفاوت بود. گزارش شده که سرعت و طول مدت پر شدن دانه در ارقام گندم متفاوت است (Talebifar *et al.*, 2020; Rahemi karizaki *et al.*, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر هم سو می باشد.

وزن هزار دانه

تیمار سیتوکینین در سطح احتمال پنج درصد و تیمار رقم در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه اثر معنی داری داشت (جدول ۱). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش ۵ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). از بین ارقام مورد بررسی، رقم کرج ۳ و آزادی کمترین وزن هزار دانه را دارا بودند و بین سایر ارقام تفاوت معنی داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده نگردید (جدول ۲).

در مرحله پس از گرده افشانی، دانه ها نیاز بیش تری به مواد غذایی دارند و سیتوکینین ها نقش مهمی را در تنظیم جهت دهی و انتقال عناصر غذایی به سمت گل آذین گیاه بر عهده دارند و به این طریق می تواند بر وزن دانه تأثیر بگذارد (Khalil *et al.*, 2006). به بیان دیگر، سیتوکینین با افزایش تقسیم سلولی در سطح مخزن فیزیولوژیک، باعث افزایش تعداد سلول های اندوسپرم و اندازه مخزن فیزیولوژیک شود و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و میزان کلروفیل (Xie *et al.*, 2004)، تأخیر در پیری برگ و افزایش دوره فعال رشد دانه، باعث افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته و نهایتاً عملکرد در واحد سطح شود (Dwivedi *et al.*, 2014). افزایش وزن هزار دانه گندم با کاربرد سیتوکینین در پژوهش های مختلفی گزارش گردیده است (Jalali-Honarmand *et al.*, 2016; Ghatei *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2016; Saeidi *et al.*, 2006) که با نتایج



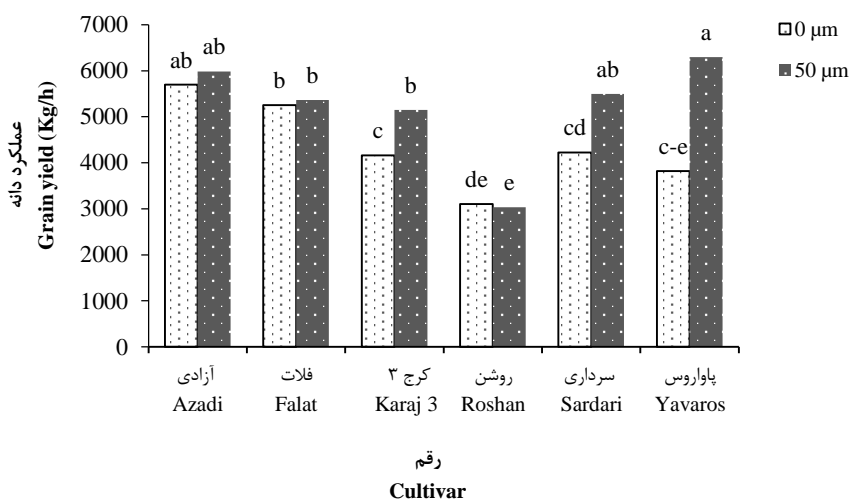
شکل ۳- نمودار روند رشد دانه ارقام گندم تحت کاربرد هورمون سیتوکینین که توسط مدل لجستیک برازش گردیده است.

Figure 3- Graph of grain growth trend of wheat cultivars application cytokinin which has been fitted by logistic model.

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم ($P \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۱). کاربرد سیتوکینین فقط بر عملکرد ارقام یواروس، کرج ۳ و سرداری اثر معنی داری داشت و سبب افزایش عملکرد دانه آن ارقام گردید (شکل ۴). عملکرد رقم کرج ۳ به میزان ۲۳/۷ درصد، رقم سرداری به میزان ۳۰/۱ درصد و رقم یواروس به میزان ۶۵ درصد با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت (شکل ۴). در شرایط بدون کاربرد سیتوکینین، رقم آزادی با ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و رقم روشن با ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را دارا بودند (شکل ۴). گزارش شده که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش عملکرد دانه گندم گردید (Sarafraz Ardakani *et al.*, 2018; Jalali Honarmand *et al.*, 2016; Zheng *et al.*, 2016; Xie

در نتیجه کاربرد سیتوکینین نشان داد که محدودیت مخزن ممکن است عامل مهمی در تعیین پتانسیل عملکرد دانه باشد (Maddah Hosseini *et al.*, 2008). با توجه به این واقعیت که افزایش غلظت سیتوکینین در سنبله‌های تحتانی می‌تواند باعث پر شدن دانه شود (Yang and Zhang, 2010) بنابراین مستقیماً با افزایش فتوسنتز در ارتباط است (Peleg *et al.*, 2011). ارقام مختلف گندم از نظر عملکرد دانه در واحد سطح با یکدیگر تفاوت داشته که در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده (Momtazi, 2011; Mohammadi *et al.*, 2012; Moshattati *et al.*, 2010; Jalali Honarmand *et al.*, 2016; Rahemi karizaki *et al.*, 2020; Karimi *et al.*, 2012; Hooshmandi, 2015) و هم‌سو با نتایج آزمایش حاضر می‌باشد.



شکل ۴- اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر عملکرد دانه

Figure 4- The interaction effect of cytokinin × cultivar on grain yield

شاخص برداشت (Maddah Hosseini *et al.*, 2008) و جو (al., 2015) که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد. حداکثر و حداقل شاخص برداشت (۳۱/۴ و ۲۵/۱ درصد) به ترتیب در ارقام سرداری و یواروس حاصل شد و سایر ارقام از نظر شاخص برداشت با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند (جدول ۲). با توجه به این که ارقام گندم از نظر زیست توده با یکدیگر متفاوت هستند، بنابراین شاخص برداشت آن‌ها نیز ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند. تفاوت در شاخص برداشت ارقام گندم در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده (Jalali Honarmand *et al.*, 2016; Saeidi *et al.*, 2006)

شاخص برداشت

کاربرد سیتوکینین تأثیر معنی داری بر شاخص برداشت نداشت (جدول ۱) که دلیل آن را می‌توان به زمان کاربرد هورمون ارتباط داد چرا که با توجه به این که زمان کاربرد سیتوکینین در مرحله ظهور خوشه انجام گردید که گیاه گندم رشد رویشی خود را به اتمام رسانده بود. نتایج نشان دهنده تأثیر معنی دار ($P \leq 0.05$) رقم بر شاخص برداشت بود (جدول ۱). گزارش شده که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش شاخص برداشت گندم (Jalali Honarmand *et al.*, 2016; Jalali-Honarmand *et al.*, 2016)

گاهی ممکن است هورمون به کار برده شده بی‌تأثیر باشد و یا تأثیر نامطلوبی روی برخی صفات بگذارد. بنابراین جهت کاربرد سیتوکینین در گیاه گندم بهتر است ابتدا آزمایشات اولیه و تکمیلی در سطح محدود انجام و واکنش رقم مورد بررسی قرار گیرد و در صورت مقرون به‌صرفه بودن، کاربرد سیتوکینین انجام شود.

تعارض منافع

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

al., 2006; Rahemi karizaki et al., 2020; Karimi et al., 2015; Hooshmandi, 2012) که هم‌سو با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر کاربرد سیتوکینین تنها بر عملکرد ارقام کرج ۳، سرداری و یواروس اثر معنی‌داری داشت و بر سایر ارقام اثرگذار نبود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین ارقام مختلف گندم از نظر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و صفات مرتبط با عملکرد تفاوت وجود دارد. مشخص گردید که واکنش ارقام گندم به کاربرد سیتوکینین با یکدیگر بسیار متفاوت بوده و

References

- Abd El-Rheem Kh, M. and Mahdy, H.A.** 2014. Effect of organic cytokinin and nitrogen fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 4(8): 1-7.
- Aldesuquy, H.S., Baka, Z.A. and Mickky, B.M.** 2013. Does exogenous application of kinetin and spermine mitigate the effect of seawater on yield attributes and biochemical aspects of grains? *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9(2): 21-34.
- Alizadeh, O., Jafari Haghghi, B. and Ordoorkhani, K.** 2010. The effects of exogenous cytokinin application on sink size in bread wheat (*Triticum aestivum*). *African Journal of Agricultural Research*, 5(21): 2893-2898.
- Arunyanark, A., Jogloy, S., Akkasaeng, C., Vorasoot, N., Kesmla, T., Nageswara Rao, R.C., Wright, G.C. and Patanotai, A.** 2008. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(2): 113-125.
- Aydin, N., Mut, Z. and Ozcan, H.** 2010. Estimation of broad-sense heritability for grain yield and some agronomic and quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2): 419-421.
- Azzedine, F., Gherroucha, H. and Baka, M.** 2011. Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7: 27-33.
- Bakhshayeshi Geshlagh, M.** 2011. Study of adaptability and yield stability of wheat cultivars in cold and mountainous moderate-cold climate of Iran. *Journal of Crops Improvement*, 13 (2): 41-49. (In Persian).
- Bakhshayeshi, M. and Bakhshayeshi, H.** 2012. Study of interaction of genotype environment and stability of grain yield in bread wheat cultivars in Kurdistan province. *New Finding in Agriculture*, 6(4): 201-213. (In Persian).
- Chernyad'ev, I.I.** 2009. The protective action of cytokinins on the photosynthetic machinery and productivity of plants under stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 45(4): 351-362.
- Cortleven, A. and Schmülling, T.** 2015. Regulation of chloroplast development and function by Cytokinin. *Journal of Experimental Botany*, 66(16): 4999-5013.
- Davani, D., Nabipoor, M. and Roshanfekar Dezfoli, H.** 2016. Effect of cytokinin and auxin regulators on some characteristics of grain maize under different planting patterns in salinity conditions. *Cereal Research*, 6(2): 215-228. (In Persian).
- Duguid, S.D. and Brûlé-Babel, A.L.** 1994. Rate and duration of grain filling in five spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 74(4): 681-686.

- Dwivedi, S.K., Kumar, S., Mondal, S., Malviya, N. and Dubey, R.** 2014. Physiological basis of cytokinin induced drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of AgriSearch*, 1(3): 139-144.
- Emam, Y., Karimzadeh Sureshjani, H., Moori, S. and Maghsoudi, K.** 2013. Yield response of bread and durum wheat to different levels of auxin and cytokinin application under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(8): 93-104. (In Persian).
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT).** 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations Database; Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. Available online: <http://www.fao.org>.
- Farouk, S. and Sanusi, A.B.A.J.** 2019. Potent induction of wheat flowering and its related to yield components. *Journal of Animal and Poultry Sciences*, 19(4): 270-278.
- Ghatei, A., Bakhshandeh, A., Abdali Mashhadi, A., Siadat, S.A., Alami saeid, K. and Gharineh, M.** 2015. Effect of different nitrogen levels and cytokinin foliar application on yield and yield components of wheat at terminal heat stress conditions in ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(16): 97-107. (In Persian).
- Hooshmandi, B.** 2015. Evaluation some morphophysiological indices and yield of bread wheat cultivars. *Crop Physiology Journal*, 7(26): 121-134. (In Persian).
- Jalali Honarmand, S., Rasaei, A., Saeidi, M., Ghobadi, M. and Khanizadeh, S.** 2016. Impact of foliar application of growth hormones at stages of yield components formation of two wheat cultivars under dry-land conditions. *Crop Physiology Journal*, 8(29): 43-57. (In Persian).
- Jalali-Honarmand, S., Rasaei, A., Saeidi, M., Ghobadi, M.E. and Khanizadeh, S.** 2015. The effects of foliar application of plant hormones at booting stage on wheat yield components. *Thai Journal of Agricultural Science*, 48(1): 35-38.
- Jameson, P.E. and Song, J.** 2016. Cytokinin: a key driver of seed yield. *Journal of Experimental Botany*, 67(3): 593-606.
- Joshi, S., Choukimath, A., Isenegger, D., Panozzo, J., Spangenberg, G. and Kant, S.** 2019. Improved wheat growth and yield by delayed leaf senescence using developmentally regulated expression of a cytokinin biosynthesis gene. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1285.
- Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. and Roupael, Y.** 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 90(3): 213-223.
- Karimi, A., Meskarbashee, M., Nabipour, M. and Broomandnasab, S.** 2012. The study of some quantity and quality characteristics of two wheat cultivars under different planting method and irrigation levels conditions. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, 21(4): 95-104. (In Persian)
- Khajehpour, M.R.** 2014. Cereal crops. Isfahan University of Technology Publication Center. 1st edition, pp.764. (In Persian).
- Khamdi, N., Nabipour, M., Roshanfekar, H. and Rahnama, A.** 2019. Effect of seed priming and application of cytokinin and auxin on growth and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under Ahwaz climatic conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(1): 31-44. (In Persian).
- Khosravi-Nejad, F., Khavari-Nejad, R.A., Moradi, F. and Najafi, F.** 2013. Abscisic acid and cytokinin spraying effect on cation contents in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Journal of Plant & Biotechnology*, 8(2): 1-12. (In Persian).
- Maddah Hosseini, S., Poustini, K. and Ahmadi, A.** 2008. Effects of foliar application of BAP on source and sink strength in four six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 54(3): 231-239.

- Mehari, M., Alamerew, S. and Lakew, B.** 2014. Genotype environment interaction and yield stability of malt barley genotypes evaluated in Tigray, Ethiopia Using the Ammi Analysis. *Asian Journal of Plant Sciences*, 13(2): 73-79.
- Mohammadi, H., Moradi, F., Ahmadi, A., Abbasi, A. and Poustini, K.** 2012. Drought effect on hormone changes and carbohydrates levels in developing grains of two wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(4): 139-155.
- Mohammadi Gonbad, R., Esfahani, M., Roustaei, M. and Sabouri, H.** 2016. Effect of planting dates on grain filling of bread wheat genotypes under rain-fed condition of Gonbad-e-Qabus region. *Cereal Research*, 6(3): 307-321. (In Persian).
- Momtazi, F.** 2011. Responses of different wheat cultivars to post anthesis drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 3(9): 1-16. (In Persian).
- Moshattati, A., Alami-Saied, Kh., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A.M. and Jalal-Kamali, M. R.** 2010. Evaluation of terminal heat stress tolerance in spring bread wheat cultivars in Ahwaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(2): 85-99 (In Persian).
- Nagar, S., Ramakrishnan, S., Singh, V.P., Singh, G.P., Dhakar, R., Umesh, D.K. and Arora, A.** 2015. Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat by improving N-metabolism under water limited environment. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(1): 31-38.
- Nguyen, H.N., Perry, L., Kisiala, A., Olechowski, H. and Emery, R.N.** 2020. Cytokinin activity during early kernel development corresponds positively with yield potential and later stage ABA accumulation in field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Planta*, 252(5): 1-16.
- Peleg, Z., Reguera, M., Tumimbang, E., Walia, H. and Blumwald, E.** 2011. Cytokinin-mediated source/sink modifications improve drought tolerance and increase grain yield in rice under water-stress. *Plant Biotechnology Journal*, 9(7): 747-758.
- Pirasteh Anosheh, H. and Emam, Y.** 2012. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(1): 1-17. (In Persian).
- Qin, H., Gu, Q., Zhang, J., Sun, L., Kuppu, S., Zhang, Y., Burow, M., Payton, P., Blumwald, E. and Zhang, H.** 2011. Regulated expression of an isopentenyltransferase gene (IPT) in peanut significantly improves drought tolerance and increases yield under field conditions. *Plant and Cell Physiology*, 52(11): 1904-1914.
- Rahemi karizaki, A., Rezaei, H., Gholizadeh, A., Nakhzari Moghadam, A. and Naeemi, M.** 2020. Study of the response of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in semi-arid and semi-humid regions of golesstan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(4): 579-590. (In Persian).
- Reynolds, M. and Braun, H.** 2019. Benefits to low-input agriculture. *Nature Plants*, 5(7): 652-653.
- Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Poostini, K. and Najafian, G.** 2006. Effect of exogenous application of ABA and CK at different stages of grain development on some physiological aspects of source and sink relationship in two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(3): 268-282. (In Persian).
- Salehnia, N., Salehnia, N., Torshizi, A.S. and Kolsoumi, S.** 2020. Rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) yield prediction using economical, meteorological, and drought indicators through pooled panel data and statistical downscaling. *Ecological Indicators*, 111: 105991-106001.
- Sarafraz Aradakani, M.R.** 2019. Effect of cytokinin and brassinosteroid treatments on some biochemical and physiological of wheat cultivars under drought stress in generative phase. *Crop Physiology Journal*, 11(43): 5-24.
- Sarafraz Ardakani, M.R., Khavari-Nejad, R.A., Moradi, F. and Najafi, F.** 2018. Photosynthetic efficiency and grain yield of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars during drought stress under exogenous

- application of cytokinin and abscisic acid treatments. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(3): 503-514. (In Persian).
- Talebifar, M., Taghizadeh, R. and Kamali Kivi, S.E.** 2015. Determination of relationships between yield and yield components in wheat varieties under water deficit stress in different growth stages through Path analysis. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 108: 107-113.
- Wani, S.H., Kumar, V., Shriram, V. and Sah, S.K.** 2016. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4(3): 162-176.
- Xie, Z., Jiang, D., Dai, T., Jing, Q. and Cao, W.** 2004. Effect of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. *Plant Growth Regulation*, 44: 25-32.
- Yang, J. and Zhang, J.** 2010. Grain-filling problem in 'super'rice. *Journal of Experimental Botany*, 61(1): 1-5.
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. and Zhu, Q.** 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. *Plant Growth Regulation*, 41: 185-195.
- Yaronskaya, E., Vershilovskaya, I., Poers, Y., Alawady, A.E., Averina, N. and Grimm, B.** 2006. Cytokinin effects on tetrapyrrole biosynthesis and photosynthetic activity in barley seedlings. *Planta*, 224(3): 700-709.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F.** 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6): 415-421.
- Zaheer, M.S., Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Erinle, K.O., Iqbal, R. and Ahmad, S.** 2019. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(20): 2521-2533.
- Zavaleta-Mancera, H.A., López-Delgado, H., Loza-Tavera, H., Mora-Herrera, M., Trevilla-García, C., Vargas-Suárez, M. and Ougham, H.** 2007. Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal of Plant Physiology*, 164(12): 1572-1582.
- Zhang, H., Chen, T., Wang, Z., Yang, J.C. and Zhang, J.** 2010. Involvement of cytokinins in the grain filling of rice under alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Experimental Botany*, 61(13): 3719-3733.
- Zheng, C., Zhu, Y., Wang, C. and Guo, T.** 2016. Wheat grain yield increase in response to pre-anthesis foliar application of 6-benzylaminopurine is dependent on floret development. *PLOS ONE*, 11(6): 1-14.

The influence of foliar application of cytokinin on wheat cultivars' physiological traits and yield

Mahdie Sadat Hosseini¹, Hadi Salek Mearaji², Afshin Tavakoli^{3*}, Reza Fotovat³

¹ M.Sc Graduated, Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture, Zanzan University, Zanzan, Iran

² Department of Agricultural Science, Faculty of Bahonar Pakdasht & Shariati, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

³ Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture, Zanzan University, Zanzan, Iran

*Corresponding Author: tavakoli@znu.ac.ir

Received: 25 September 2021

Accepted: 1 January 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306638.1138

Abstract

Introduction: Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important crops and is grown nearly everywhere in the world. Wheat is the primary staple food in many countries. In light of the fact that wheat yield varies depending on environmental conditions, it is crucial to employ strategies that increase wheat yield.

Materials and Methods: To investigate the effects of foliar application of cytokinin on the physiological traits and yield of wheat cultivars, a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted at the research farm of the Agriculture Faculty, University of Zanzan, during the 2016 cropping seasons. Six wheat cultivars (Azadi, Karaj 3, Roshan, Falat, Sardari and Yavarus) were treated with foliar applications of cytokinin (6-benzylaminopurine) at two levels (0 (control) and 50 μM). At the 50% stage of cluster emergence (code 55 Zadox growth stage), hormone foliar application was performed three times per week. Foliar spraying was done at sunset. To improve absorption, five ml of diluted Tween 20 (0.1%) was added to each 20-liter sprayer. 10 days after the third spraying, a sample was taken and the traits were measured in order to determine their value.

Results and Discussion: The application of cytokinin significantly increased photosynthetic rate, leaf area index durability, weight per thousand grains, biological yield, and grain yield. The application of cytokinin had no significant impact on the greenness index of the Falat, Karaj 3, Roshan, and Yavarus cultivars, but increased the greenness index of the Sardari cultivar by 116.2% and decreased the greenness index of the Falat cultivar by 12.0%. The Karaj 3 cultivar had the highest photosynthesis with an average of $10.6 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ net CO_2 assimilation rate, while the Falat cultivar had the lowest photosynthesis with $6.46 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ net CO_2 assimilation rate. The application of cytokinin increased the leaf area index duration of the Falat, Karaj 3, and Yavarus cultivars while having no effect on the other cultivars. The foliar application of cytokinin had no effect on the number of seeds per plant, but there were significant differences in the number of seeds among the cultivars studied. The cultivars Karaj 3 and Yavarus had the highest and lowest seed yields per plant, with 172.6 and 83.7 seeds per plant, respectively. The foliar application of cytokinin increased the final grain dry weight of the Azadi, Roshan, and Yavarus cultivars by 5.6%, 14.8%, and 6.2%, respectively, but had no effect on the Karaj 3, Falat, and Sardari cultivars. The Azadi cultivar with an average of 1.08 mg/day and the Sardari cultivar with an average of 1.55 mg/day had the lowest and highest grain filling rates, respectively, among the cultivars studied. Except for the cultivar Roshan, the application of cytokinin increased during the grain filling period of all other cultivars. Compared to the control treatment, cytokinin increased the one-thousand seed weight by 5%. Cytokinin increased the weight of one-thousand seeds by 5% compared to the control treatment. The application of cytokinin increased the yield of the Yavarus, Karaj 3, and Sardari cultivars by 23.7%, 30.1%, and 65.5%, respectively, but had no effect on the yield of other cultivars. In the absence of cytokinin application, Azadi had the highest grain yield at 5700 kg/ha, while Roshan had the lowest at 3100 kg/ha. The application of

cytokinin had no significant effect on the harvest index. The Sardari and Yavarus cultivars had the highest and lowest harvest indices (31.4% and 25.1%, respectively), whereas the harvest indices of the other cultivars did not differ significantly.

Conclusion: Morphological, physiological, and yield-related traits differ among wheat cultivars, as demonstrated by the results of the present study. The results demonstrated that the response of wheat cultivars to cytokinin application was highly variable, and that hormone application may be ineffective or have a negative impact on certain traits.

Keywords: Benzylaminopurine, Grain filling, Leaf area duration, Photosynthesis, *Triticum aestivum*

تأثیر نظام‌های مختلف تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت رایج و فواصل ردیف خیلی باریک

ام‌الله شمس^۱، محمد آرمین^{۲*}، متین جامی معینی^۲

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

* مسئول مکاتبه: moh.armin@iau.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.310472.1142

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نظام‌های مختلف تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در شیوه‌های مختلف کشت، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای شخصی در شهرستان روداب (خراسان رضوی) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام گردید. نوع کود مصرفی شامل شیمیایی، آلی، شیمیایی+آلی و شاهد (بدون مصرف کود) به عنوان کرت اصلی و روش کاشت شامل کشت رایج و کشت در فواصل ردیف خیلی باریک به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد تیمار تلفیقی شیمیایی و آلی در مقایسه با شاهد سبب افزایش تعداد شاخه جانبی (۴۸/۷ درصد)، تعداد غوزه در بوته (۸۸/۹ درصد) و وزن غوزه (۱۳۱ درصد) و تیمار کود آلی سبب افزایش درصد الیاف (۴۲/۳ درصد) شد. در کلیه نظام‌های تغذیه‌ای، کشت رایج تعداد غوزه بیشتری در مقایسه با کشت در فواصل ردیف خیلی باریک داشت و بالاترین تعداد غوزه در بوته در تیمار تلفیقی و کشت رایج به دست آمد. کشت در فواصل ردیف خیلی باریک در نظام تغذیه‌ای تلفیقی در مقایسه با کشت رایج ۱۸/۵ درصد عملکرد وش بیشتر و کشت در فواصل ردیف خیلی باریک در نظام تغذیه‌ای کود آلی در مقایسه با کشت رایج ۹/۲۸ عملکرد الیاف بیشتری را تولید کرد. در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که می‌توان با جایگزینی ۵۰ درصدی کود آلی در سیستم تلفیقی با کاهش ۵۰ درصدی استفاده از کودهای شیمیایی و کشت در فواصل ردیف خیلی باریک عملکرد وش و الیاف مناسبی را در پنبه تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: روش کاشت، عملکرد وش، گیاهان صنعتی، مدیریت تلفیقی مواد غذایی

مقدمه

در بیشتر مناطق کشت، پنبه به صورت فواصل رایج (کشت در فواصل ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر) صورت می‌گیرد اما در اغلب کشورها تولیدکننده عمده این محصول، گرایش به کشت پنبه در فواصل ردیف خیلی باریک (کشت در فواصل ۱۸ تا ۲۵ سانتی‌متر) در حال گسترش است (Brodrick et al., 2013; Iqbal et al., 2020; Mehrbadi, 2018). امروزه روش استفاده از کشت در فواصل ردیف خیلی باریک به منظور تولید عملکرد بالاتر پنبه مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. عواملی مانند زودرس کردن محصول (Saleem et al., 2009)، کاهش رشد علف‌های هرز (Iqbal et al., 2020) و افزایش عملکرد (Jost and Cothren, 2000) از دلایلی است که باعث افزایش درآمد کشاورزان در این روش شده است. در سیستم کشت با فواصل خیلی باریک تاج پوشش در حدود ۱۸ تا ۳۶ روز زودتر از فاصله‌ی ردیف رایج بسته می‌شود (Brodrick et al.,

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی است که در بیش از ۱۰۰ کشور جهان با تولید حدود ۲۵ میلیون تن کشت می‌شود (Khan et al., 2020). روغن، پروتئین و الیاف این گیاه به ترتیب در تغذیه انسان، حیوانات و به عنوان مناسب‌ترین ماده اولیه برای کارخانه‌های نساجی استفاده می‌شود. در حال حاضر ۶ درصد پروتئین و ۸۰ درصد الیاف طبیعی جهان از پنبه تأمین می‌شود (Townsend, 2020). پنبه بعد از نیشکر (*Saccharum officinarum*) و چغندر قند (*Beta vulgaris*) به عنوان سومین گیاه صنعتی و اولین محصول روغنی در ایران کشت می‌شود (Ahmadi et al., 2019). در خراسان رضوی شهرستان سبزوار با ۵۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت و تولید ۱۶ هزار تن رتبه نخست این استان را در تولید این محصول دارد (Ghavi and Armin, 2021).

پژمردگی ورتیسیلیومی نیز کمترین درصد بوته‌های بیمار و شاخص بیماری در تیمار کود مرغی به مقدار ۳۰ تن، بیشترین درصد آلودگی بوته در تیمار کود گوسفندی به مقدار ۱۰ تن و بیشترین شاخص بیماری در تیمار کود گاوی به مقدار ۱۰ تن در هکتار گزارش شده است (Hoshiafard and Gharanjiki, 2009). گزارش شده است که مصرف کود مرغی علاوه بر مساعد کردن محیط خاک برای فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید، خواص فیزیکی خاک زراعی را نیز اصلاح می‌کند. کودهای آلی موجب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مانند pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و میزان دسترسی به مواد غذایی شده و تأثیر مثبتی در رشد و عملکرد گیاهان دارند (Adediran et al., 2005).

با توجه به اینکه گرایش استفاده از سیستم کشت در ردیف‌های باریک در پنبه در حال گسترش است اما مطالعات اندکی در مورد واکنش پنبه به نظام‌های تغذیه‌ای در این روش صورت گرفته است. هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر نظام‌های مختلف تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت رایج و کشت با فواصل ردیف خیلی باریک بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه‌ای شخصی در شهرستان روداب در سال زارعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. مزرعه مورد بررسی در ۵۵ کیلومتر ۵۵ غرب شهرستان سبزوار با مشخصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه عرض و ۵۷ درجه و ۱۸ دقیقه طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۲۰ متر قرار داشت. بررسی به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تیمارهای کودی (شیمیایی، آلی، شیمیایی+آلی و شاهد) به عنوان کرت اصلی و روش کاشت (کشت رایج (فاصله ۵۰ سانتی‌متری) و کشت با فواصل ردیف خیلی باریک (فاصله ۲۵ سانتی‌متری) در پلات فرعی قرار گرفت. مقدار کود شیمیایی بر اساس توصیه آزمون خاک، کود آلی از کود مرغی پلپت شده و در روش تلفیقی ۵۰ درصد از هر کدام از کودهای آلی و شیمیایی مصرف شد. قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری به عمل آمد و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱).

2013). کاهش عرض ردیف باعث دریافت نور بهتر و کاهش احتمال تبخیر آب می‌شود (Darawsheh et al., 2009). در ارقام با تیپ بسته که از رشد جانبی کمتری برخوردار هستند می‌توانیم از تراکم‌های بالا با کاشت در فواصل ردیف نزدیک‌تر برای رسیدن به عملکرد بیشتر بهره ببریم و این روش امکان استفاده از ماشین‌آلات در زمان برداشت را برای تولیدکنندگان فراهم می‌کند (Mehrabadi, 2018).

امروزه استفاده از روش‌های تلفیقی مدیریت مواد غذایی در گیاهان زراعی به عنوان یک روش اکولوژیک برای افزایش پایداری سیستم‌ها و افزایش تولید مدنظر پژوهش‌گران قرار گرفته است. از طرفی استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و عدم استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک طی سالیان اخیر، عامل کاهش چشمگیر میزان مواد آلی و ایجاد مشکلات زیست‌محیطی از جمله تخریب فیزیکی خاک و عدم توازن عناصر غذایی خاک بوده است (Yasin, 2020). در واکنش پنبه به نوع کود مصرفی گزارش شده است تلقیح بذر با باکتری‌ها منجر به افزایش غلظت نیتروژن برگ می‌گردد، اما عملکرد و سایر اجزای عملکرد پنبه پاسخ معنی‌داری نسبت به تلقیح باکتری‌ها نشان نمی‌دهد (Gharanjiki and Fallah Nosrat-abad, 2020). در ارزیابی رشد و عملکرد پنبه در رقابت با علف‌های هرز در شرایط مصرف کودهای شیمیایی و بیولوژیک گزارش شده است در شرایط تناخل علف‌های هرز کاربرد کود شیمیایی به تنهایی به دلیل افزایش توان رقابتی علف‌های هرز موجب کاهش رشد و عملکرد پنبه شد درحالی‌که با کاهش مصرف اوره به میزان نصف و جایگزینی آن با نیتروکسین، عملکرد پنبه به سبب افزایش تعداد غوزه در بوته در مقایسه با تیمار مصرف کودهای شیمیایی حدود ۶۱ درصد افزایش یافت (Rahimizadeh, 2020). در تحقیقی گزارش شده است کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن، باعث افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد انشعابات ساقه اصلی، عملکرد و ش، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب برای تولید و ش و بیوماس گردید (Moosavi, 2020). در پنبه گزارش شده است مصرف ۲۰ تن در هکتار کود مرغی سبب افزایش بیشتر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در مقایسه با مصرف ۱۰ تن در هکتار کود گاوی شده است که این افزایش عملکرد به دلیل افزایش درصد سبز و کاهش مرگ گیاه‌چه و آلودگی آلترناریایی در تیمار کود مرغی بوده است. از نظر بیماری

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical analysis of soil in the field site

| عمق Depth (cm) | فسفر P (ppm) | پتاسیم K (ppm) | نیتروژن N(%) | شن Sand(%) | رس Clay(%) | سیلت Silt(%) | EC (dS m ⁻¹) | pH _(1:5) |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| 0-30 | 7.6 | 200 | 0.074 | 24 | 20 | 56 | 2.2 | 7.5 |

در ایران ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Azaddisfani *et al.*, 2015). بذور مورد نیاز برای کاشت از جهاد کشاورزی سبزوار تهیه شد. بذور پنبه قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسی تیرام با نسبت دو در هزار ضدعفونی شد به منظور جلوگیری از سله بستن خاک و بهبود وضعیت سبز گیاهچه‌های پنبه، آبیاری دوم با فاصله ۱۰ روز بعد انجام گردید. آبیاری در طی فصل رشد بر اساس عرف منطقه و هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. پس از استقرار کامل و در مرحله ۵ تا ۶ برگه، عملیات تنک کردن بوته‌ها روی ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر به منظور دستیابی به تراکم مطلوب انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در طول مدت آزمایش در سه نوبت و فقط به صورت مکانیکی (دستی) صورت گرفت و چون در طول دوره آزمایش آفتی مشاهده نگردید هیچ‌گونه آفت‌کشی استفاده نشد.

بر اساس نتایج تجزیه خاک، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به خاک اضافه و با آن مخلوط شد. نیتروژن توصیه‌شده به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیز به صورت کود اوره و یک‌سوم هم‌زمان با کاشت و دوسوم باقیمانده به صورت سرک بعد از وجین‌های اول و دوم به مزرعه اضافه شد. مقدار مصرف کود مرغی پلیت شده ۳ تن در هکتار بود. مشخصات کود مرغی استفاده شده در آزمایش در جدول ۲ آورده شده است (Mehrandesh *et al.*, 2021). هر کرت شامل ۴ ردیف ۵۰ سانتی‌متری یا ۲۵ سانتی‌متری با طول ۴ متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. کاشت با بذرکار پنوماتیک و با استفاده از بذر دلینته رقم ورامین انجام شد. رقم ورامین در سال ۱۳۸۸ از دورگ‌گیری ساده بسین کوکر ۱۰۰ ویلت و استرین ۵۳۹ به دست آمد. این رقم با ارتفاع ۱۵۰-۱۲۰ سانتی‌متر، متحمل به شوری و حساس به بیماری پژمردگی ورتیسیلیومی می‌باشد و متوسط عملکرد آن

جدول ۲- مشخصات کود مرغی پلیت استفاده شده در این آزمایش

Table 2- Specifications of plate poultry manure used in this experiment

| ماده آلی O.C.(%) | نیتروژن N(%) | فسفر P(%) | پتاسیم K(%) | گوگرد S(%) | آهن Fe (ppm) | منگنز Mn (ppm) | روی Zn (ppm) |
|---------------------|-----------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 33 | 4 | 3 | 4 | 5 | 400 | 600 | 900 |

۱۰۰ عدد پنبه‌دانه به‌طور تصادفی جدا گردید و با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش، نشان داد که نظام‌های مختلف تغذیه و روش کاشت اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه،

به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد، ۵ بوته به صورت تصادفی از ردیف‌های میانی هر کرت انتخاب و در آن ارتفاع نهایی، تعداد شاخه زایا و تعداد غوزه در بوته اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن غوزه، ۱۰ غوزه از بوته‌های برداشت شده به صورت تصادفی انتخاب و در آن متوسط وزن ۱۰ غوزه اندازه‌گیری شد. برداشت و ش پنبه در یک مرحله بعد از باز شدن حدود ۹۰ درصد غوزه‌ها با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت و یک ردیف از طرفین به عنوان اثر حاشیه‌ای از مساحت باقی‌مانده انجام شد. سپس الیاف و پنبه‌دانه از وش جداسازی و جداگانه توزین شد. از تقسیم وزن الیاف بر وزن وش درصد کیل و از حاصل ضرب عملکرد وش در درصد کیل عملکرد الیاف به دست آمد. جهت تعیین وزن هزار دانه پنبه، تعداد

عملکرد وش، درصد الیاف و عملکرد الیاف داشت در حالی که اثر متقابل نظام‌های مختلف تغذیه و روش کاشت بر تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه، عملکرد وش و عملکرد الیاف تأثیر معنی‌دار و بر

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی پنبه تحت تأثیر نظام تغذیه و روش کاشت

Table 3- Analysis of variance of investigated traits of cotton as affected by nutrition systems and planting method

| منابع تغییر S.O.V. | درجه آزادی (DF) | ارتفاع Height | تعداد شاخه زایشی Sympodial branch number | تعداد غوزه Boll number | وزن غوزه Boll weight | وزن هزار دانه 1000- seed weight | عملکرد وش Seed cotton yield | درصد الیاف Lint percent | عملکرد الیاف Lint yield |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| تکرار Replication | 2 | 2.04 ^{ns} | 0.037 ^{ns} | 2.38 ^{ns} | 1.06 ^{ns} | 6.09 ^{ns} | 7546* | 0.091 ^{ns} | 35589* |
| نظام تغذیه Nutrition systems (A) | 3 | 887** | 10.7** | 120** | 174** | 32.5 ^{ns} | 1080287** | 18.9** | 404860** |
| خطای اصلی Main error | 6 | 0.481 | 0.408 | 0.641 | 0.388 | 35.8 | 1251 | 0.151 | 39750 |
| روش کاشت Planting method (B) | 1 | 234** | 28.1** | 98.1** | 84.6** | 813** | 5875152** | 12.2** | 6350447** |
| A×B | 3 | 2.73 ^{ns} | 0.501 ^{ns} | 8.22** | 10.9** | 34.6 ^{ns} | 612381** | 1.38 ^{ns} | 1154391** |
| خطای فرعی Sub error | 8 | 1.37 | 0.291 | 0.290 | 0.737 | 41.5 | 4722 | 0.668 | 15632 |
| CV (%) | | 18.3 | 6.75 | 18.8 | 6.73 | 5.96 | 10.1 | 6.38 | 18.1 |

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

گزارش شده است که ارتفاع پنبه واکنش مثبتی به افزایش مصرف نیتروژن می‌دهد و بالاترین ارتفاع با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن گزارش شده است (Yang *et al.*, 2021). در اکثر آزمایشات انجام شده نشان داده شده است که کمبود عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن سبب کاهش رشد و نمو گیاه و ارتفاع پنبه خواهد شد (Gharanjiki and Fallah Nosrat-abad, 2020; Yang *et al.*, 2021; Yousefi *et al.*, 2021). نیتروژن باعث استقرار گیاه، رشد و توسعه عمومی اندام‌ها و افزایش ارتفاع بوته می‌شود. با افزایش میزان نیتروژن، ساخت هورمون‌هایی مانند اکسین و سابتوکنین افزایش می‌یابد. با افزایش این هورمون‌ها در گیاه تقسیم سلولی، طول شدن و بزرگ شدن سلول‌ها، اندام‌زایی و رشد اندام‌ها افزایش می‌یابد که این افزایش شامل ارتفاع گیاه نیز می‌شود (Zaman *et al.*, 2015). مطابق با نتایج این تحقیق در کلزا نیز گزارش شده است کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی سبب تولید ارتفاع بیشتر گیاه خصوصاً در شرایط تنش محیطی شدید می‌شود (Mamnabia *et al.*, 2020). کاربرد

ارتفاع بوته

بالاترین ارتفاع گیاه در تیمار تلفیقی کود شیمیایی+کود آلی مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار کود آلی نداشت. تلفیقی کود شیمیایی+کود آلی در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش ۴۵/۶ درصدی ارتفاع بوته شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد واکنش مناسب‌تر ارتفاع به تیمار تلفیقی فراهمی مناسب‌تر نیتروژن آزاد شده در اوایل فصل رشد توسط کود شیمیایی و فراهمی این عنصر در طول فصل رشد در کود آلی بوده است. اگرچه در تیمار کود آلی مرغی فراهمی نیتروژن در اوایل فصل رشد هم امکان‌پذیر است اما به نظر می‌رسد این فراهمی همانند کود شیمیایی نمی‌باشد. گزارش شده است که کاربرد کودهای زیستی علاوه بر اینکه مواد مغذی بیشتری را برای گیاه فراهم می‌کنند با تحریک سنتز هورمون اکسین سبب افزایش ارتفاع نهایی گیاه می‌شوند (Dawood *et al.*, 2019). چنین به نظر می‌رسد که افزایش در رشد گیاه به دلیل تمایل به تولید برگ بیشتر باشد که این موضوع می‌تواند ناشی از آزاد شدن تدریجی عناصر از کودهای آلی باشد.

سایر تحقیقات نیز افزایش ارتفاع بوته به دلیل تغییر سیستم کاشت پنبه گزارش شده است. افزایش ۸/۵ درصدی ارتفاع، در اثر کاهش فاصله ردیف از ۶۰ به ۲۰ سانتی‌متر (Mehrabadi, 2018)، افزایش ۲۰ درصدی ارتفاع بوته در کشت با فواصل ردیف خیلی باریک در مقایسه به کشت رایج (Bagherabadi *et al.*, 2019) نیز گزارش شده است.

میکوریزا سبب موسوی افزایش ۱۰/۹ درصدی ارتفاع بوته پنبه شد (Moosavi, 2020).

کشت در فواصل ردیف خیلی باریک ۱۰/۷۱ درصد ارتفاع بیشتری در مقایسه با کشت رایج داشت (جدول ۴). با نزدیک‌تر شدن فواصل بوته‌ها در ردیف رقابت برای جذب نور نیز افزایش پیدا می‌کند که این امر سبب افزایش ارتفاع بوته می‌گردد. در

جدول ۴- اثر نظام تغذیه و روش کاشت بر ارتفاع، تعداد شاخه زایشی، وزن هزار دانه و درصد الیاف

Table 4- The effect of nutrition systems and planting method on height, number of reproductive branches, 1000-seed weight and lint percentage

| | ارتفاع | تعداد شاخه زایشی | وزن هزار دانه | درصد الیاف |
|-----------------------|-------------|-------------------------|----------------------|--------------|
| | Height (cm) | Sympodial branch number | 1000-seed weight (g) | Lint percent |
| نظام تغذیه | | | | |
| Nutrition systems (A) | | | | |
| کنترل | 50.2 c | 6.50 c | 105 a | 27.6 c |
| Control | | | | |
| شیمیایی | 58.8 b | 7.50 b | 108 a | 31.8 b |
| Chemical | | | | |
| آلی | 69.8 ab | 8.33 b | 111 a | 39.3 a |
| Organic | | | | |
| شیمیایی+آلی | 73.1 a | 9.67 a | 107 a | 30.2 b |
| Chemical + organic | | | | |
| روش کاشت | | | | |
| Planting method | | | | |
| رایج | 58.8 b | 11.1 a | 113 a | 37.5 a |
| Conventional | | | | |
| فواصل ردیف خیلی باریک | 65.1 a | 9.61 b | 102 b | 33.5 b |
| Ultra-narrow row | | | | |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند (دانکن، $\alpha=0.05$).

The means with similar letters in each column are not statistically significant (Duncan, $\alpha=0.05$).

تسریع نموده و سبب افزایش رشد و تعداد شاخه جانبی می‌شود (Monem *et al.*, 2018). افزایش فراهمی نیتروژن سبب افزایش تقسیم سلولی و در نهایت افزایش ارتفاع می‌شود و از آنجا که تعداد شاخه‌های رویشی در اکثر ارقام تقریباً ثابت است، افزایش ارتفاع به تولید شاخه‌های زایشی بیشتر منجر می‌گردد (Omadewu *et al.*, 2017).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین تعداد شاخه‌های زایشی در کاشت رایج به دست آمد (جدول ۴). چنین به نظر می‌رسد که هر چه فاصله بوته‌ها از یکدیگر بیشتر باشد، رقابت درون‌گونه‌ای کمتری بین بوته‌ها وجود دارد و به دلیل وجود فضای مناسب تولید شاخه جانبی نیز افزایش پیدا می‌کند. گزارش شده است که تعداد شاخه‌های جانبی گیاه پنبه تحت

تعداد شاخه زایشی

بیشترین تعداد شاخه زایشی در تیمار تلفیقی کود شیمیایی+کود آلی مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. بین تیمار کود شیمیایی و کود آلی از نظر تعداد شاخه زایشی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). افزایش تعداد شاخه زایشی با افزایش ارتفاع گیاه همبستگی مثبتی دارد (Bagherabadi *et al.*, 2019) و از آنجا که تیمار تلفیقی کود شیمیایی+کود آلی ارتفاع بیشتری داشته است در این تیمار هم تعداد شاخه زایشی بیشتری تولید شده است. استفاده از تیمارهای کودهای مختلف، بر فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک مؤثر بوده و با تجزیه مواد آلی نیتروژن‌دار به مواد معدنی، عناصر غذایی قابل دسترس گیاه را

و پس از آن مواد پرورده را برای توسعه سایر اندام‌های گیاه صادر می‌کنند. گزارش شده است که در بین مواد غذایی برای رشد غوزه نیتروژن نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. در شرایطی که گیاه با کمبود نیتروژن مواجه شود تولید و گسترش سطح برگ در پنبه کاهش پیدا می‌کند که این امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و قند مورد نیاز برای تشکیل غوزه‌ها می‌شود. تحقیقات نشان داده کشت در فواصل ردیف رایج تعداد غوزه در بوته بیشتری (۲۰/۳۱ درصد) در مقایسه با کشت با فواصل خیلی باریک داشت (Bagherabadi *et al.*, 2019). کاهش تعداد غوزه در بوته به کاهش تعداد شاخه جانبی در هر بوته ارتباط داده شده است. گزارش شده است که با افزایش فاصله بوته، تعداد غوزه در بوته به طور خطی افزایش می‌یابد به طوری که با بیشتر شدن فاصله بوته از ۱۰ به ۳۰ سانتی‌متر حدود ۴۰ درصد غوزه بیشتری در بوته تشکیل می‌گردد (Ghajary *et al.*, 2012). که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

وزن غوزه

تفاوت معنی‌داری در تیمار کودی آلی در کشت رایج و کاشت در فواصل ردیف خیلی باریک از نظر وزن غوزه در بوته مشاهده نشد اما در سایر تیمارهای کودی متوسط وزن غوزه در کشت رایج بیشتر از کشت با فواصل ردیف خیلی باریک بود (شکل ۲). به نظر می‌رسد در کاشت رایج به دلیل تراکم کمتر بوته در واحد سطح، سایه‌اندازی وجود نداشته است و تولید مواد فتوسنتزی بیشتری در مقایسه با کشت با فواصل ردیف خیلی باریک انجام شده است که این امر افزایش وزن غوزه در بوته را به همراه داشته است. در نتایج مشابه توسط محققان بالاترین مقدار وزن و تعداد غوزه پنبه مربوط به بالاترین میزان کود نیتروژن مصرف شده بود که به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر مقادیر نیتروژن استفاده شده بود (Omadewu *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2021). با افزایش فاصله ردیف‌ها از ۲۰ به ۷۰ سانتی‌متر، فضای وسیع‌تری از خاک برای توسعه ریشه گیاه فراهم شده، دریافت رطوبت و غذای کافی از یک‌سو و افزایش تعداد شاخه‌های فرعی گیاه اعم از رویا و زایا از سوی دیگر باعث می‌شود تا گیاه کانوپی کامل‌تری را ایجاد کرده، دریافت آسمیلات‌ها و مواد فتوسنتزی بیشتری را سهم گیاه زراعی نماید. این سبب می‌گردد تا غوزه‌های تولید شده از لحاظ اندازه و

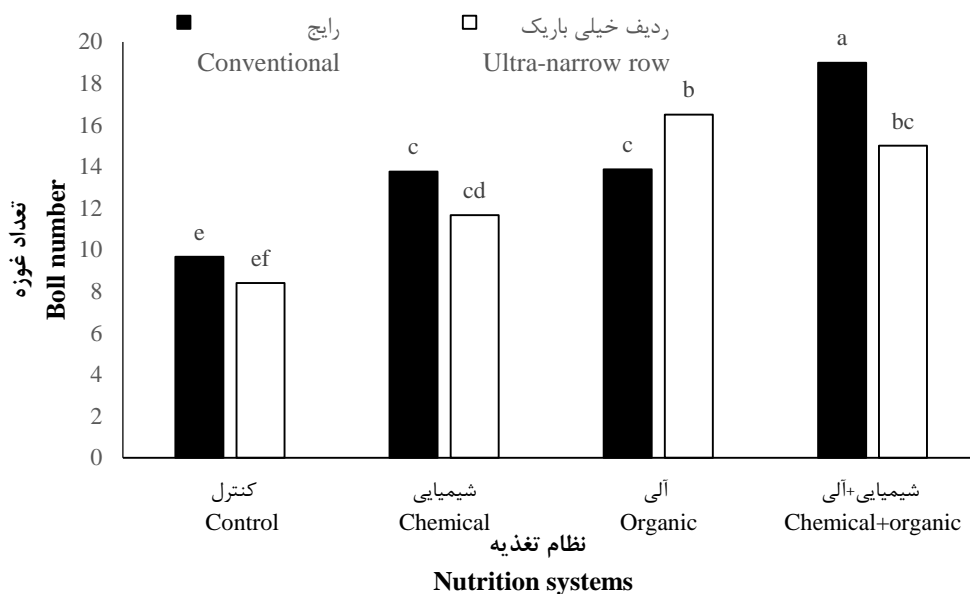
تأثیر فاصله بوته‌ها بود و با تراکم بیشتر گیاه از تعداد شاخه‌های جانبی کاسته شد. در تراکم‌های کمتر، در بین ردیف‌های کاشت و فاصله بوته‌ها، فضاهای خالی بیشتری وجود دارد که علاوه بر دسترسی بیشتر گیاه به منابع محیطی اعم از رطوبت، مواد غذایی و نور، این فضاهای خالی سبب توسعه بیشتر شاخه‌های جانبی می‌گردد (Li *et al.*, 2019).

تعداد غوزه در بوته

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین تعداد غوزه در بوته در تیمار تلفیقی کود شیمیایی+آلی در کاشت رایج به دست آمد. به جز تیمار کود آلی که در آن تعداد غوزه در بوته در کشت با فواصل ردیف خیلی باریک بیشتر بود در سایر تیمارهای کودی کشت رایج، تعداد غوزه در بوته بیشتری در مقایسه با کشت در فواصل ردیف خیلی باریک داشت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در تیمار کودی آلی در کشت با فواصل ردیف خیلی باریک در کل دوره رشد فراهمی مواد فتوسنتزی برای تولید غوزه در بوته به دلیل افزایش یا دوام بیشتر سطح برگ فراهم شده است که این امر سبب افزایش تعداد غوزه در بوته شده است اما در کشت در فواصل رایج به دلیل افزایش تعداد شاخه جانبی به دلیل فضای بیشتر موجود مواد فتوسنتزی کمتری برای هر شاخه فراهم شده است و این امر با کاهش تعداد غوزه یا گل در هر شاخه و در نهایت تعداد غوزه در بوته همراه شده است. افزایش تعداد غوزه در بوته در تیمار تلفیقی در کشت رایج را نیز می‌توان این‌گونه توجیه کرد که با وجود افزایش تعداد شاخه جانبی به دلیل تراکم کمتر سهولت دسترسی به مواد غذایی در کودهای شیمیایی در اوایل فصل رشد سبب تولید مواد فتوسنتزی و ذخیره آن در اندام‌ها شده است و آزادسازی تدریجی مواد غذایی در کود آلی در اواسط و اواخر دوره رشد سبب تولید مواد فتوسنتزی مطلوب شده است که این مواد فتوسنتزی به همراه مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده توانسته است مانع از ریزش غوزه و حفظ آن‌ها و در نهایت افزایش تعداد غوزه در بوته شود؛ به عبارت دیگر تغییر در زمان دسترسی به نیتروژن بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر است که یکی از عوامل مؤثر در توسعه‌ی اندام زایشی و به تبع آن، توسعه‌ی گل و تعداد غوزه در پنبه می‌شود. بر این اساس، برگ‌ها در ابتدای رشد به‌عنوان مخزن، مواد پرورده را صرف توسعه و افزایش سطح خود می‌کنند

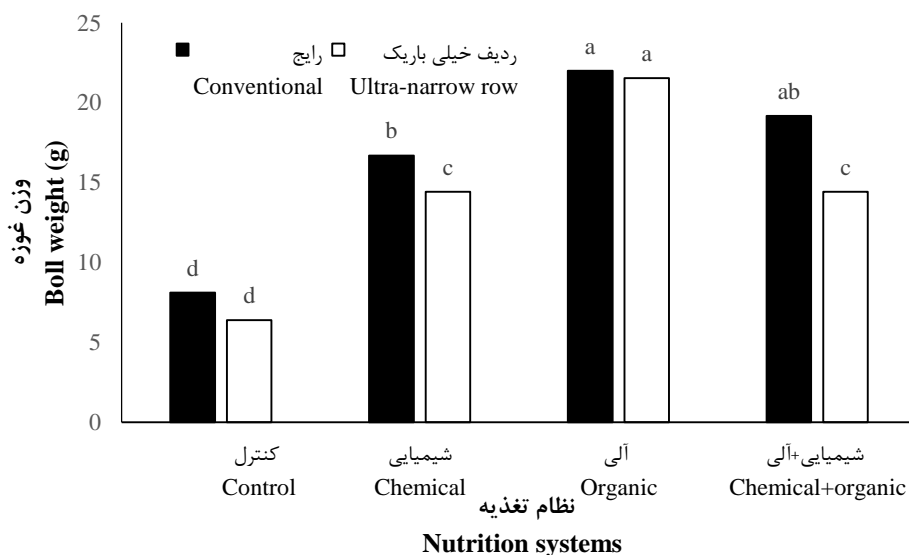
دسترس برای هر بوته نیز کاهش یافته که پیامد آن، کاهش اندازه غوزه و در نتیجه کاهش وزن وش در غوزه خواهد بود (Ren *et al.*, 2013).

حجم نسبت به الگوی کاشت متراکم بزرگ‌تر بوده و وزن وش در آن‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یابد (Brodrick *et al.*, 2013). گزارش شده است با افزایش تراکم علاوه بر این که مواد فتوسنتزی برای هر بوته کاهش می‌یابد، مواد معدنی قابل



شکل ۱- اثر نظام تغذیه‌ای و روش کاشت بر تعداد غوزه در بوته

Figure 1- Effect of nutrition system and planting method on the number of bolls per plant



شکل ۲- اثر نظام تغذیه‌ای و روش کاشت بر وزن غوزه

Figure 2- Effect of nutrition system and planting method boll weight

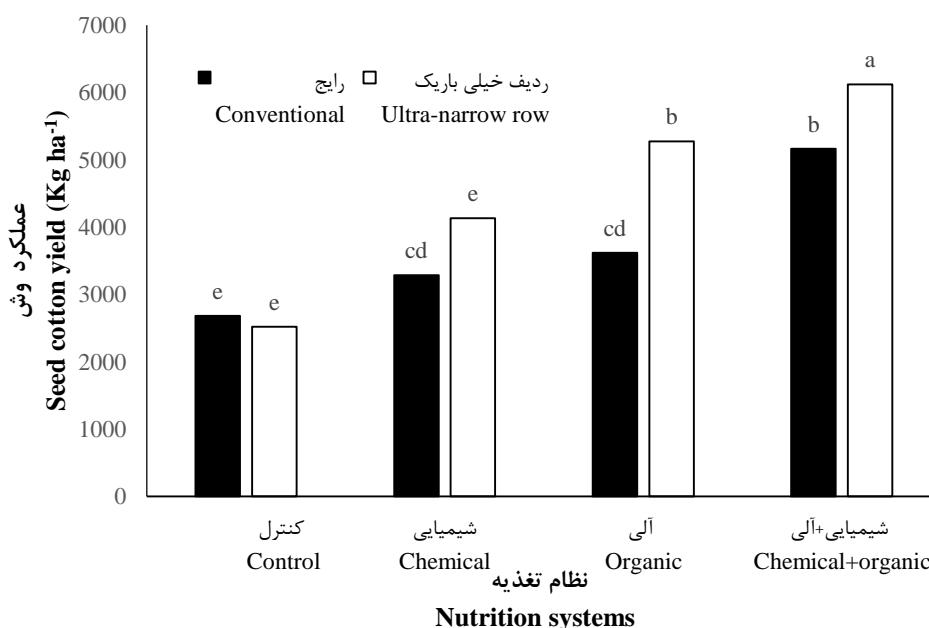
وزن هزار دانه

کشت در فواصل ردیف خیلی باریک سبب کاهش وزن هزار دانه شد. کشت رایج در مقایسه با کشت با فواصل ردیف خیلی باریک ۱۰/۷۸ درصد وزن هزار دانه بیشتری داشت (جدول ۴). گزارش شده است در کاشت متراکم با سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر، میزان مواد فتوسنتزی ساخته شده در برگ‌های تحت سایه، از مقدار کربوهیدرات‌های مصرف‌شده در تنفس آن‌ها کمتر شده و در نتیجه این‌گونه برگ‌ها به جای صادرات مواد، خود به صورت یک مخزن رقیب در مصرف کربوهیدرات‌های ساخته‌شده توسط برگ‌های بالایی به شمار رفته و بنابراین مقدار آسیمیلات‌هایی که به دانه منتقل می‌شود کاهش می‌یابد (Pessarackli, 2019). در نتیجه با وجود کاهش تعداد دانه، وزن هزار دانه نیز کم می‌شود. همچنین در تراکم‌های زیاد در ناحیه ریشه نیز برای جذب آب و مواد غذایی رقابت به وجود آمده و مواد غذایی

کمتری در دسترس هر بوته قرار می‌گیرد و در نتیجه رقابت ریشه‌ها نیز باعث کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Kjær *et al.*, 2013) که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

عملکرد وش

نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که سیستم تلفیقی هم در کشت رایج و هم در کشت با فواصل ردیف خیلی باریک عملکرد وش بیشتری در مقایسه با سایر نظام‌های تغذیه داشت. به جز در تیمار کنترل، در سایر تیمارهای کودی عملکرد وش در کشت با فواصل ردیف خیلی باریک بیشتر از کشت رایج بود. مقدار افزایش عملکرد وش در کشت با فواصل ردیف خیلی باریک در نظام تغذیه‌ای کود شیمیایی، کود آلی و تلفیقی در مقایسه با کشت رایج به ترتیب معادل ۲۵/۸، ۴۵/۵ و ۱۸/۵ درصد بود (شکل ۳).



شکل ۳- اثر نظام تغذیه‌ای و روش کاشت بر عملکرد وش

Figure 3- Effect of nutrition system and planting method on seed cotton yield

معدنی شدن، جذب تا مدت‌زمان طولانی‌تری ادامه پیدا می‌یابد (Mooleki *et al.*, 2004). افزایش فعالیت میکروبی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک، اصلاح خواص فیزیکی خاک و در نتیجه تهویه بهتر آن می‌تواند از دلایل افزایش عملکرد در روش‌های تلفیقی باشد (Shata *et al.*, 2007). دارا بودن

نتایج تحقیقی دلیل افزایش عملکرد در سیستم‌های تلفیقی را ناشی از مطابقت بیشتر بین نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه می‌داند و به‌طوری‌که در اوایل دوره رشد که نیاز غذایی پایین است میزان نیتروژن معدنی آن‌ها کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به علت تداوم فرآیند

تیمارهای مدیریتی مختلف گزارش شده است. گزارش شده است که درصد الیاف واکنشی به کاربرد اسید هیومیک نمی‌دهد اما استفاده از میکوریزا سبب افزایش درصد الیاف می‌شود. استفاده از میکوریزا سبب اختصاص بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید الیاف اختصاص شده بود (Moosavi, 2020). افزایش درصد کیل با محلول پاشی نیتروژن نیز گزارش شده است (Yousefi *et al.*, 2021).

در کشت رایج درصد الیاف تولید شده بیشتر از کشت با فواصل ردیف خیلی باریک بود. به نظر می‌رسد در کشت رایج سایه‌اندازی کمتر و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر سبب تولید بیشتر الیاف در هر غوزه شده است. برخلاف نتایج فوق در بسیاری از آزمایش‌ها گزارش شده است که درصد الیاف واکنش معنی‌داری به سیستم کاشت نداشته است (Bagherabadi *et al.*, 2019; Ghavi and Armin, 2021; Saleem *et al.*, 2009).

عملکرد الیاف

روند تغییرات عملکرد الیاف مشابه با عملکرد وش بود که دلیل آن تأثیرپذیری بیشتر عملکرد الیاف از عملکرد وش در مقایسه با درصد الیاف است. مقایسه میانگین‌ها تیمارها نشان داد که بیشترین عملکرد الیاف در تیمار کود آلی و کشت با فواصل ردیف خیلی باریک بود. در روش کشت با فواصل ردیف خیلی باریک اختلاف آماری معنی‌داری بین نظام‌های تغذیه‌ای مشاهده نشد و هم تیمار تلفیقی و هم تیمار کود شیمیایی از نظر آماری عملکرد الیاف مشابه با تیمار کود آلی داشتند اما در روش کشت رایج تیمار کود تلفیقی بالاترین عملکرد الیاف را تولید کرد که با سایر نظام‌های تغذیه اختلاف آماری معنی‌دار داشت (شکل ۴). مطابق با نتایج فوق گزارش شده است با افزایش فاصله بوته و کاهش تراکم گیاه در واحد سطح، عملکرد الیاف تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در تیمارهایی که فاصله بوته‌ها ۷۰ سانتی‌متر از یکدیگر تعریف شده بود، عملکرد الیاف ۲۴/۵ درصد کاهش می‌یابد (Clawson *et al.*, 2006). هر چند در الگوی کشت رایج تعداد شاخه‌های فرعی افزایش یافته و در نتیجه آن تعداد غوزه در بوته و در نهایت عملکرد الیاف در بوته افزایش می‌یابد اما در الگوی کشت با فواصل ردیف خیلی باریک با توجه به تعداد بوته در مترمربع، هم‌چنین تعداد غوزه بیشتر در واحد سطح

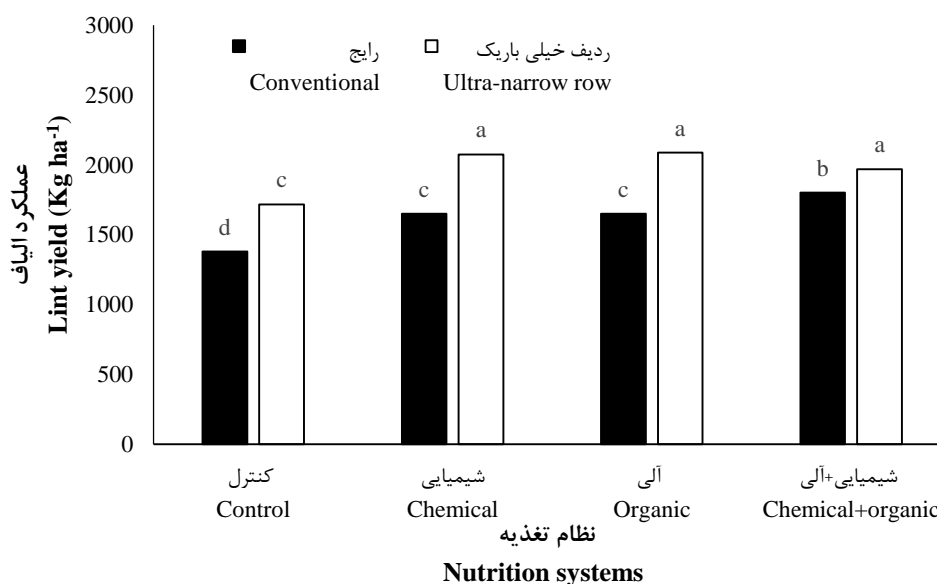
مواد آلی، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، تولید ترکیبات شبه هورمونی در محیط ریزوسفر، افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه و به طور کلی بهبود ساختار شیمیایی و فیزیکی بستر کاشت، از جمله دلایلی است که برای افزایش عملکرد گیاهان در اثر کاربرد کودهای آلی یا زیستی گزارش شده است (Du *et al.*, 2020). از آنجا که در پنبه اجزای عملکرد شامل تعداد غوزه در بوته، وزن غوزه و تراکم بوته در مترمربع می‌باشد، در نتیجه این سه جزء با یکدیگر اثر متقابل دارند. نظر به این که تعداد بوته در مترمربع به طور فزاینده‌ای در این سیستم افزایش می‌یابد، دو جزء دیگر یعنی تعداد غوزه در بوته و وزن غوزه کاهش می‌یابد. از آنجا که کاهش تعداد غوزه در بوته از طریق افزایش تعداد بوته در مترمربع جبران می‌شود، جزء دیگر عملکرد یعنی وزن غوزه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و مقدار آن کاهش می‌یابد (Vories and Glover, 2002). گزارش شده است که افزایش عملکرد در سیستم کاشت با فواصل ردیف خیلی باریک به دلیل افزایش تجمع بیوماس و یا به دلیل افزایش تسهیم مواد فتوسنتزی به بخش زایشی می‌باشد. در این سیستم کاشت تجمع اولیه بیوماس سریع‌تر صورت می‌گیرد (Brodrick *et al.*, 2012).

درصد الیاف

کاربرد کود آلی بالاترین درصد الیاف را تولید کرد. بین تیمار تلفیقی و کود شیمیایی اختلاف آماری معنی‌داری از نظر درصد الیاف وجود نداشت و کمترین درصد الیاف در تیمار کنترل مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد دلیل افزایش درصد الیاف در تیمار کود آلی مناسب‌تر بودن ترکیب مواد غذایی مورد نیاز برای رشد وش در هر غوزه و فراهمی بیشتر نیتروژن در زمان رشد غوزه‌ها در این تیمار بوده است. گزارش شده است که افزایش میزان مصرف نیتروژن سبب افزایش حجم ریشه شده و پتانسیل آب قابل استفاده را برای گیاه افزایش می‌دهد. نیتروژن با طولانی کردن دوره گل‌دهی و تشکیل غوزه‌های آخر فصل سبب کاهش زودرسی پنبه می‌گردد در حالی که بوته‌هایی که با مقادیر کم نیتروژن رشد می‌کنند زودتر گل می‌دهند و قطع گل‌دهی هم در آن‌ها زودتر اتفاق می‌افتد بنابراین زودرس‌تر می‌شوند که این زودرسی با کاهش تولید وش در هر غوزه و در نهایت کاهش درصد الیاف می‌شود. واکنش درصد الیاف (کیل) به

معنی‌داری بین ارقام مختلف مورد بررسی از نظر کیفیت الیاف مشاهده نشد اگرچه کشت در فواصل ردیف خیلی باریک عملکرد الیاف بیشتری در مقایسه با کشت رایج داشت (Aghajari and Akram ghadri, 2007).

نسبت به الگوی کشت رایج می‌توان استنباط نمود که در الگوی کشت با فواصل ردیف خیلی باریک برآیند حاصل، عملکرد الیاف بیشتر در واحد سطح باشد. گزارش شده است که کیفیت الیاف تحت تأثیر الگوی کشت قرار نمی‌گیرد و اختلاف آماری



شکل ۴- اثر نظام تغذیه‌ای و روش کاشت بر عملکرد الیاف

Figure 4- Effect of nutrition system and planting method on lint yield

اگرچه در روش کشت در فواصل ردیف خیلی باریک اختلاف آماری معنی‌داری بین نظام‌های تغذیه‌ای از نظر عملکرد الیاف مشاهده نشد. بر این اساس می‌توان در منطقه مورد بررسی یا مناطق با آب و هوایی مشابه استفاده از روش تلفیقی کوددهی و کشت در فواصل ردیف خیلی باریک جهت حصول عملکرد و ش مناسب را توصیه کرد.

تعارض منافع

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

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از روش تلفیقی در مقایسه با مصرف کود به صورت شیمیایی یا آلی با فراهمی مناسب‌تر مواد غذایی سبب تولید عملکرد و اجزای عملکرد بیشتری می‌شود. کشت در فواصل ردیف خیلی باریک اگرچه سبب کاهش اجزای عملکرد در تک‌بوته شد اما به دلیل بالاتر بودن تعداد بوته در واحد سطح، عملکرد و ش و عملکرد الیاف بیشتری را تولید کرد که هم در روش کشت رایج و هم در کشت فواصل ردیف خیلی باریک استفاده از روش تلفیقی (۵۰ درصد شیمیایی+۵۰ درصد آلی) مناسب‌ترین نظام تغذیه‌ای بود.

References

- Adediran, J., Taiwo, L., Akande, M., Sobulo, R. and Idowu, O. 2005. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, 27(7): 1163-1181.
- Aghajari, A.G. and Akram, G.F. 2007. Influence of row spacing and population density on yield and yield components of three cotton cultivars in gorgan. *Journal of Agricultural Sciences*, 12(4): 833-884. (In Persian).

- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abdeshah, H. and Kazemian, A.** 2019. Agricultural statistics of the crop: 2018-2019., in: Ministry of jihad agriculture, d.O.P.A.E., information and communication technology center (ed.). Ministry of jihad agriculture, tehran, p. 95. (In Persian).
- Azaddisfani, F., Dravishmojeni, D., Dieji, A., Roshan, A. and Zangi, M.R.** 2015. Cotton Guide (Planting, Holding, Harvesting): Special plan for synchronizing Basiij with farmer. Ministry of Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, p. 175. (In Persian).
- Bagherabadi, H., Armin, M. and Filekesh, E.** 2019. The effect of sowing date on yield and yield components of cotton planted in ultra narrow rows and conventional rows. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 7(1): 1-14. (In Persian).
- Brodrick, R., Bange, M., Milroy, S. and Hammer, G.** 2013. Physiological determinants of high yielding ultra-narrow row cotton: Canopy development and radiation use efficiency. *Field Crops Research*, 148: 86-94.
- Clawson, E.L., Cothren, J.T. and Blouin, D.C.** 2006. Nitrogen fertilization and yield of cotton in ultra-narrow and conventional row spacings. *Agronomy Journal*, 98(1): 72-79.
- Darawshah, M., Chachalis, D., Aivalakis, G. and Khah, E.** 2009. Cotton row spacing and plant density cropping systems ii. Effects on seed cotton yield, boll components and lint quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(4): 262-265.
- Dawood, M.G., Sadak, M.S., Abdallah, M.M.S., Bakry, B.A. and Darwish, O.M.** 2019. Influence of biofertilizers on growth and some biochemical aspects of flax cultivars grown under sandy soil conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1): 1-13.
- Du, Y., Cui, B., Wang, Z., Sun, J. and Niu, W.** 2020. Effects of manure fertilizer on crop yield and soil properties in china: A meta-analysis. *Catena*, 193: 104617.
- Ghajary, A., Miri, A., Zangi, M. and Soltani, S.** 2012. Determination of the best suitable planting pattern and plant density of early maturing cotton cultivars following canola harvesting. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(4): 103-121. (In Persian).
- Gharanjiki, A. and Fallah Nosrat-abad, A.** 2020. Field evaluation of different levels of nitrogen and growth promoting bacteria on yield and yield components of cotton in delayed cultivation. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 7(2): 75-92. (In Persian).
- Ghavi, A.R. and Armin, M.** 2021. Integrated weed management of cotton planting in conventional and ultra-narrow row space. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(56 (4)): 571-586. (In Persian).
- Hosharfard, M. and Gharanjiki, A.** 2009. Effect of source and rate of on incidence and severity of important diseases, yield and yield components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(3): 237-248. (In Persian).
- Iqbal, N., Manalil, S., Chauhan, B.S. and Adkins, S.W.** 2020. Effect of narrow row-spacing and weed crop competition duration on cotton productivity. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-13.
- Jost, P.H. and Cothren, J.T.** 2000. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra-narrow row spacings. *Crop Science*, 40(2): 430-435.
- Khan, M.A., Wahid, A., Ahmad, M., Tahir, M.T., Ahmed, M., Ahmad, S. and Hasanuzzaman, M.** 2020. World Cotton Production and Consumption: An Overview. In: Ahmad S., Hasanuzzaman M. (eds) Cotton Production and Uses. Springer, Singapore.
- Kiær, L.P., Weisbach, A.N. and Weiner, J.** 2013. Root and shoot competition: A meta-analysis. *Journal of Ecology*, 101(5): 1298-1312.
- Li, T., Zhang, Y., Dai, J., Dong, H. and Kong, X.** 2019. High plant density inhibits vegetative branching in cotton by altering hormone contents and photosynthetic production. *Field Crops Research*, 230: 121-131.

- Mamnabia, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, G. and Raei, Y.** 2020. Morpho-physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3): 359-378. (In Persian).
- Mehrabadi, H.** 2018. Investigation of agronomic and morphologic responses of different cotton types in ultra narrow row system. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(3): 615-628. (In Persian).
- Mehrandesh, M., Galavi, M., Ramroudi, M. and Armin, M.** 2021. Effect of different nutrient system on quantitative and qualitative traits of sugar beet in different cultivation methods. *Journal of Crops Improvement*, 23(1): 59-72. (In Persian).
- Monem, R., Pazoki, A. and Abdzad Gohari, A.** 2018. The effect of combined application of plant growth promoting rhizobacteria and different levels of vermicompost on quantitative and qualitative performance of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 48(4): 615-630. (In Persian).
- Mooleki, S., Schoenau, J., Charles, J. and Wen, G.** 2004. Effect of rate, frequency and incorporation of feedlot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiency in east-central saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 84(2): 199-210.
- Moosavi, S.G.** 2020. Effect of humic acid and mycorrhiza application on morphological traits and yield of cotton under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1): 121-139. (In Persian).
- Omadewu, L.I., Iren, O.B. and Eneji, A.E.** 2017. Optimizing nitrogen rates and plant density for cotton cultivars (*Gossypium* spp.) in the nigerian savanna. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-15.
- Pessaraki, M.** 2019. Handbook of plant and crop physiology. CRC press.
- Rahimizadeh, M.** 2020. The assessment of weed competition effect on growth and yield of cotton with use chemical and biological fertilizers. *Journal of Crop Improvement*, 22(2): 245-255. (In Persian).
- Ren, X., Zhang, L., Du, M., Evers, J.B., van der Werf, W., Tian, X. and Li, Z.** 2013. Managing mepiquat chloride and plant density for optimal yield and quality of cotton. *Field Crops Research*, 149: 1-10.
- Saleem, M.F., Anjum, S.A., Shakeel, A., Ashraf, M.Y. and Khan, H.Z.** 2009. Effect of row spacing on earliness and yield in cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5): 2179-2188.
- Shata, S., Mahmoud, A. and Siam, S.** 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6): 733-739.
- Townsend, T.** 2020. World natural fibre production and employment. In: Handbook of natural fibres. Elsevier: pp: 15-36.
- Vories, E. and Glover, R.** 2002. Comparing the timing of the last effective boll populations in unr and conventional cotton. Proceedings of Beltwide Cotton Conference, National Cotton Council, Memphis (USA).
- Yang, X., Geng, J., Huo, X., Lei, S., Lang, Y., Li, H. and Liu, Q.** 2021. Effects of different nitrogen fertilizer types and rates on cotton leaf senescence, yield and soil inorganic nitrogen. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(11): 1507-1520.
- Yasin, H.M.** 2020. Review on nutrient management, cycles, flows and balances in different farming systems. *Scientific Journal of Review*, 9(1): 600-615.
- Yousefi, A., Armin, M. and Jami Moeini, M.** 2021. Effects of supplemental foliar-applied nitrogen on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and nitrogen efficiency under saline conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(20): 1-11.
- Zaman, M., Kurepin, L.V., Catto, W. and Pharis, R.P.** 2015. Enhancing crop yield with the use of n-based fertilizers co-applied with plant hormones or growth regulators. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(9): 1777-1785.

Effect of various nutrient systems on yield and yield components of cotton under conventional and ultra-row spacing conditions

Amrollah Shams¹, Mohammad Armin^{2*}, Matin Jamimoeini²

¹ Phd. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

*Corresponding Author: moh.armin@iau.ac.ir

Received: 14 October 2021

Accepted: 6 November 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.310472.1142

Abstract

Introduction: Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is one of the oldest agricultural crops, cultivated in over 100 countries with a total production of approximately 25 Mt. This plant's oil, protein, and seed cotton are used in human and animal nutrition, and as the best coating raw material for spinning mills, respectively. Cotton, following sugarcane (*Saccharum officinarum*) and sugar beet (*Beta vulgaris*), is Iran's third largest industrial crop and first oil crop. Appropriate agronomic practices, such as plant density and fertilizer management, have a substantial impact on crop development and final yield. Adjusting the distance between cotton rows has been a technique used to increase yield. Typically, cotton is planted in rows separated by 70 to 100 cm. Ultra narrow row (UNR) cotton production has been proposed as a cost-effective method for increasing yields and decreasing production expenses. The fertilizer needs of UNR cotton are not well-established, and the lint yield of UNR cotton relative to that of conventional-row (CR) cotton has been variable. This research aimed to determine the optimal nutrition systems for UNR and CR cotton production.

Materials and Methods: This research was conducted on a private farm in Rudab (Khorasan Razavi province), 60 km from Sabzevar at a latitude of 36° 13', longitude of 57° 44', and an elevation of 990 m above sea level, during 2019 and 2020. The experimental design consisted of a split plot arrangement of treatments with three replicates in a completely randomized complete block design. The type of fertilizer, which included chemical, organic, chemical+organic, and control (without fertilizer), was regarded as the main plot, while the planting method, which included conventional and ultra-row spacing cultivation, was regarded as the sub plot. Each plot consisted of four 50 cm (UNR) or 25 cm (CR) rows with a length of 4 m and a 20 cm plant spacing. Utilizing a pneumatic seeder and Varamin cultivar, sowing was performed. Before planting, a physicochemical analysis of the experimental soil was conducted. In accordance with the recommendation of the soil test, a uniform dose of phosphorus (150 kg ha⁻¹) in the form of Triple Super Phosphate was applied at the time of sowing as part of the chemical treatment. The recommended amount of N (250 kg ha⁻¹) was applied as urea. One-third of the N was applied at the time of sowing, and the remaining two-thirds were applied in two equal splits at the first and second weedings (50 and 80 days after sowing, respectively). In organic treatment, the rate of poultry manure application was 3000 kg ha⁻¹. In the chemical+organic treatment, each organic and chemical fertilizer was applied at a rate of 50%. At the time of harvest, five plants were randomly selected from the middle rows of each plot and their final height, number of branches, and number of bolls per plant were measured. In order to determine the weight of bolls, 10 bolls were selected at random from the harvested plants and their average weight was determined. The seed cotton yield was harvested at one stage after approximately 90 percent of the bolls had opened. The lint and seeds were separated and weighed separately from the seed cotton. The lint percentage was calculated by dividing the lint weight by the seed cotton weight. The collected data on various parameters were statistically analyzed using SAS (Version 9.4), and the least significant difference (LSD) test at a 5% probability level was used to compare the treatment means.

Results and Discussion: Chemical and organic treatment increased the number of lateral branches

(48.7 percent), number of bolls per plant (88.9 percent), and boll weight (131 percent) compared to the control, while organic fertilizer treatment increased lint percentage (42.3 percent). In all nutrition systems, conventional cultivation produced more bolls per plant than ultra-row spacing, and integrated treatment and conventional cultivation produced the greatest number of bolls per plant. In ultra-row spacing and integrated nutrition systems, seed cotton yield was increased by 18.5% over conventional and organic fertilizer and cultivation, and lint yield was increased by 9.28% over conventional cultivation.

Conclusion: Overall, the results of this experiment demonstrated that it is possible to produce a satisfactory seed cotton yield by substituting 50 percent of the chemical fertilizers in an integrated system with 50 percent less organic fertilizer and by utilizing ultra-row spacing.

Keywords: Industrial crop, Integrated nutrient management, Planting method, Seed cotton yield

آنالیز رشد گیاه دارویی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *Styriaca*) با

استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده تحت تیمارهای متفاوت آبیاری و مالچ پلاستیکی

سیاوش برده‌جی^{۱*}، محمد بنایان^۲، سارا زارع^۱، مهرداد محلوجی^۳، عباس نصیری دهرسخی^۴

۱- دانش آموخته دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۴- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: Siavashbardehji1371@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.299980.1121

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۴

چکیده

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه شده از تشتک تبخیر کلاس A) به عنوان عامل اصلی و دو سطح استفاده و عدم استفاده از مالچ پلاستیکی تیره به عنوان عامل فرعی بود. نتایج نشان داد که استفاده از مالچ پلاستیکی در شرایط آبیاری بدون تنش (آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی) سبب افزایش صفات تعداد دانه در بوته (۵/۷ درصد) و محتوای نسبی آب برگ (۱۲/۸ درصد) شد و بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری نداشت؛ اما در شرایط تنش ملایم (آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی) باعث افزایش تمامی صفات به جز سرعت رشد نسبی شد و بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه (۹۷/۳ درصد) داشت. هم‌چنین در شرایط تنش شدید (آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی) استفاده از مالچ پلاستیکی بیشترین تأثیر را بر صفت عملکرد دانه (۳۱۲ درصد) داشت و بر سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی تأثیر معنی‌داری نداشت. به طور کلی نتایج نشان داد که حفظ رطوبت خاک و انجام آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه می‌تواند نقش مهمی در افزایش رشد و عملکرد داشته باشد. هم‌چنین مشاهده شد که انجام آبیاری به میزان ۷۵ درصد نیاز آبی در شرایط استفاده از مالچ پلاستیکی بیشترین میزان عملکرد، کارایی مصرف نور، شاخص‌های رشدی و درصد روغن را تولید نموده و روشی مؤثر در کاهش میزان آب مصرفی در شرایط کم‌آبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، کارایی مصرف نور، کم‌آبی، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

تشکیل سنگ‌های مئانه و کلیه اشاره کرد (Pasoy and Aydin, 2004)، هم‌چنین روغن این گیاه سرشار از اولئیک اسید و لینولئیک اسید می‌باشد (Nederal et al., 2014). از آنجایی که شرایط محیطی جهت رشد این گیاه به‌ندرت در حالت بهینه قرار دارد و گیاهان تحت تأثیر عوامل زنده و غیر زنده، تنش‌های مختلفی را تجربه می‌کنند، در نتیجه عملکرد گیاه نسبت به پتانسیل رشدی گیاه کاهش می‌یابد. میزان واکنش گیاه نسبت به تنش‌ها بسته به نوع، شدت، زمان وقوع و طول دوره‌ی تنش متفاوت است. معمولاً خشکی مهم‌ترین تنش غیر زنده است که بر رشد و عملکرد گیاهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر می‌گذارد. تنش خشکی باعث بروز خسارات زیادی در بخش کشاورزی شده و حدود نیمی از اراضی کشاورزی

گیاه دارویی کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* convar. *pepo* var. *styriaca*) در اکثر کشورهای توسعه‌یافته به عنوان یکی از مهم‌ترین و ارزشمندترین گیاهان در صنایع داروسازی مورد توجه قرار دارد (Wagner, 2000). کدو پوست کاغذی گیاهی علفی، یک‌ساله، دارای ساقه خزنده و کرک‌دار است که متعلق به خانواده کدوئیان می‌باشد (Aroyi, 2000). از روغن موجود در دانه‌های کدو پوست کاغذی در طب سنتی و مدرن برای درمان بسیاری از بیماری‌ها استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به هیپوتروفی پروستات، جلوگیری از انقباضات نامنظم قلب، درمان کرم‌های روده‌ای، التهاب معده، تصلب شرایین، کاهش میزان کلسترول خون و کاهش احتمال

ایران و سایر کشورهای دنیا به‌ویژه در ارتباط با تأثیر کم‌آبی و تنش خشکی صورت گرفته است و منابع علمی موجود در این زمینه نیز بسیار محدود است. با توجه به آنچه گفته شد این آزمایش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و استفاده از مالچ پلاستیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد، شاخص‌های رشدی، کارایی مصرف نور و درصد روغن به عنوان مهم‌ترین صفات کیفیتی در گیاه کدو پوست کاغذی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلینت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ عرض جغرافیایی درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر) در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. خاک محل انجام آزمایش دارای بافت سیلنتی لومی بود. تیمار آبیاری به صورت نشتی بعد از استقرار بوته‌ها در مرحله ۳ الی ۴ برگی در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار مالچ پلاستیکی سیاه‌رنگ با قطر ۲ میلی‌متر و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر در دو سطح استفاده و عدم استفاده از مالچ بر روی جوی‌های آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک در اوایل اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌های روی ردیف - ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر کرت سه ردیف کشت به صورت دو طرفه (مجموعاً ۶ ردیف) با تراکم ۳/۳۴ بوته در متر مربع کشت شد و ابعاد هر کرت ۳ در ۶ متر بود. نیاز کودی گیاه بر اساس آنالیز خاک معادل ۱۸۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار تخمین زده شد که با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) محاسبه و به زمین داده شد. عملیات کاشت دو هفته پس از آبیاری و با توجه به دمای هوا (دمای هوای مورد نیاز این گیاه برای کاشت بالاتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد است) در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ انجام شد. حجم آب مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری با استفاده از تشتک تخییر کلاس A از معادله ۱ تعیین گردید.

$$V = (PE \times KC \times A) / E_i \quad (\text{معادله ۱})$$

جهان تحت تأثیر تنش خشکی قرار دارند (Zaidi et al., 2004). تنش خشکی در ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه‌ای تقریباً خشک از جهان به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی معرفی شده است که هر ساله بخش عمده‌ای از عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد (Kafi et al., 2009). گاهی اوقات یک تنش ملایم خشکی با اثر بر روی یک فرآیند مهم و حساس در گیاه می‌تواند اثرات بسیار زیادی بر رشد و عملکرد گیاه بگذارد به همین دلیل فراهم کردن آب کافی برای رشد یک محصول قبل از وقوع تنش بسیار مهم و حائز اهمیت است (Pirzad et al., 2011). به دلیل اهمیت آب آبیاری در کشاورزی و تأثیری که تنش خشکی بر رشد و عملکرد محصولات می‌گذارد باید از روش‌هایی برای جلوگیری از هدررفت آب و مدیریت بهتر منابع آبی در کشاورزی استفاده شود که موجب می‌شود اثرات تنش خشکی تا حدودی تعدیل گردد (Kamkar et al., 2011). از جمله این روش‌ها می‌توان به استفاده از مالچ پلاستیکی اشاره کرد.

استفاده از مالچ پلاستیکی در پرورش محصولات کشاورزی با هدف افزایش میزان رطوبت موجود در خاک به‌وسیله کاهش میزان تابش خورشید به سطح خاک و جلوگیری از تبخیر آب از سطح زمین، کاهش علف‌های هرز موجود در مزرعه، کاهش خسارات برخی از آفات، افزایش عملکرد برخی از محصولات در کشاورزی سراسر جهان افزایش یافته است (Kasirajan and Ngouajio, 2012). عدم استفاده از مالچ باعث از دست رفتن آب و بروز کم‌آبی و تنش خشکی شده و به دلیل کافی نبودن میزان رطوبت موجود در خاک رشد گیاه کاهش پیدا می‌کند (Singh et al., 2002). در زراعت کدو پوست کاغذی به دلیل نوع آرایش کاشت و فاصله زیاد بین بوته‌ها میزان تبخیر و هدر رفت آب از سطح زمین در اوایل دوره‌ی رشد تا زمان بسته شدن کانوپی و پوشیده شدن سطح زمین زیاد بوده و استفاده از مالچ پلاستیکی می‌تواند اثر زیادی در حفظ رطوبت خاک داشته باشد. نتایج آزمایشی (Nekookhoo and Fallah, 2018) روی گیاه کدو پوست کاغذی نشان داد که در شرایط تنش ملایم خشکی استفاده از مالچ، میزان آب و نیتروژن مورد نیاز گیاه را به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درصد کاهش داد و باعث تولید عملکرد دانه و روغن مشابه با آبیاری کامل شد. علی‌رغم اهمیت و مزایای کودی پوست کاغذی، تحقیقات بسیار ناچیزی روی این محصول در

آب ورودی به کرت با استفاده از کنتور کنترل شد. پس از سبز شدن و در مرحله چهارم برگ‌های عملیات واکاری انجام شد. وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد به صورت دستی انجام شد و در زمان آماده کردن زمین و هم‌چنین در طول فصل رشد گیاه هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کشی استفاده نشد.

V حجم آبیاری بر حسب متر مکعب، PE تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بر حسب میلی‌متر، KC ضریب گیاهی (اوایل دوره رشد ۰/۵، اواسط دوره رشد ۱، اواخر دوره رشد ۰/۷۵) (Allen et al., 1998)، A مساحت آبیاری شده بر حسب متر مربع و Ei راندمان آبیاری (۹۰ درصد) می‌باشد. آبیاری کرت‌ها هر ۷ روز یک‌بار توسط لوله‌های پلی اتیلن صورت گرفت و حجم

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

| بافت خاک | شن (%) | رس (%) | سیلت (%) | کربن آلی Organic carbon (%) | کل نیتروژن Total nitrogen (%) | پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg kg ⁻¹) | فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg kg ⁻¹) | اسیدیته pH | شوری خاک EC (dS/m) |
|------------|--------|--------|----------|-----------------------------|-------------------------------|---|--|------------|--------------------|
| Silty-loam | 21 | 23 | 56 | 0.35 | 653 | 194 | 55.5 | 7.2 | 0.48 |

$$I_{abs} = I_{tot} * F_{abs} \quad (\text{معادله ۴})$$

در پایان کارایی مصرف نور ($g \cdot Mj^{-1}$) از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین تشعشع تجمعی جذب شده توسط کانوپی ($Mj \cdot m^{-2}$) و کل وزن خشک گیاه ($g \cdot m^{-2}$) تخمین زده شد. همچنین سرعت رشد نسبی ($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) از معادله ۵ محاسبه شد.

$$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1) \quad (\text{معادله ۵})$$

به این علت که رشد گیاه بر اساس درجه حرارت است و ممکن است یک مرحله رشدی گیاه در یک سال زودتر از سال دیگر اتفاق افتد. به همین منظور از درجه روز رشد استفاده شد (Amador-Ramirez, 2002):

$$GDD = \sum_{di} dn \left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - T_b \right] \quad (\text{معادله ۶})$$

در این معادله GDD: درجه روز رشد، T_{max} : حداکثر دمای روزانه، T_{min} : حداقل دمای روزانه، di : روز n ام بعد از کاشت و T_b : درجه حرارت پایه (۱۲ درجه سانتی‌گراد) می‌باشند.

برای محاسبه درصد روغن، پس از پاک‌سازی و خشک کردن بذرها، استخراج روغن به روش زیر انجام شد:

نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب خرد شده و سپس میزان ۵۰ گرم برای روغن‌گیری با حلال N-هگزان در دستگاه سوکسله در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶ ساعت قرار داده شد. پس از آن حلال موجود را جدا کرده و با توزین روغن

برای اندازه‌گیری تعداد بذر در بوته، به طور تصادفی از هر کرت تعداد ۳ نمونه انتخاب شد و تعداد بذر موجود در بوته شمارش شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد بذر در بوته در نظر گرفته شد. برای محاسبه مقادیر شاخص سرعت رشد محصول (CGR) از معادله ۲ استفاده گردید (Karimi and Azizi, 1994).

$$CGR = (W_2 - W_1 / T_2 - T_1) * 1 / GA \quad (\text{معادله ۲})$$

T_1 : زمان نمونه‌گیری اول، T_2 : زمان نمونه‌گیری دوم، W_1 : وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری اول، W_2 : وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری دوم، GA: سطح زمین.

سپس با استفاده از ضریب خاموشی نور ($K=0/72$) Roupheal (and Colla, 2005) و تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد و با استفاده از معادله ۴ کسر تشعشع جذب شده (F_{abs}) برای هر روز از فصل رشد توسط معادله ۳ محاسبه گردید.

$$F_{abs} = 1 - \exp(-k * LAI) \quad (\text{معادله ۳})$$

میزان تشعشع روزانه خورشیدی (I_{tot}) برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط خودریان و فان لار محاسبه گردید (Nasiri-Mahallati, 2000). سپس این مقادیر بر اساس ساعت آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان رضوی اصلاح و در نهایت میزان کل تشعشع جذب شده روزانه توسط کانوپی (I_{abs}) توسط معادله ۴ محاسبه شد.

به‌دست‌آمده میزان درصد روغن محاسبه شد (Amin *et al.*, 2019). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)، چهار یا پنج قطعه برگ تازه به قطر ۱ سانتی‌متر برش داده شده و توزین گردیدند (FW)، سپس نمونه‌ها در یک ظرف حاوی آب مقطر در دستگاه انکوباتور در تاریکی به مدت چهار ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و دوباره وزن شدند (TW)، در آخر نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و مجدداً توزین شدند (DW). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد (Valivand and Amooaghaie, 2021).

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \quad (\text{معادله ۷})$$

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و همچنین مقایسات میانگین با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SigmaPlot 12.5 و GraphPad Prism 7 استفاده گردید.

تعداد دانه در بوته

اثر متقابل تیمار آبیاری و مالچ بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد مالچ دیده شد، هم‌چنین کمترین تعداد دانه در بوته در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون مالچ بود که آبیاری ۷۵ درصد و استفاده از مالچ به مقدار ۳۱ درصد افزایش تعداد دانه در بوته را نسبت به ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم استفاده از مالچ ایجاد کرد (جدول ۳). هم‌چنین در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد مالچ نسبت به همین میزان آبیاری بدون کاربرد مالچ مقدار ۱۹ درصد افزایش تعداد دانه در بوته دیده شد که این مهم نشان‌دهنده‌ی اثربخشی معنی‌دار وجود مالچ در افزایش تعداد دانه در بوته می‌باشد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که کاهش مقدار آبیاری باعث کاهش تعداد دانه در بوته می‌گردد و علت اصلی این امر کاهش تولید مواد فتوسنتزی در اثر تنش آبی می‌باشد (Abbasi *et al.*, 2017)، در این مطالعه مشاهده شد که با وجود کاهش میزان آبیاری، افزایش در صفت تعداد دانه در بوته دیده شد که علت اصلی این امر وجود مالچ می‌باشد؛ زیرا وجود مالچ

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مالچ بر عملکرد دانه کدو پوست کاغذی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشینه عملکرد دانه از تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و کاربرد مالچ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی و دارای مالچ نداشت. کمینه عملکرد دانه از تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون مالچ با افت ۹۳ درصدی نسبت به حداکثر میزان تولید به‌دست آمد. در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی استفاده از مالچ موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۹/۳ و ۷۵/۹ درصد شد. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیز استفاده از مالچ سبب افزایش ۲۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم استفاده از مالچ شد، ولی از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). استفاده از مالچ و انجام آبیاری کامل باعث جبران کمبود آب در گیاه شده که این کمبود آب می‌تواند به وسیله کاهش تعداد سلول‌های بنیادی، باعث کاهش تعداد دانه در میوه شود و در نتیجه عملکرد دانه در گیاه را کاهش دهد (Daneshian *et al.*,

که مالچ می‌تواند باعث نگهداری رطوبت به مدت بیشتری در خاک شده و همچنین به علت کاهش علف‌های هرز، رقابت گیاه برای دریافت مواد غذایی کم می‌شود و سپس تعداد دانه در میوه با وجود تنش رطوبتی افزایش می‌یابد.

باعث کاهش هدررفت آب و همچنین کاهش چشم‌گیر علف‌های هرز در مزرعه می‌شود (Ngouajio *et al.*, 2005) و در نهایت نیاز به رقابت گیاه برای دریافت مواد غذایی از زمین نمی‌باشد. طبق آزمایش (Nekookhoo and Fallah, 2018) گزارش شد

جدول ۲- آنالیز واریانس حداکثر شاخص‌های رشدی و کیفیتی کدو پوست کاغذی تحت تأثیر آبیاری و مالچ

Table 2- Analysis of variance maximum growth and quality indices for Cucurbita pepo affected by irrigation and mulch

| منابع تغییرات Source of variations | درجه آزادی df | عملکرد دانه Seed yield | تعداد دانه Number of seed | درصد روغن Oil | سرعت رشد محصول RGR | سرعت رشد نسبی CGR | محتوای نسبی آب برگ RWC |
|---------------------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| تکرار Replication | 2 | 13465 | 22.9 | 0.315 | 4.18 | 0.000027 | 17.2 |
| آبیاری (A) Irrigation(A) | 2 | 2038295** | 5551** | 9.76** | 208** | 0.0017* | 621** |
| خطای اصلی The main plot error | 4 | 53823 | 15.8 | 0.066 | 2.91 | 0.00012 | 10.9 |
| مالچ (B) Malch(B) | 1 | 944193** | 1682** | 1.86** | 50.0** | 0.00016 | 374** |
| A*B خطای فرعی | 2 | 172059* | 98.7* | 6.41** | 41.0** | 0.00046 | 54.1 |
| خطای فرعی The sub plot error | 6 | 26948 | 47.5 | 0.177 | 9.97 | 0.0006 | 2.33 |
| ضریب تغییرات CV (%) | | 17.1 | 5.85 | 2.43 | 11.2 | 10.3 | 4.43 |

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

***, * and ns are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively

درصد روغن

اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مالچ پلاستیکی بر درصد روغن در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد روغن در شرایط تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به همراه وجود مالچ بیشترین مقدار بود که این مقدار با شرایط نیاز آبی ۷۵ درصد و وجود مالچ اختلاف معنی‌داری نداشت و این امر نشان داد که با تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و استفاده از مالچ می‌توان به بیشینه مقدار درصد روغن دست یافت. کمینه مقدار درصد روغن با ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون وجود پوشش مالچ حاصل شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی و استفاده از پوشش مالچ به مقدار ۱۶/۳۴ درصد افزایش درصد روغن نسبت به شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون وجود پوشش مالچ دیده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی و استفاده از مالچ مقدار روغن موجود در بذر ۱۳ درصد بیشتر از زمانی است که در

همین شرایط نیاز آبی ولی از مالچ استفاده نشده است (جدول ۳). شرایط تنش رطوبتی باعث می‌شود طول دوره‌ی رشدی گیاه کاهش یابد و این امر زمان کافی برای پر شدن دانه را کم می‌کند. این موضوع باعث کاهش مقدار درصد روغن در بذر می‌گردد؛ اما نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که وجود مالچ این اثر کاهش را در گیاه به طور معنی‌داری کاهش داده و مقدار درصد روغن بذر در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی و وجود مالچ با شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری ندارد. این نتایج با نتایج مطالعه‌ی (Khodaei *et al.*, 2017) ارتباط با اثر مالچ بر میزان روغن گیاه آفتابگردان مشابه بود. همچنین در تحقیقی دیگر تأثیر مالچ پلاستیک تیره‌رنگ بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی گیاه کدو پوست کاغذی مورد بررسی قرار داده شد و مشاهده شد که بیشترین عملکرد روغن مربوط به تیمار مالچ پلاستیک بود (Abbasi *et al.*, 2016).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و مالچ بر حداکثر شاخص‌های رشدی و کیفیتی کدو پوست کاغذی

Table 3- Mean comparison of interaction effects of irrigation and mulch on maximum growth and quality indices of Cucurbita pepo

| سطوح تیمارها | | عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹) | تعداد دانه در بوته Number of seed | درصد روغن Oil (%) | سرعت رشد محصول RGR (g.m ⁻² .day ⁻¹) | سرعت رشد نسبی CGR (g.g ⁻¹ .day ⁻¹) | محتوای نسبی آب برگ RWC (%) |
|----------------------|-----------------------------|---|--|-------------------------|---|--|-------------------------------------|
| Levels of treatments | مالچ پلاستیکی Irrigation | | | | | | |
| 100% | وجود مالچ Mulch | 1414ab | 223b | 39.1a | 16.2ab | 0.082ab | 84.7a |
| | عدم وجود مالچ No mulch | 1233b | 211c | 37.2ab | 14.7b | 0.070bc | 75.1b |
| 75% | وجود مالچ Mulch | 1695a | 239a | 38.9a | 18.3a | 0.093a | 75.2b |
| | عدم وجود مالچ No mulch | 859c | 197d | 36.1b | 10.7c | 0.092a | 67.3c |
| 50% | وجود مالچ Mulch | 470d | 180e | 36.7b | 5.32d | 0.061c | 64.3c |
| | عدم وجود مالچ No mulch | 114e | 165f | 32.5c | 4.24d | 0.056c | 51.1d |

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

*Mean within a column followed by the same letters are not significantly different based on LSD test at 0.05probability level

سرعت رشد محصول (CGR)

سرعت رشد محصول یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رشدی جهت تجزیه و تحلیل رشد گیاه می‌باشد. سرعت رشد محصول بیانگر افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح مزرعه و در واحد زمان می‌باشد و به‌طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد محصولات به کار گرفته می‌شود که با گذشت زمان و رشد گیاه افزایش یافته و پس از رسیدن به حد نهایی خود کاهش می‌یابد (Rahnama, 2007).

نتایج نشان داد که تغییرات رشد محصول در تیمارهای مختلف از روند مشابهی پیروی می‌کند به‌طوری‌که در تمامی تیمارها حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله ۱۱۷۸ درجه روز رشد به دست آمد و پس از آن سرعت رشد محصول روند کاهشی داشت (شکل ۱). محققین (Karimi and Siddique, 1991) بیان کردند این روند به دلیل افزایش تدریجی سطح برگ و فرایند جذب تشعشع خورشید در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد و با گذشت زمان، پس از رسیدن به حد نهایی خود با پیر شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز خالص، سرعت رشد محصول کم می‌شود. می‌توان گفت که بالا بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری در مراحل انتهایی رشد باعث کاهش شدیدتر سرعت رشد محصول می‌شود.

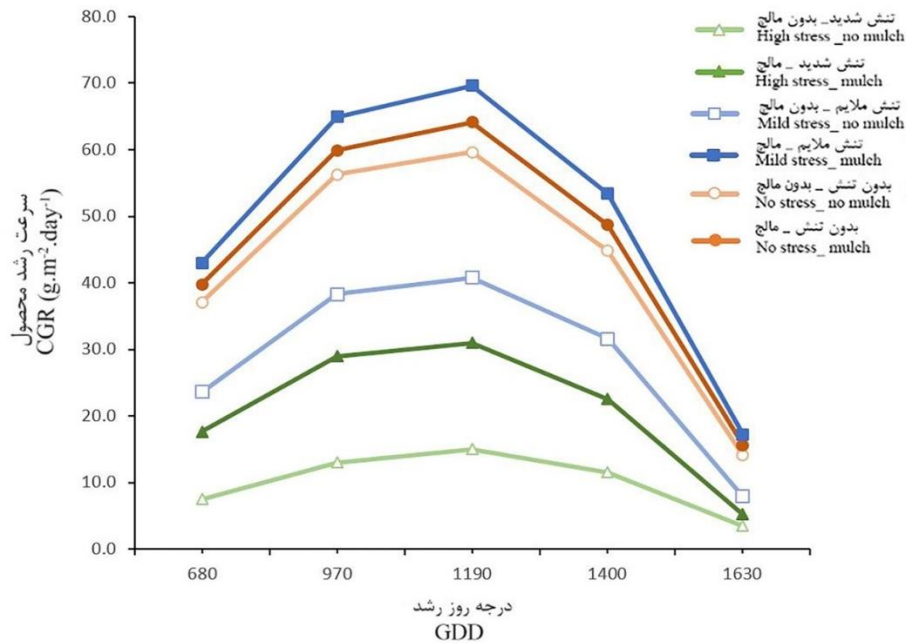
اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مالچ پلاستیکی بر سرعت رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). استفاده از مالچ پلاستیکی در سطوح مختلف آبیاری باعث افزایش سرعت رشد محصول شد با این‌حال اختلاف معنی‌داری در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۵۰ درصد ایجاد نکرد. بالاترین سرعت رشد محصول متعلق به تیمار ۷۵ درصد آبیاری و دارای مالچ پلاستیکی با میانگین ۱۸/۳ گرم بر متر مربع بر روز بود. استفاده از مالچ بیشترین تأثیر را بر تیمار آبیاری ۷۵ درصد داشت و سرعت رشد محصول را در آن ۴۱/۶ درصد افزایش داد و کمترین تأثیر را بر تیمار ۱۰۰ آبیاری با ۸/۲ درصد افزایش داشت. کمترین میزان سرعت رشد محصول در بین تیمارهای مختلف مربوط به تیمار ۵۰ درصد آبیاری با میانگین‌های ۴/۲ گرم بر متر مربع بر روز بود (جدول ۳). افزایش آب موجود در دسترس گیاه باعث افزایش میزان سطح برگ، افزایش فتوسنتز و پیری دیررس نسبت به تیمار بدون آبیاری و در نتیجه افزایش سرعت رشد محصول در گیاه می‌گردد (Goldani and Rezvani, 2006).

سرعت رشد نسبی (RGR)

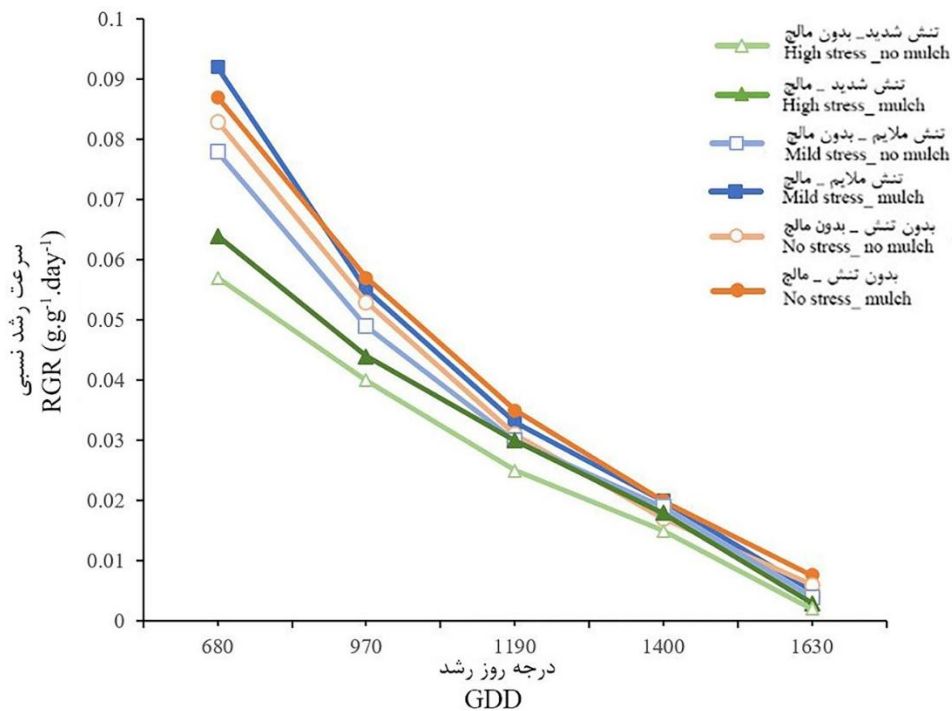
سرعت رشد نسبی نمایان‌گر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن خشک اولیه در یک فاصله زمانی مشخص است؛ اما با

افزایش رزن گیاه به ازای هر واحد از رزن قهلی آن در نظر گرفت
 ر رشد گیاه را میتوان بر حسب افزایش کل ماده‌ی خشک آن ر
 تخصیص مواد بین اندامهای دخیل در کسب منابع زیرزمینی ر
 هوایی تجزیه ر تحلیل نمود (Kouchaki et al., 2005).

اینحال توصیف‌کننده‌ی یک سارعت رشد ثابت در طول یک
 چهارچوب زمانی مشخص نیست ر میتواند با مقادیر لحظه‌ای
 RGR متفاوت باشد (Sarmadnia and Kouchaki, 2006).
 سطح برگ را میتوان متغییر اصلی برای سرعت رشد نساهی یا



شکل ۱- روند تغییرات سرعت رشد محصول
 Figure 1- The trend of crop growth rate



شکل ۲- روند تغییرات سرعت رشد نسبی
 Figure 2- The trend of relative growth rate

و مالچ برای این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای مورد مطالعه بر این صفت در شکل ۳ و ۴ نشان داد که محتوای نسبی آب برگ در شرایط بدون تنش بیشینه مقدار (۸۴/۶۷) و در شرایط تنش شدید کمینه مقدار (۶۴/۳۳) را داشت (شکل ۳). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در حضور مالچ مقدار محتوای آب نسبی بیشتر از شرایط عدم استفاده از مالچ بود (شکل ۴). در مطالعه (Mousavi *et al.*, 2016) روی دو گونه جعفری نشان دادند که صفت محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش رطوبتی کاهش یافته و در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین مقدار را داشت. با خارج شدن آب از خاک و عدم جبران آب خروجی از خاک، آب در دسترس گیاه کاهش می‌یابد و بنابراین نیاز رطوبتی گیاه منطبق با میزان اتلاف آن در اثر تبخیر و تعرق تأمین نمی‌شود و این امر باعث کاهش فشار تورژسانس در سلول‌های گیاهی می‌شود و نهایتاً میزان محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Lowlor and Cornic, 2002; Khorshidi *et al.*, 2002)، با این وجود استفاده از مالچ باعث می‌شود اثر تنش رطوبتی کاهش یابد و بنابراین مقدار محتوای نسبی آب برگ در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی بدون وجود مالچ حدود ۱۲ درصد کمتر از زمانی بود که از مالچ استفاده شد.

کارایی مصرف نور (RUE)

کاهش میزان آبیاری سبب کاهش کارایی مصرف نور در گیاه شد به طوری که کاهش میزان آب آبیاری از سطح ۱۰۰ درصد به ۷۵ درصد و سپس به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان کارایی مصرف نور را در تیمارهای مالچ پلاستیکی به صورت مستقیم کاهش داد و به ترتیب از ۱/۵۰ به ۱/۳۳ و سپس به ۰/۷۴ گرم ماده خشک بر مگازول رسید.

شکل (۵ الف) کارایی مصرف نور را در تیمار تنش شدید آبیاری تحت تأثیر استفاده و عدم استفاده از مالچ پلاستیکی نشان می‌دهد. استفاده از مالچ پلاستیکی در تیمار تنش شدید آبیاری باعث افزایش شیب کارایی مصرف نور در گیاه شد. در انتهای فصل رشد گیاه، شیب روند کارایی مصرف نور در تیمار دارای مالچ پلاستیکی نسبت به تیمار بدون مالچ افزایش بیشتری داشت. میزان کارایی مصرف نور در تیمار بدون مالچ پلاستیکی برابر ۰/۷۴ گرم ماده خشک بر مگازول و در تیمار دارای مالچ

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود روند تغییرات سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه کاهش می‌یابد و در انتهای فصل رشد به پایین‌ترین میزان خود می‌رسد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که تفاوت موجود بین تیمارهای مختلف با گذشت زمان کاهش می‌یابد. به طور کلی RGR در اوایل دوره رشدی گیاه به دلیل نفوذ بیشتر نور به داخل کانوپی گیاه و سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها بر روی یک‌دیگر و در نتیجه میزان تنفس پایین‌تر دارای مقدار بیشتری است. کاهش میزان سرعت رشد نسبی گیاه با افزایش سن گیاه توسط سایر محققین نیز تأیید شده است (Sarhadi *et al.*, 2010). هم‌چنین محققین بیان کردند که یکی از دلایل کاهش سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد کاهش نسبت بین اندام‌های فتوسنتز کننده به اندام‌های غیرفتوسنتزی و کم شدن قدرت فتوسنتزی گیاه در واحد سطح می‌باشد (Mohammadi, 1998).

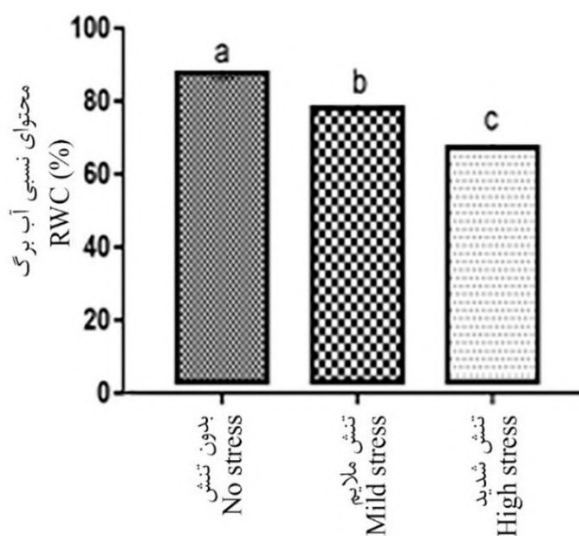
اثر متقابل تیمار آبیاری و مالچ پلاستیکی بر حداکثر سرعت رشد نسبی از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نشد (جدول ۲). با این وجود در بین تیمارهای مختلف سطح ۷۵ درصد آبیاری و دارای مالچ با میانگین ۰/۹۳ گرم بر گرم در روز، بیشترین سرعت رشد نسبی و سطح ۵۰ درصد آبیاری و بدون مالچ با میانگین ۰/۵۶ گرم بر گرم در روز، کمترین میزان سرعت رشد نسبی را دارا بودند. در تمام سطوح آبیاری استفاده از مالچ پلاستیکی باعث افزایش سرعت رشد نسبی شد (جدول ۳). استفاده از مالچ پلاستیکی سبب افزایش آب موجود در دسترس گیاه شده که این افزایش میزان آب موجود در دسترس گیاه باعث افزایش فتوسنتز، تأخیر در پیری برگ‌ها و در نتیجه افزایش سرعت رشد نسبی می‌شود (Shabiri *et al.*, 2007). محققین (Sivakumar *et al.*, 2001) در طی تحقیقات خود گزارش کردند که سرعت رشد نسبی گیاه با کم شدن میزان آب در دسترس گیاه به دلیل افزایش میزان تنفس گیاه و درجه حرارت گیاه کاهش می‌یابد. هم‌چنین بیان کردند که سطح برگ یک فاکتور مهم در جذب کربن هوا بوده و تغییر در میزان سطح برگ به دلیل تنش خشکی باعث تغییراتی در سرعت رشد نسبی گیاه می‌شود.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده آبیاری و استفاده از مالچ بر محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود و این در حالی است که اثرات متقابل درصد آبیاری

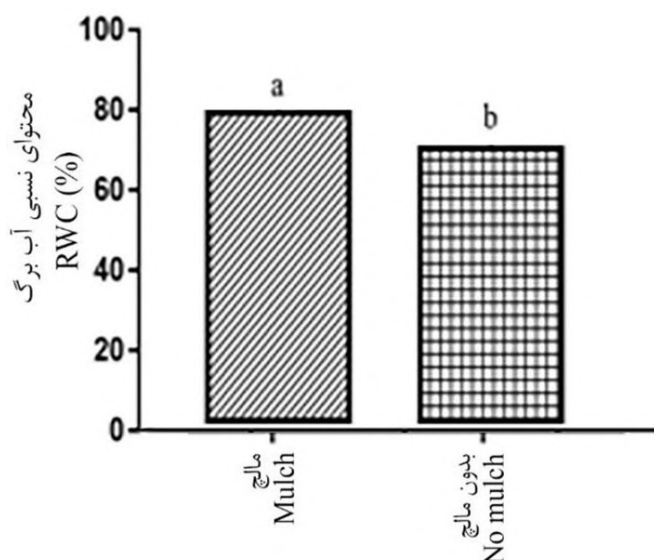
تیمار آبیاری ۷۵ درصد گذاشته است (شکل ۵ ب). اختلاف بین روند تغییرات ماده خشک به ازای میزان تشعشع فتوسنتزی تجمعی در بین تیمار دارای مالچ پلاستیکی و بدون مالچ پلاستیکی در طول فصل رشد افزایش یافته و در این سطح آبیاری بیشترین مقدار کارایی مصرف نور را تیمار استفاده از مالچ با میزان ۱/۷۴ گرم ماده خشک بر مگازول دارا بود (شکل ۵ ب).

پلاستیکی برابر ۰/۸۰ گرم ماده خشک بر مگازول بود. همچنین میزان تشعشع جذب شده در تیمار بدون مالچ پلاستیکی برابر ۳۲۸ مگازول و در تیمار دارای مالچ پلاستیکی ۳۸۳ مگازول بود. اختلاف بین شیب کارایی مصرف نور مشاهده شده در بین تیمار استفاده از مالچ و عدم استفاده از مالچ پلاستیکی در سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بیشتر از سایر سطوح آبیاری بود و به این معناست که استفاده از مالچ پلاستیکی بیش‌ترین تأثیر خود را در



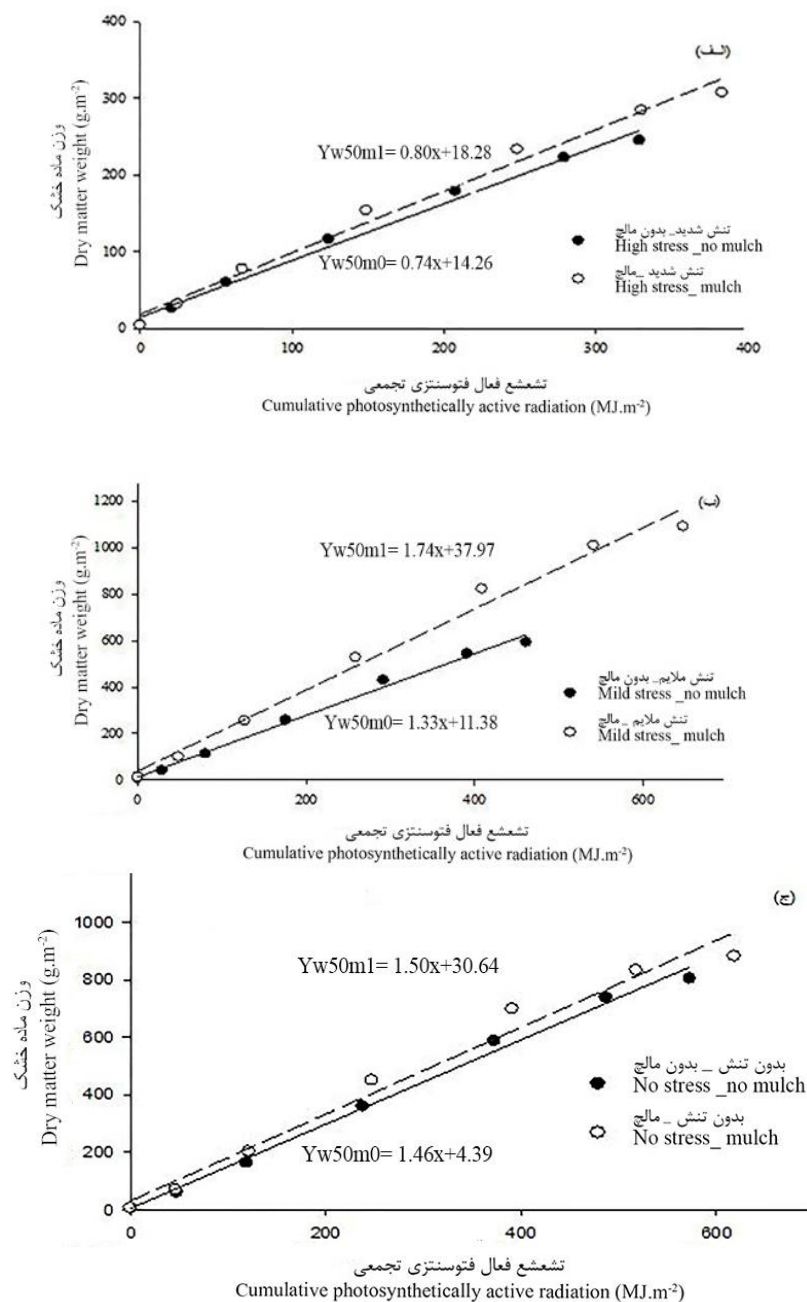
شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده محتوای نسبی آب برگ در کدو پوست کاغذی تحت تأثیر سطوح آبیاری

Figure 3- Mean comparison of simple effects RWC for Cucurbita pepo affected by irrigation



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده محتوای نسبی آب برگ در کدو پوست کاغذی تحت تأثیر مالچ

Figure 4- Mean comparison of simple effects RWC for Cucurbita pepo affected by mulch



شکل ۵- نمودار ماده خشک تجمعی به عنوان تابعی از تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی (شیب خط رگرسیون نشان‌دهنده کارایی مصرف نور است).
شکل الف: تنش شدید، شکل ب: تنش ملایم، شکل ج: بدون تنش

Figure 5- Total dry matter as a function of cumulative photosynthetically active radiation (Slope of the regression line represents the radiation use efficiency). Figure A: High stress, Figure B: Mild stress, Figure C: no-stress.

بیشتری نسبت به تیمار بدون مالچ پلاستیکی داشت. کاهش میزان آب آبیاری و عدم استفاده از مالچ در زراعت گیاه سبب بروز تنش خشکی شده و تحت تنش خشکی جذب تشعشع فعال فتوسنتزی در گیاه و هم‌چنین کارایی مصرف نور به دلیل محدودیت گسترش، پژمردگی و پیچیدگی برگ‌ها کاهش می‌یابد (Earl and Davis, 2003).

شکل (۵ ج) نشان‌دهنده روند تغییرات وزن خشک گیاه نسبت به میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی در سطح آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی گیاه می‌باشد. روند تغییرات در بین سطوح دارای مالچ و بدون مالچ پلاستیکی از اختلاف بسیار کم و جزئی برخوردار بود و تیمار دارای مالچ پلاستیکی میزان ماده خشک، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی و کارایی مصرف نور

نتیجه‌گیری کلی

انجام آبیاری بر اساس نیاز گیاه و استفاده از مالچ پلاستیکی به‌خصوص در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان شاخص‌های رشدی، کیفیتی و کارایی مصرف نور در گیاه شد و بیشترین میزان شاخص‌های اندازه‌گیری شده در تیمار ۷۵ درصد آبیاری و دارای مالچ پلاستیکی مشاهده شد.

سپاس‌گزاری

هزینه طرح از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به شماره ۳۳۷۰۵ تأمین شده که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که رژیم آبیاری و مالچ پلاستیکی، تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی گیاه دارویی کدو پوست کاغذی داشتند. استفاده از مالچ پلاستیکی تیره‌رنگ در بیشتر صفات ارزیابی شده در این آزمایش نسبت به تیمار عدم استفاده از مالچ پلاستیکی در تمام سطوح آبیاری به‌عنوان تیمار برتر قابل معرفی است. هم‌چنین نتایج نشان داد که تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف نور به‌شدت تحت تأثیر رطوبت در دسترس گیاه قرار دارد.

References

- Abbasi, H., Agha-Alikhani, M. and Hamzei, J.** 2017. Effect of irrigation intervals, black plastic mulch and biofertilizers on quantitative and qualitative characteristics of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15: 392-412. (In Persian).
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M.** 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9): 05109.
- Amador-Ramírez, M.D.** 2002. Critical period of weed control in transplanted chilli pepper. *Weed Research*, 42(3): 203-209.
- Amin, M.Z., Islam, T., Mostofa, F., Uddin, M.J., Rahman, M.M. and Satter, M.A.** 2019. Comparative assessment of the physicochemical and biochemical properties of native and hybrid varieties of pumpkin seed and seed oil (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon*, 5(12): 02994.
- Aroyi, H., Kashi, A. and Omidbaygi, R.** 2000. Study of different levels of nitrogen on some plant traits of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 48: 4-9. (In Persian).
- Daneshiyan, J., Jabbari, H. and Farrokhi, A.** 2010. Reaction yield and yield components of sunflower to water stress at different planting densities. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 7(3): 129-140. (In Persian).
- Earl, H.J. and Davis, R.F.** 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95: 688-696.
- Esfahani, M.** 1998. Introduction to Ecology and Physiology of Rice (Translation), Publications University of Guilan. (In Persian).
- Farhadi, A., Akbari, M. and Moshref, L.** 2002. Effects of irrigation methods and polyethylene mulches on the quality of cantaloupe in Isfahan. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 2: 161-170. (In Persian).
- Glab, T. and Kulig, B.** 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). *Soil and Tillage Research*, 99: 169-178.
- Goldani, M. and Rezvani-Moghadam, P.** 2006. The effect of irrigation on phenological characteristics, physiology, yield and yield components of irrigated and rainfed chickpea in Mashhad. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(3): 21-32. (In Persian).
- Hossinzadeh, H., Mobser, H.M. and Abdzadegohari, A.** 2011. The reaction of bean under different levels of irrigation and nitrogen fertilizer. The Sixth National Conference on New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University of Khovassgan. (In Persian).

- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masumi, A. and Nabati, J.** 2009. Environmental Stress Physiology in Plants. Publications University of Mashhad, 502. (In Persian).
- Kamkar, B., Daneshmand, A.R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A.H. and SafahaniLangeroudi, A.R.** 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. *Agricultural Water Management*, 98: 1005-1012.
- Karimi, M. and Azizi, M.** 1994. Analysis of crop plants growth (Translation), Publications University of Mashhad. pp: 111. (In Persian).
- Karimi, M.M. and Siddique, H.M.** 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal Agriculture Research*, 42: 13-20.
- Kasirajan, S. and Ngouajio, M.** 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 501-529.
- Khodaei, F., Abdali-Mashhadi, A.R., Lotfi-Jalalabadi, A. and Kouchakzadeh, A.** 2017. Effect of mulching and foliar application of selenium and boron on some quantitative and qualitative characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in saline soil. *Journal of Crop Production*, 11(3): 43-59. (In Persian).
- Khorshidi, M., Rahimzadeh, B., Yarhadi, M. and Noormohammadi, G.H.** 2002. The effects of drought stress on the growth of potato varieties. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4(1): 59-48. (In Persian).
- Kouchaki, A., Gholami, A., Mahdavi-Damghani, A.M. and Tabrizi, L.** 2005. Principles of organic agriculture (Organic). Publications Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
- Lowlor, D.W. and Cornic, G.** 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell and Environment*, 25(2): 275-294.
- Mohammadi, Kh.** 1998. Evaluation of direct seeding rice by dry soil method. MSc thesis. Islamic Azad University Jiroft. (In Persian).
- Mousavi, S.M., Chehrizi, M. and Khaleghi, A.** 2016. The effect of water stress on the process of changes in proline, soluble sugars, relative water content and soluble leaf proteins of two species of parsley. *Journal of Horticultural Sciences*, 31(2): 375-365. (In Persian).
- Naimi, M., Akbari, G.A., Shiranirad, A.M., Hassanlou and Akbari, G.A.** 2012. Effect of application of zeolite and selenium foliar application under water stress conditions on water relations and antioxidant enzymes in squash. *Journal of Crop Improvement*, 1: 67-81. (In Persian).
- Nasiri-Mahallati, M.** 2000. Modeling of crop plants growth, Publications University of Mashhad. (In Persian).
- Nederal, S., Petrovic, M., Vincek, D., Pucek, D., Skevin, D., Kraljic, K. and Obranic, M.** 2014. Variance of quality parameters and fatty acid chicks fed on diets including full sunflower seed. Abstracts of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition, France, 26-30 August: 633-636.
- Nekookhoo, M. and Fallah, S.** 2018. Effect of deficit irrigation and nitrogen on fruit, grain, and oil yield of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under plastic mulch. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(2): 245-260. (In Persian).
- Nekoukhor, M., Fallah, S.A. and Barzegar, R.** 2018. The effect of transparent polyethylene mulch on production and water use efficiency of squash (*Cucurbita pepo*) under different moisture levels. *Journal of Water and Soil*, 31(6): 1679-1690.
- Ngouajio, M. and Mennan, H.** 2005. Weed populations and pickling cucumber (*Cucumis sativus*) yield under summer and winter cover crop systems. *Crop Protection*, 24(6): 521-526.
- Paksoy, M. and Aydin, C.** 2004. Some physical properties of edible squash (*Cucurbita pepo* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 65: 225-231.
- Pirzad, A., Shakiba, M.R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S.A., Darvishzadeh, R. and Samadi, A.** 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, chlorophyll, proline and soluble carbohydrates in *Matricaria chamomilla* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(12): 2483-2488.

- Rahnma, A.** 2007. Plant Physiology. First Edition Puran Pajuhesh Publications, Tehran. (In Persian).
- Rouphael, Y. and Colla, G.** 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. *European Journal of Agronomy*, 23: 183-194.
- Sarhadi, M., Zand, A., Baghestani Mibodi, M.A. and Mohtasebi, R.** 2010. The effect of different methods of planting maize on weed growth indices and grain yield. *Pagouhesh-va-Sazandegi*, 88: 86-87. (In Persian).
- Sarmadnia, Gh. and Kouchaki, A.** 2006. Physiology of crop plant (Translation). Publications University of Mashhad. (In Persian).
- Shabiri, S., Ghasemi-Golozani, K., Golchin, E. and Saba, J.** 2007. The impact of water restrictions on the growth and yield of chickpea cultivars in Zanjan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 140(2): 34-47. (In Persian).
- Singh, M., Sharma, S. and Ramesh, S.** 2002. Herbage, oil yield and oil quality of patchouli (*Pogostemon cablin* [Blanco] Benth.) influenced by irrigation, organic mulch and nitrogen application in semi-arid tropical climate. *Industrial Crops and Products*, 16: 101-107.
- Sivakumar, K., Kalarani, M.K., Sujatha, K.B. and Vanangamudi, M.** 2001. Effect of growth regulators on biochemical attributes, grain yield and quality in pearl millet. *Madras Agricultural*, 88(4-6): 256-259.
- Ullah, A., Bakht, J., Shafi, M. and Islam, W.A.** 2002. Effect of various irrigations levels on different chickpea varieties. *Asian Journal of Plant Science*, 4: 355-357.
- Valivand, M. and Amooaghaie, R.** 2021. Calcium signaling confers nickel tolerance in *Cucurbita pepo* L. *International Journal of Phytoremediation*, 23(4): 362-373.
- Wagner, F.S.** 2000. The health value of styrianpumpkin-seed oil-Science and fiction. *Cucurbit Genetics Cooperative*, 23: 122-123.
- Zaidi, P.H., Srinivasan, G., Cordova, H.S. and Sanchez, C.** 2004. Gains from improvement for mid-season drought tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research*, 89(1): 135-152.

Growth analysis of pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *Pepo* var. *Styriaca*) using measured parameters under various irrigation and plastic mulch treatments

Siavash Bardehji^{1*}, Mohammad Banayan², Sara Zare¹, Mehrdad Mahlooji³, Abbas Nasiri Dehsorkhi⁴

¹ Ph.D graduated of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

² Department of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

⁴ PhD Student of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: Siavashbardehji1371@yahoo.com

Received: 15 August 2021

Accepted: 15 October 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.299980.1121

Abstract

Introduction: In most developed nations, pumpkin-naked seed (*Cucurbita pepo* convar. *Pepo* var. *Styriaca*) is regarded as one of the most important and valuable plants in the pharmaceutical industry. In traditional and modern medicine, pumpkin-naked seed oil is used to treat a variety of diseases, including prostate hypotrophy, prevention of irregular heart contractions, and treatment of intestinal worms, as well as gastritis, atherosclerosis, decreased blood cholesterol, and decreased risk of bladder and kidney stones. Due to the fact that the environmental conditions for the growth of this plant are rarely optimal and the plants are subjected to a variety of stresses due to the influence of living and nonliving factors, plant yield is diminished relative to plant growth potential. The most significant non-living stress on plant growth and yield is typically drought, especially in arid and semiarid regions of the world such as Iran. About half of the world's agricultural lands are affected by drought stress. Drought stress has caused significant damage to the agricultural sector. Due to the importance of irrigation water in agriculture and the impact of drought stress on crop growth and yield, methods should be implemented to prevent water loss and improve the management of water resources in agriculture, which mitigates the effects of drought stress to some extent. Among these techniques is the use of plastic mulch. The use of plastic mulch in the cultivation of agricultural products for the purpose of increasing soil moisture by reducing the amount of sunlight reaching the soil surface and preventing water evaporation, reducing weeds in the field, and minimizing the damage caused by certain pests. Some crop yields have increased in agriculture throughout the world. This experiment was conducted to determine the effect of different irrigation levels and the use of plastic mulch on pumpkin-naked seed yield and yield components, growth indices, light consumption efficiency, and oil content as the most important quality traits.

Materials and Methods: This study was conducted at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad, during 2015-2016 growing season using a split plot design based on randomized complete blocks with three replications. The treatments consisted of three irrigation levels (50, 75, and 100 percent water demand) as the main plot and two mulch surfaces (presence and absence of mulch) as the subplot. At the end of the growing season, yield and its components were evaluated.

Results and Discussion: The use of plastic mulch for non-stress irrigation (irrigation 100percent water requirement) increased the number of seeds per plant by 5.7% and the relative water content of leaves by 12.8%, but had no significant effect on other traits. However, under mild stress conditions (irrigation of 75% of water requirement), all studied traits except relative growth rate

increased, with grain yield (97.3%) having the greatest effect. Also, under conditions of severe stress (irrigation of 50% of water requirement), the use of plastic mulch had the greatest effect on grain yield (312%) but no effect on crop growth rate or relative crop growth rate.

Conclusion: In general, the results indicated that maintaining soil moisture and irrigation based on the plant's water requirements can play a significant role in enhancing pumpkin growth and yield. In addition, it was observed that irrigation at 75% of the plant's water requirement and the use of plastic mulch produced the greatest yield, light consumption efficiency, growth indices, and oil content. Therefore, the use of plastic mulch is an effective method for reducing the amount of water a plant consumes in conditions of dehydration.

Keywords: Drought stress, Product growth rate, Radiation use efficiency, Relative growth rate, Relative leaf water content

ارزیابی و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین (مطالعه‌ی موردی: دشت تجن مازندران)

مرضیه باقری خانقاهی^۱، سیدحسن میرهاشمی^۲، مهدی پناهی^{۳*}

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبه: panahi40@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306317.1137

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱

چکیده

در مطالعه حاضر به بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب پنج محصول زراعی (گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه) در دشت تجن واقع در استان مازندران پرداخته شد. شاخص عملکرد محصول به ازای آب مصرفی (CPD)، درآمد ناخالص به‌ازای آب مصرفی (BPD) و درآمد خالص به ازای آب مصرفی (NBPD) برای محاسبه بهره‌وری آب محصولات براساس دو روش آبیاری سنتی و نوین در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج مشخص شد که در هر دو روش آبیاری بیشترین مقدار عملکرد و CPD مربوط به ذرت علوفه‌ای بوده است و عملکرد ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری نوین (۳۳/۸ تن در هکتار) بیشتر از روش آبیاری سنتی (۳۰/۲ تن در هکتار) بوده است. هم‌چنین مقدار CPD مربوط به ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری نوین (۶/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر از روش آبیاری سنتی (۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بوده است. محصول جو دارای کمترین مقدار عملکرد در هر دو روش آبیاری سنتی (۳/۹ تن در هکتار) و نوین (۴/۷ تن در هکتار) بوده است. مقدار NBPD محصول جو در روش آبیاری سنتی (۴۵۷ تومان بر مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری نوین (۶۵۲/۳ تومان بر مترمکعب) دارای کمترین مقدار بود. طبق نتایج مشخص شد که بهره‌وری آب در شیوه‌های آبیاری نوین به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سنتی بود. بنابراین با توجه به شرایط موجود و صرفه‌جویی در مصرف آب، بهتر است در کشت محصولات از روش آبیاری نوین استفاده بیشتری شود و هم‌چنین کشت جو با استفاده از آبیاری سنتی انجام نشود.

واژه‌های کلیدی: درآمد خالص، صرفه اقتصادی، عملکرد، غلات

مقدمه

آبیاری و مهم‌تر از آن بهبود بهره‌وری مصرف آب و استفاده از شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی آن می‌باشد (Seydan et al., 2019). معمولاً بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، باهم در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مفهوم کلی، بهره‌وری فیزیکی آب به‌عنوان عملکرد محصول در هر مترمکعب آب مصرفی تعریف می‌شود و بهره‌وری اقتصادی از تقسیم ارزش خالص تولید (درآمد یا سود) به مقدار آب مصرفی به دست می‌آید. بر اساس آمار و ارقام مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال‌های گوناگون، بهره‌وری مصرف آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و میانگین آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و راندمان کل آبیاری محصولات کشاورزی در کشور حدود ۴۰٪ می‌باشد. میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات گندم، برنج و ذرت در ایران

افزایش جمعیت، نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی، شرایط اقلیمی نامساعد، کاهش ریزش‌های جوی و کمبود منابع آب از جمله چالش‌های مهم جهان امروز است. مطالعات نشان می‌دهند که جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۷/۸ میلیارد نفر خواهد رسید و این امر، فشار مضاعفی را بر امنیت غذایی به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه که بیش از ۸۰ درصد افزایش جمعیت در آن انجام خواهد گرفت، وارد خواهد نمود. بنابراین، این کشورها برای تأمین نیازهای کشاورزی، صنعتی و شهری با مشکل کمبود آب مواجه خواهند شد (Keshavarz and Dehghan sanich, 2013).

یکی از مؤثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی، افزایش راندمان

توجه به نتایج، خیار دارای بهره‌وری فیزیکی بالا و بهره‌وری اقتصادی و مقدار آب مجازی کم بود. در حالی که محصول کلزا دارای بهره‌وری فیزیکی پایین، بهره‌وری اقتصادی و مقدار آب مجازی بالا بود (Amini et al., 2020).

طی ارزیابی و تحلیل بهره‌وری آب فیزیکی و اقتصادی محصولات زراعی در دشت مغان نتیجه گرفته شد که جو، برنج، یونجه، شلیل، خیار و کلزا از لحاظ هر دو نوع شاخص بهره‌وری در سطح نسبتاً ضعیف یا ضعیف قرار دارند و ذرت علوفه‌ای، خربزه و هندوانه از لحاظ بهره‌وری فیزیکی در وضعیت خوب یا نسبتاً خوب قرار می‌گیرند در حالی که از لحاظ بهره‌وری اقتصادی در وضعیت نسبتاً ضعیف قرار دارند و تنها دو محصول چغندر قند و گوجه‌فرنگی در سطح خوب یا نسبتاً خوب از لحاظ هر دو شاخص قرار می‌گیرند (Farahza et al., 2020). در پژوهشی به تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی چند محصول در شهر دزفول پرداخته شد. نتایج نشان داد که بالاترین بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب مربوط به محصول کاهو (۲۲/۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، هویج (۱۵/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و پیاز (۹/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و پایین‌ترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به نارنج (۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و گریپ‌فروت (۰/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد (Molareza Qassab et al., 2020).

با توجه به کم‌آبی و خشکسالی‌ها اخیر در ایران، ضرورت دارد که در کشت محصولات زراعی از روش‌های مناسب آبیاری در راستای مدیریت بهتر در مقدار آب و بالا بردن عملکرد محصولات استفاده شود؛ بنابراین در این پژوهش به ارزیابی دو سیستم آبیاری سنتی و مدرن در عملکرد پنج محصول زراعی (گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه) در دشت تجن واقع در استان مازندران پرداخته شد. هم‌چنین به منظور رسیدن به حالت بهینه (مصرف آب کمتر، عملکرد خوب محصولات و درآمد بالا برای کشاورزان)، میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب پنج محصول زراعی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوزه آبریز تجن با مساحت تقریبی ۴۰۰۵/۲۲ کیلومتر مربع بوده که ۳۹۸۰/۷۵ کیلومتر مربع آن در داخل استان مازندران و حدود ۲۵ کیلومتر مربع آن در خارج از استان قرار دارد و با

به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۴۲ و ۱/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب است که میانگین این شاخص در جهان برای این سه محصول، به ترتیب برابر ۱/۰۹، ۱/۰۹ و ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. با نگاهی به این ارقام ملاحظه می‌شود که اگرچه شاخص بهره‌وری مصرف آب در کشور در ۱۰ سال گذشته افزایش یافته است و به معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام شده در کشور است ولی هنوز مقدار این شاخص در کشور از میانگین جهانی بسیار پایین‌تر می‌باشد (Abbasi et al., 2015). تحقیقات مختلفی در زمینه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب صورت گرفته که در اینجا به چند مورد اشاره خواهیم کرد.

در پژوهشی بهره‌وری آب محصولات زراعی در مقیاس جهانی مورد بررسی قرار گرفت و بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت برای ۱۲۴ کشور گوناگون محاسبه و گزارش شد. براساس نتیجه، بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آفریقای با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (Liu et al., 2008). هم‌چنین در پژوهشی دیگر، مصرف و بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی در حوضه رودخانه هیبه مدل‌سازی شد. نتایج مطالعه پژوهش‌گران نشان داد که کارایی مصرف آب برای تمامی محصولات کشاورزی بزرگ‌تر از یک بوده و در این بین، سبزیجات به ترتیب با ۲/۷۴ و ۳/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳، دارای بالاترین بهره‌وری فیزیکی بوده‌اند. کمترین بهره‌وری نیز مربوط به محصول گندم به ترتیب برابر ۱/۱۹ و ۱/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب برای دو سال محاسبه شده بود (Li et al., 2010).

در تحقیقی به بررسی بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف زراعی در دشت بهار پرداخته شد. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب در شیوه‌های نوین آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری سنتی بود (Zamani et al., 2014). مقدار بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو سامانه سنتی و نوین برای ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج مشخص شد که روش آبیاری مدرن باید جایگزین آبیاری سنتی در کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای گردد (Seyedan and Mottaghi, 2019). در تحقیق دیگری به بررسی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب دو محصول خیار و کلزا در دشت‌های واقع در شرق استان کردستان (قروه و دهگلان) پرداخته شد. با

استفاده شد. برای محاسبه تعداد نمونه لازم در روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی از رابطه ۱ استفاده شد.

$$n = \frac{N^2 * t^2 * S^2}{N^2 * d^2 + t^2 * S^2} \quad (1)$$

در این رابطه، N تعداد زارعین یا بهره‌برداران در منطقه مورد مطالعه، S واریانس نمونه اولیه، n حجم نمونه، d دقت احتمالی مطلوب یا کران خطای مناسب و t آماره تی‌استیودنت را نشان می‌دهد (Seydan et al., 2019). محصولاتی که در این پژوهش برای بررسی انتخاب شد، گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه بود. با توجه به منطقه مطالعاتی، سطح زیرکشت برای هر یک از محصولات گندم، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، جو و یونجه به‌ترتیب به روش آبیاری سنتی و نوین در جدول ۱ آمده است. لازم به ذکر است که از بین محصولات، ذرت دانه‌ای به روش آبیاری سنتی کشت نمی‌شود.

مختصات ۵۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در استان مازندران واقع است که حداکثر ارتفاع آن ۳۷۲۸ متر از سطح دریا و حداقل آن ۲۶- متر است (Sheidaei, 2014).

آمار و اطلاعات

در این پژوهش اطلاعاتی چون مشخصات بافت خاک، حجم آب مصرفی محصولات، سطح زیرکشت، مقدار تولید، نیاز آبی گیاهان، دبی آب ورودی به مزرعه، زمان، دفعات آبیاری، قیمت محصولات، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و سایر آمار و اطلاعات از سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای جمع‌آوری گردید. براساس آمار و اطلاعات موجود از منطقه دشت تجن و هم‌چنین اختلاف در سطح زیرکشت و روش‌های آبیاری مورد استفاده در این منطقه، از روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی تصادفی دو مرحله‌ای

جدول ۱- سطح زیرکشت محصولات زراعی به روش آبیاری سنتی و نوین در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 1- Cropping area under traditional and modern irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

| سطح زیرکشت Crop area (ha) | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| آبیاری نوین Modern irrigation | آبیاری سنتی Traditional irrigation | |
| 535.3 | 48.4 | گندم Wheat |
| 367 | - | ذرت دانه‌ای Corn |
| 1604 | 104 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 250 | 20 | جو Barley |
| 70 | 15 | یونجه Alfalfa |

بهره‌وری آب محصولات زراعی نام‌برده به روش آبیاری مدرن و سنتی محاسبه گردید.

بهره‌وری فیزیکی آب

شاخص کارایی فیزیکی آب، نسبت عملکرد یا محصول تولیدی (برحسب کیلوگرم) به‌ازای حجم آب مصرفی (برحسب مترمکعب) تعریف می‌شود که با CPD نشان داده می‌شود. واحد

علاوه بر اطلاعات سطح زیرکشت، اطلاعات مربوط به حجم آب مصرفی، میزان قیمت خالص و ناخالص محصولات نیز جمع‌آوری شد و با توجه به هدف تحقیق، شاخص فیزیکی CPD^۱ و شاخص‌های اقتصادی BPD^۲ و NBPD^۳ برای محاسبه

1. Crop Per Drop
2. Benefit Per Drop
3. Net Benefit Per Drop

شاخص می‌باشد (Ehsani and Khaledi, 2003). شاخص NBPD نه تنها میزان ارزش خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌کند بلکه اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک دارد. از این طریق می‌توان منابع کمیاب آب را به کشت‌هایی که با کمترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران می‌نمایند اختصاص داد. تعیین مقدار ارزش خالص در موقعیت‌های مختلف تنها عیب استفاده از این شاخص می‌باشد (Ehsani and Khaledi, 2003). براساس مقایسه مقادیر شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی محصولات می‌توان تعیین نمود که از لحاظ اقتصادی، درآمد و سود خالص حاصل از کشت کدام محصول بیشتر است.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج مربوط به شاخص‌های بهره‌وری آب محصولات در منطقه دشت تجن بیان می‌شود. جدول ۲، عملکرد، حجم آب مصرفی و جدول ۳ شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب را به روش آبیاری سنتی نشان می‌دهد. هم‌چنین جدول ۴، عملکرد، حجم آب مصرفی و جدول ۵، شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب را به روش آبیاری نوین نشان می‌دهد.

این شاخص نیز کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. هرچه میزان CPD در یک گیاه بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف بهینه آب است. محاسبه این شاخص ساده بوده و مقایسه بیرونی یا بین منطقه‌ای (بین مزارع) و مقایسه درونی (روند زمانی) را میسر می‌سازد (Ehsani and Khaledi, 2003) (رابطه ۲).

$$CPD = \frac{\text{مقدار محصول تولید شده}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (2)$$

بهره‌وری اقتصادی آب

شاخص کارایی اقتصادی آب، میزان درآمدی است که بهره‌بردار به ازای مقدار آب مصرفی کسب می‌نماید. این شاخص به دو صورت نسبت مقدار درآمد ناخالص به میزان آب مصرفی (BPD) و نسبت مقدار درآمد خالص به میزان آب مصرفی (NBPD) تعریف می‌شود (رابطه‌های ۳ و ۴).

$$BPD = \frac{\text{مقدار درآمد ناخالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (3)$$

$$NBPD = \frac{\text{مقدار درآمد خالص}}{\text{مقدار آب مصرف شده}} \quad (4)$$

درآمد خالص، ناخالص برحسب ریال و حجم آب مصرفی برحسب مترمکعب می‌باشد. شاخص BPD یکی از معایب شاخص اول یعنی بی توجهی به ارزش محصول تولیدی را برطرف می‌کند و برای مقایسه محصولات مختلف می‌تواند استفاده شود. اما با توجه به هزینه تولید محصول از معایب این

جدول ۲- عملکرد و حجم آب مصرفی در روش آبیاری سنتی در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 2- Performance and volume of water consumed in traditional irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

| نسبت حجم آب مصرفی به سطح زیرکشت Ratio of water volume to cultivated area (m ³ /ha) | عملکرد Yield (Ton/ha) | |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| 5700 | 4.1 | گندم Wheat |
| - | - | ذرت دانه‌ای Corn |
| 5300 | 30.2 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 5280 | 3.9 | جو Barley |
| 12200 | 11.1 | یونجه Alfalfa |

جدول ۳- میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری سنتی در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 3- Mean water productivity in traditional irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

| NBPD (Toman/m ³) | BPD (Toman/m ³) | CPD (Kg/m ³) | |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 515.9 | 831.2 | 0.71 | گندم Wheat |
| - | - | - | ذرت دانه‌ای Corn |
| 542.5 | 775.2 | 5.7 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 457 | 760 | 0.75 | جو Barley |
| 548 | 872 | 0.97 | یونجه Alfalfa |

مترمکعب) و جو (۴۵۷ تومان بر مترمکعب) بود. بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد ناخالص (BPD) نیز به ترتیب متعلق به یونجه (۸۷۲ تومان بر مترمکعب) و جو (۷۶۰ تومان بر مترمکعب) بود.

بر طبق اطلاعات جدول ۴، در روش آبیاری نوین بیشترین عملکرد (۳۳/۸ تن در هکتار) متعلق به ذرت علوفه‌ای و کمترین عملکرد (۴/۷ تن در هکتار) متعلق به جو بود. هم‌چنین بیشترین حجم آب مصرفی (۹۱۰۰/۵ مترمکعب بر هکتار) متعلق به یونجه و کمترین حجم آب مصرفی (۱۷۸۷/۵ مترمکعب بر هکتار) متعلق به گندم بود.

بر طبق اطلاعات جدول ۲، در روش آبیاری سنتی بیشترین عملکرد (۳۰/۲ تن در هکتار) متعلق به ذرت علوفه‌ای و کمترین عملکرد (۳/۹ تن در هکتار) متعلق به جو بود. هم‌چنین بیشترین حجم آب مصرفی (۱۲۲۰۰ مترمکعب بر هکتار) متعلق به یونجه و کمترین حجم آب مصرفی (۵۲۸۰ مترمکعب بر هکتار) متعلق به جو بود. بر طبق اطلاعات جدول ۳، در روش آبیاری سنتی بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی (CPD) به ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و گندم (۰/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. هم‌چنین بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد خالص (NBPD) به ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (۵۴۲/۵ تومان بر

جدول ۴- عملکرد و حجم آب مصرفی در روش آبیاری نوین در دشت تجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 4- Performance and volume of water consumed in modern irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

| نسبت حجم آب مصرفی به سطح زیرکشت Ratio of water volume to cultivated area (m ³ /ha) | عملکرد Yield (Ton/ha) | |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| 1787.5 | 4.9 | گندم Wheat |
| 2125 | 5.4 | ذرت دانه‌ای Corn |
| 5312.5 | 33.8 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 3540 | 4.7 | جو Barley |
| 9100.5 | 12.8 | یونجه Alfalfa |

جدول ۵- میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری نوین در دشت تاجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 5 – Mean water productivity in modern irrigation method in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

| NBPD (Toman/m ³) | BPD (Toman/m ³) | CPD (Kg/m ³) | |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 922.5 | 1521.2 | 1.42 | گندم Wheat |
| 5662.4 | 14326.3 | 1.22 | ذرت دانه‌ای Corn |
| 652.3 | 1012.5 | 6.22 | ذرت علوفه‌ای Fodder corn |
| 791 | 1270 | 1.31 | جو Barley |
| 810 | 1260 | 1.4 | یونجه Alfalfa |

اولویت‌بندی کشت محصولات

با توجه به جدول‌های ۲ و ۴، اولویت‌بندی کشت محصولات براساس عملکرد را به روش‌های آبیاری سنتی و نوین در شکل ۱ مشخص شده است. بیشترین عملکرد تولید به ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (تحت روش آبیاری نوین) با مقدار ۳۰ درصد است. میزان عملکرد سایر محصولات تحت دو روش آبیاری سنتی و نوین نیز با توجه به شکل مشخص شده است.

با توجه به جدول‌های ۳ و ۵، اولویت‌بندی کشت محصولات براساس شاخص CPD به دو روش آبیاری سنتی و نوین را در شکل ۲ نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین CPD به ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (تحت روش آبیاری نوین) و گندم (تحت روش آبیاری سنتی) با مقدار ۳۱ و ۳ درصد است. میزان این شاخص برای سایر محصولات تحت روش‌های آبیاری سنتی و نوین نیز با توجه به شکل مشخص شده است.

با توجه به جداول ۳ و ۵، اولویت‌بندی کشت محصولات براساس شاخص NBPD (سود خالص) به روش‌های آبیاری سنتی و نوین در شکل ۳ نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین NBPD به ترتیب متعلق به ذرت دانه‌ای (تحت روش آبیاری نوین) و همچنین ذرت و جو (تحت روش آبیاری سنتی) با مقدار ۵۲ و ۴ درصد است. میزان این شاخص برای سایر محصولات تحت روش‌های آبیاری نیز با توجه به شکل مشخص می‌باشد (شکل ۳). در هر دو سیستم آبیاری، اولویت کشت محصولات تا رتبه دوم بر شاخص CPD به ترتیب ذرت علوفه‌ای و یونجه می‌باشد و همچنین بر اساس دو شاخص NBPD و BPD در سیستم آبیاری مدرن، اولویت کشت محصولات به ترتیب به

بر طبق اطلاعات جدول ۵، در روش آبیاری نوین بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی (CPD) به ترتیب متعلق به ذرت علوفه‌ای (۶/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و ذرت دانه‌ای (۱/۲۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. همچنین بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد خالص (NBPD) به ترتیب متعلق به ذرت دانه‌ای (۵۶۶۲/۴ تومان در مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای (۶۵۲/۳ تومان در مترمکعب) بود. بالاترین و پایین‌ترین میزان شاخص بهره‌وری اقتصادی با درآمد ناخالص (BPD) نیز به ترتیب متعلق به ذرت دانه‌ای (۱۴۳۲۶/۳ تومان در مترمکعب) و ذرت علوفه‌ای (۱۰۱۲/۵ تومان در مترمکعب) بود.

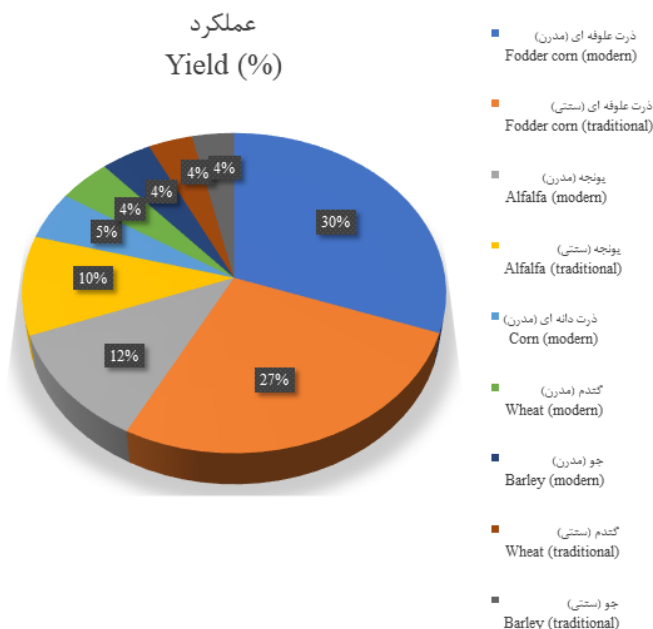
براساس نتایج به دست آمده و اطلاعات جداول، ذرت علوفه‌ای در هر دو روش آبیاری سنتی و نوین، بیشترین عملکرد را در بین محصولات داشت. همچنین جو به روش سنتی و نوین، کمترین عملکرد را در بین محصولات داشت. در هر دو روش سنتی و نوین، مقدار آب مصرفی در هر هکتار برای محصول یونجه بیشترین مقدار و برای محصول جو و گندم به ترتیب در روش آبیاری سنتی و نوین کمترین مقدار بود.

بنابراین، جو و یونجه که به ترتیب کمترین عملکرد و بیشترین مصرف آب را به روش سنتی دارد، برای کشت در این منطقه مناسب نمی‌باشد. همچنین در روش نوین با وجود اینکه کمترین مصرف آب متعلق به گندم است، اما از عملکرد خوبی برخوردار نیست.

با نگاهی به اعداد و ارقام جداول، ملاحظه می‌شود که هر دو شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در روش آبیاری نوین نسبت به روش سنتی بیشتر است.

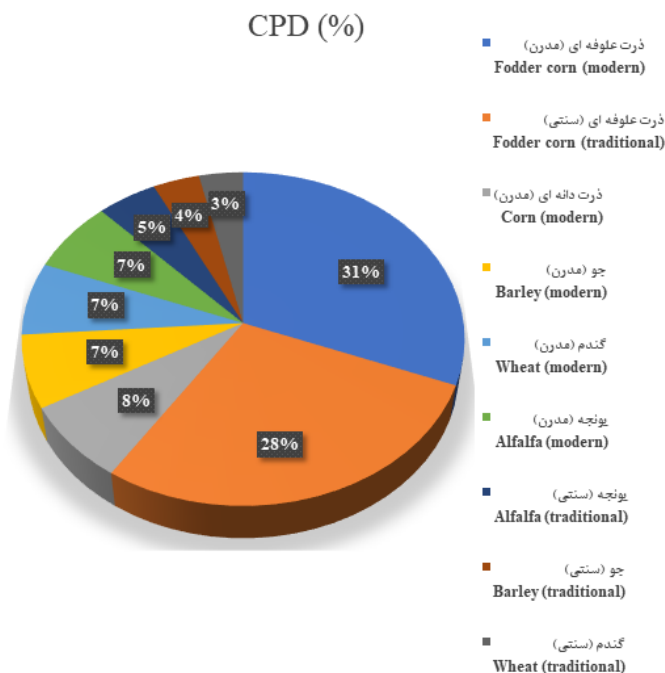
بیشترین و کمترین بهره‌وری آب در دشت بهار را نشان می‌دهند (Zamani *et al.*, 2014). استفاده از سامانه آبیاری نوین باید جایگزین سامانه آبیاری سنتی برای کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان شود (Amini *et al.*, 2020).

محصولات کلزا و گندم و در سیستم آبیاری سنتی محصولات کلزا و یونجه می‌باشد (Bahrami *et al.*, 2020). بهره‌وری آب در شیوه‌های نوین آبیاری بطور معنی‌دار بیشتر از روش آبیاری سنتی بوده و بر اساس شاخص NBPD، کشت محصول سیر و یونجه به ترتیب



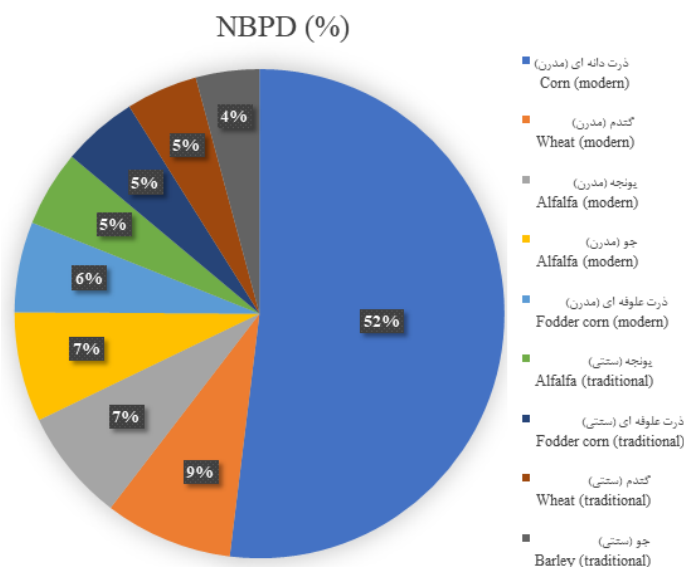
شکل ۱- مقدار عملکرد تولید تحت روش آبیاری سنتی و نوین در دشت تاجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Figure 1- The amount of crop yield by traditional and modern irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020



شکل ۲- اولویت‌بندی کشت محصولات بر اساس شاخص CPD تحت روش‌های آبیاری در دشت تاجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Figure 2- Prioritization of crop cultivation based on CPD index under irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020



شکل ۳- اولویت بندی کشت محصولات براساس شاخص NBPDP تحت روش های آبیاری در دشت تاجن مازندران در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸
 Figure 3- Prioritization of crop cultivation based on NBPDP index under irrigation methods in Tajan plain of Mazandaran in the cropping year of 2019-2020

محصولی را با توجه به منطقه خاص کشت کنند تا علاوه بر اینکه حجم آب مصرفی کاهش یابد، به حداکثر درآمد خالص یا ناخالص دست یابند. در حقیقت، صرفاً نباید به عملکرد در واحد سطح بسنده کرد، چراکه حجم آب مصرفی، نوع و قیمت محصول نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در یک جمع بندی کلی، می توان بیان کرد که توجه به مدیریت صحیح آب در مزرعه با وجود مسئله بحران آب، تغییر شرایط اقلیمی و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی، بسیار حائز اهمیت است. بنابراین طبق نتایج پژوهش های گذشته و تحقیق حاضر، محاسبه میزان بهره وری آب از لحاظ فیزیکی و اقتصادی می تواند کمک بزرگی در این راستا باشد. از جمله اهداف تحقیق حاضر، صرفه جویی در مصرف آب و رسیدن به سود حداکثری کشاورزان بوده و پیشنهاد می گردد که تحقیقات بیشتری در مناطقی با اقلیم متفاوت و کشت محصولات متنوع انجام پذیرد.

نتیجه گیری کلی

با توجه به مقادیر به دست آمده از بهره وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی نام برده در دشت تاجن، بهتر است حتی الامکان از روش سنتی برای آبیاری مزارع تحت کشت محصولات فوق به غیر از ذرت علوفه ای استفاده نشود. هم چنین کشت محصولات ذرت علوفه ای، یونجه و ذرت دانه ای در مقایسه با جو و گندم در اولویت قرار می گیرد. کشت جو با هر دو روش آبیاری نیز باید به طور کلی حذف گردد.

لازم به ذکر است که محصولی با عملکرد بالا، دلیل بر دارا بودن شاخص بهره وری فیزیکی و اقتصادی بالا نیست و بالعکس. چنان چه در تحقیق حاضر، ذرت دانه ای از لحاظ بهره وری فیزیکی و اقتصادی نسبتاً خوب و از لحاظ عملکرد نسبتاً ضعیف بود. با توجه مصرف بهینه آب و حداکثر سود حاصل از کشت محصولات، کشاورزان می توانند ترغیب شوند که چه نوع

References

Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghati, J., Abbasi, N. and Akbari, M. 2015. Investigating the role of processes in improving agricultural water productivity in Iran. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, 31(2): 163-180. (In Persian).

Amini, A., Porhemmat, J. and Sedri, H. 2020. Investigating the physical and economic efficiency of water in major crops in the Talvar Watershed, Kurdistan, Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(2): 481-491. (In Persian).

- Amini, A., Porhemmat, J. and Sedri, H.** 2020. Investigating the physical and economic efficiency of water in major crops in the Talvar Watershed, Kurdistan, Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12(2): 481-491. (In Persian).
- Baghbanyan, M., Emamverdi, Gh., Ghaderzadeh, H., Daman Keshideh, M. and Amin Rashti, N.** 2020. A survey on virtual water and sustainable productivity indices of agricultural water in major agricultural crops (A case of saqqez city, kurdistan province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3(14): 1046-1054. (In Persian).
- Bahrami M., Asaadi M.A. and Khalilian S.** 2020. Evaluation of water productivity indices with emphasis on modern and traditional irrigation in crops of Shahriar County. *Journal of Environment and Water Engineering*, 6(3): 284-292. (In Persian).
- Ehsani, M. and Khaledi, H.** 2003. Agricultural water efficiency. National Irrigation and Drainage Committee of Iran (Ministry of Energy), Tehran. (In Persian).
- Farahza, M., Nazari, B., Akbari, M., Naini, M.S. and Merit, A.** 2020. Assessing the physical and economic water productivity of crops in Moghan plain and analyzing the relationship between physical and economic water productivity. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(42): 166-179. (In Persian).
- Keshavarz, A. and Dehghani Sanich, H.** 2012. Water and water sports. *Journal of Economic Strategy*, 1(1): 200-233. (In Persian).
- Li, B. and Huang, F.** 2010. Trends in China's agricultural water use during recent decade using the green and blue water approach. *Advances in Water Resources*, 21: 575-583.
- Liu, J., Zehnder, A.J.B. and Yang, H.** 2008. Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. *Global NEST*, 10(3): 295-300.
- Molareza Qassab, F., Abdshahi, A. and Marzban, A.** 2020. Determining the physical and economic efficiency of agricultural water: a case study of Dezful city. *Journal of Agricultural Economics Research*, 12(3): 49-77.
- Seyedan, S.M. and Mottaghi, M.** 2019. Determination of the physical and economic water productivity for grain and forage corn under modern and traditional irrigation systems in hamadan province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(12): 1-8. (In Persian).
- Sheidaeian, M.** 2014. Investigation the effect of climate change on net irrigation requirement of rice (Case study: Tajan plain). Thesis Submitted for the Degree of Master of Science in Water Engineering. Sari University. (In Persian).
- Sidan, M. and Mottaqi, M.** 2019. Determining the physical and economic efficiency of water in the cultivation of corn and fodder under modern and traditional irrigation systems in Hamadan province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 6(1): 1-8. (In Persian).
- Zamani, O., Mortazavi, S.A. and Balali, H.** 2014. Economical water productivity of agricultural products in Bahar plain, Hamadan. *Water Research in Agriculture Journal*, 28(1): 51-62. (In Persian).

Evaluation and analysis of water productivity indices for various crops using traditional and modern irrigation systems (case study: Tajan plain of Mazandaran)

Marzieh Bagheri Khaneghahi¹, Seyed Hassan Mirhashemi², Mehdi Panahi^{3*}

¹ PhD Student in Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Graduated PhD, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

³ Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

*Corresponding Author: panahi40@yahoo.com

Received: 23 September 2021 Accepted: 13 December 2021 DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306317.1137

Abstract

Introduction: In this study, the physical and economic productivity of water consumed by five crops (wheat, corn, forage corn, barley, and alfalfa) in Tajan plain located in Mazandaran province were investigated. Population growth, rising demand for agricultural products, unfavorable climatic conditions, dwindling precipitation, and water scarcity are among the world's most pressing problems today. According to studies, the global population will reach 7.8 billion by 2025, putting additional pressure on food security, particularly in developing countries where the population will increase by more than 80 percent. Water's physical and economic efficiency is frequently considered in analysis and decision-making. Physical productivity of water is generally defined as crop yield per cubic meter of water consumed, whereas economic productivity is calculated by dividing the net benefit by the amount of water consumed. Recent water shortages and droughts in Iran necessitate the use of appropriate irrigation techniques for crop cultivation in order to increase crop yields and better manage water resources. In this study, two traditional and modern irrigation systems were compared for the production of five crops (wheat, corn, fodder corn, barley, and alfalfa) in the province of Mazandaran's Tajan plain. In addition, the physical and economic water productivity of five crops were evaluated in order to achieve the optimal state (less water consumption, good crop yield, and high income for farmers).

Materials and Methods: Tajan catchment has an approximate area of 4005.22 km², of which 3980.75 km² are located within Mazandaran province and about 25 km² are located outside the province. Tajan catchment is located eastern longitude of 53 degrees and 7 minutes to 53 degrees and 42 minutes and a northern latitude of 35 degrees and 56 minutes to 36 degrees and 17 minutes. In this study, data and information from Jihad Agriculture and Regional Water Organization were collected, including soil texture, crop water requirement, cropping area, crop yield, crop water requirement, water inflow to the farm, duration and frequency of irrigation, product prices, and investment costs. A two-stage random sampling method was employed based on the available data and information from Tajan, as well as the various cropping areas and irrigation techniques used in this region. For the study, wheat, corn, forage corn, barley, and alfalfa were chosen as crops. Notably, among the crops, corn is not cultivated using conventional irrigation techniques.

Results and Discussion: In the traditional irrigation method, the highest yield belonged to forage corn and the lowest yield. Additionally, alfalfa had the highest volume of water consumption while barley had the lowest volume of water consumption. In the traditional irrigation method, forage corn and wheat had the highest and lowest Crop Per Drop (CPD) values, respectively. Also, feed corn and barley had the highest and lowest Net Benefit Per Drop (NBPD) values, respectively. Alfalfa and barley had the highest and lowest Benefit Per Drop (BPD) indices, respectively. Therefore, barley and alfalfa, which have the lowest yield and the highest water consumption using the traditional method, are unsuitable for cultivation in this region. Additionally, in the new method,

wheat has the lowest water consumption, but its performance is subpar.

Conclusion: Considering the obtained values of physical and economic water productivity of the aforementioned crops in the Tajan plain, it is advisable not to use traditional methods for irrigating the fields under the aforementioned cropping patterns, with the exception of fodder corn. In addition to barley and wheat, the cultivation of fodder corn, alfalfa, and grain corn is also a top priority. The cultivation of barley using either method of irrigation should be eliminated entirely.

Keywords: Cereals, Economic productivity, Net benefit, Yield

بررسی نقش فتوسنتزی برگ و گل آذین گلرنگ در عملکرد و محتوی روغن تحت تنش کم آبی

سعید حضرتی^{۱*}، نادر صالح نیا^۲، امیررضا صادقی بختوری^۱، هادی اسدپور^۲، بهمن پاسبان اسلام^۳

- ۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
 ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
 ۳- 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.2022.320094.1168

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

چکیده

به منظور بررسی نقش فتوسنتزی برگ و گل آذین گلرنگ در پشتیبانی عملکرد و محتوای روغن تحت تنش کم آبی، آزمایشی روی رقم بهاره گلدشت به صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اصلی تنش کم آبی در سه سطح (بدون تنش، تنش از مرحله شروع گل‌دهی، تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی) و فاکتور فرعی حذف برگ‌ها و پوشش گل آذین در چهار سطح (شاهد، حذف برگ تیپ پایین، حذف برگ تیپ بالا و پوشش گل آذین) بودند. نتایج نشان داد اعمال تنش کم آبی از مرحله شروع گل‌دهی و از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به ترتیب ۱۶/۴ و ۷/۹ درصد عملکرد دانه را کاهش داد، در حالی که عملکرد روغن تنها تحت تأثیر تیمار اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی کاهش معنی‌دار ۴/۴ درصدی را نشان داد. با توجه به نتایج، مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده اسمیلت‌ها برای پر شدن دانه گلرنگ و تولید روغن، برگ‌های بالای کانوپی بودند؛ همچنین بر اساس نتایج، گلبرگ‌ها نیز نقش مهمی را در پر شدن دانه‌ها، در هر دو شرایط عدم تنش کم آبی و کم آبی بعد از مرحله گل‌دهی دارند. در تیمار بدون تنش کم آبی، بیشترین میزان شاخص برداشت ۳۹/۷ درصد مربوط به عدم حذف برگ و کم‌ترین میزان (۳۸/۶ درصد) مربوط به حذف برگ‌های تیپ بالا بود. بر اساس نتایج تحقیق گل آذین نقش مؤثری در عملکرد دانه و در نتیجه عملکرد روغن گلرنگ داشت. اعمال تنش کم آبی از مرحله شروع گل‌دهی نیز عملکرد دانه و روغن را در گلرنگ کاهش قابل توجهی داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تنش خشکی، دانه‌های روغنی، عملکرد روغن، منبع و مخزن

مقدمه

اقتصادی و اجتماعی باشد. به طور کلی، آنچه در انتخاب گیاهان زراعی برای کشت در یک منطقه اهمیت دارد، سازگاری آن‌ها با عوامل محیطی است. انتخاب محصولات زراعی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند کشور ایران، به دلیل شرایط خاص اقلیمی، کمبود آب و حساسیت خاک‌ها در مقابل فرسایش و تخریب، از اهمیت بیشتری برخوردار است (Bhattarai et al., 2020).

میزان تولید جهانی گلرنگ در سال ۲۰۱۹ معادل ۶۲۳۹۹۷ تن بود که در بیش از ۶۰ کشور دنیا تولید می‌شود که عمده تولید کنندگان آن، هند، آمریکا و مکزیک هستند (FAO, 2020). علی‌رغم اینکه گیاه زراعی گلرنگ دارای قابلیت‌های ارزشمند بوده، بومی ایران است و در گوشه و کنار کشور ذخایر ژنتیکی این گیاه به وفور یافت می‌شود، ولی متأسفانه تا امروز توجه زیادی به آن نشده است. در حالی که در کشورهایی مانند

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L) به دلیل داشتن خصوصیات مطلوب زراعی، استفاده‌های مختلف صنعتی و کیفیت بالای روغن، به عنوان یک گیاه با ارزش شناخته شده است. مقاومت نسبتاً مطلوب به خشکی و شوری، این گیاه را در زمره مهم‌ترین گیاهان تنوع‌دهنده الگوی کشت و پایدار کننده اقتصاد تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار داده است (Naderi et al., 2005). گلرنگ یکی از گیاهان دانه روغنی و بومی کشور است. وجود گونه‌های وحشی پراکنده در سراسر کشور نشان‌دهنده سازگاری مناسب این گیاه با شرایط آب و هوایی ایران است (Nasseri et al., 2017).

ایران از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. گسترش کشت گیاهان متحمل به این شرایط از نظر زراعی می‌تواند یکی از راه‌کارهای مهم مدیریتی برای بهبود شرایط

جهانی، به طوری که توسط تغییر دما و دی‌اکسید کربن با کاهش دسترسی به آب در اثر کاهش بارندگی منعکس می‌شود (Weiss *et al.*, 2020) و جهت افزایش عملکرد، مستلزم اصلاح گیاهان زراعی با روابط منبع و مخزن متفاوت است. در نهایت روابط منبع و مخزن می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط کم‌آبی نقش مهمی را داشته باشد، تحقیقات نشان داده که مهار پیری برگ‌های القا شده در اثر کم‌آبی با دست‌کاری ژنتیکی در تنباکو، می‌تواند مقاومت به خشکی را در گیاهان افزایش دهد (Cortleven *et al.*, 2019).

با توجه به اینکه اطلاعات در زمینه سهم فتوسنتزی اندام‌های مختلف گیاه گلرنگ در عملکرد دانه و روغن محدود است و معمولاً سهم فتوسنتزی اندام‌های مختلف در عملکرد تابع شرایط محیطی است؛ بنابراین، هدف از این تحقیق ارزیابی نقش برگ‌ها و گل‌آذین در تأمین مواد فتوسنتزی و تأثیر آن بر عملکرد گیاه گلرنگ تحت تنش کم‌آبی بود. هم‌چنین نقش برگ‌ها و گل‌آذین در کاهش اثرات تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد گلرنگ و تأثیر هم‌زمان تنش کم‌آبی و حذف برگ‌ها در عملکرد و درصد روغن گلرنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی استان آذربایجان شرقی با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۸/۸ متر از سطح دریا به صورت آزمایش اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۳۹۸ در فصل بهار روی رقم گلدشت اجرا شد. فاکتور اصلی تنش شامل کم‌آبی در سه سطح (بدون تنش (شاهد)، تنش از مرحله شروع گل‌دهی، تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی) و فاکتور فرعی حذف برگ‌ها و پوشش گل‌آذین در چهار سطح (شاهد (عدم حذف برگ)، حذف برگ تیپ پایین، حذف برگ تیپ بالا و پوشش گل‌آذین بودند. در تیمار حذف برگ‌ها زمانی که بوته‌های گلرنگ به ۱۰ درصد گل‌دهی رسیده باشد با دست و ضد عفونی شده حذف گردید و پوشش گل‌آذین نیز با فویل آلومینیومی پوشانده شد. آبیاری از زمان کاشت تا شروع گل‌دهی با استفاده از تشتک تبخیر آب در کرت‌های بدون تنش خشکی و عادی در زمان ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک

ایالات متحده آمریکا تلاش‌های زیادی برای عرضه ارقام جدید و مناسب گلرنگ صورت گرفته و روز به روز بر اهمیت، سطح زیر کشت و عملکرد دانه این گیاه افزوده می‌شود (Mansouri *et al.*, 2020).

مقاومت به کم‌آبی یک ویژگی مهم در گیاهان جهت افزایش عملکرد گیاهان است. برای بهبود این ویژگی، اصلاح گیاهان نیازمند تغییرات اساسی در خصوصیات ویژه‌ای از گیاه است که در نهایت باعث افزایش مقاومت گیاهان به کم‌آبی می‌شود (Maleki *et al.*, 2013). گلرنگ به عنوان گیاهی سازگار به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک و هوای خشک در طول دوره گل‌دهی، پر شدن دانه از یک سو و با داشتن ریشه‌های طویل و با توان جذب آب بالا از بخش‌های عمیق‌تر خاک از سوی دیگر، دانه روغنی متحمل به کمبود آب به حساب می‌آید (Zaffaroni, 2020).

مطالعات نشان داده که تنش خشکی می‌تواند روی رشد اندام‌های مختلف گیاه تأثیر و منجر به تغییر در خصوصیات مورفولوژیکی گیاه شود، در گیاهان متحمل به خشکی در کل بافت گیاه، سطوح مولکولی و فیزیولوژیکی تغییرات ایجاد می‌شود. ظهور یک یا ترکیبی از تغییرات اصلی توانایی گیاهان را به تحمل کاربرد محدود آب تعیین می‌کند (Caser *et al.*, 2018). تنش کمبود آب از طریق تغییر رنگ برگ‌ها و سپس پیری زودرس آن‌ها سبب کاهش فتوسنتز و شاخص سطح برگ گلرنگ می‌شود (de Lima Bueno *et al.*, 2020). گزینش ژنوتیپ‌های بهاره گلرنگ در شرایط کشت آبی بر مبنای قطر ساقه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه باعث بهبود عملکرد دانه می‌گردد (Ali *et al.*, 2020). تجمع اسمیلات‌ها در دانه و تنفس کانوبی مخازنی مشابه از نظر میزان مصرف و عمده‌ترین مخازن بعد از گرده‌افشانی و در طی پر شدن دانه‌ها هستند که تأمین نیاز این دو مخزن بیش از ظرفیت فتوسنتزی کانوبی است؛ بنابراین ذخایر ساقه در نهایت برای تأمین نیاز اسمیلات‌های دانه‌ها نیاز خواهند بود. باید در نظر داشت که میزان فتوسنتز گیاه در صورت وقوع خشکی بعد از گرده‌افشانی به شدت کاهش می‌یابد (Liu *et al.*, 2020). روابط مختلف منبع و مخزن مطلوب برای عملکرد بالا بین گیاهان زراعی یا حتی درون یک گونه گیاهی در شرایط مختلف، مستلزم درک مکانیکی تداخل منبع و مخزن می‌باشد؛ بنابراین آب و هوای

سانتی متری پشته به صورت خشکه کاری کاشته شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری های بعد با فاصله هر پنج روز یکبار اعمال گردید. پس از کاشت و استقرار بوته ها، در مرحله ی دو الی چهار برگی اقدام به تنک و وجین گردید و عملیات وجین تا پایان رشد رویشی ادامه یافت. مبارزه با مگس گلرنگ با سم دیازینون در اواخر تیرماه و مبارزه با سفیدک گلرنگ با سم توپاس در اوسط مردادماه انجام شد.

تبخیر آب انجام گرفت. در کرت های دارای تنش کم آبی، آبیاری در زمان ۱۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر آب انجام گرفت. قبل از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی متری مزرعه نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آنالیز خاک در جدول ۱ ارائه شده است. ابعاد هر کرت دو در سه متر مربع بود. قبل از کاشت، بذور با قارچ کش بنومیل دو در هزار تیمار گردید. در مزرعه بذور گلرنگ در محل داغ آب پشته هایی که به فاصله ۳۰ سانتی متری از هم قرار داشتند و در عمق ۱/۵

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some physical and chemical properties of the studied soil

| بافت خاک Soil texture | پتاسیم Potassium (ppm) | فسفر Phosphorus (ppm) | نیتروژن کل Nitrogen (%) | کربن آلی Organic carbon (%) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC (dS/m) |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------|
| لومی شنی Sandy loam | 1085 | 51.85 | 0.12 | 1.29 | 8.17 | 1.42 |

درصد روغن

استخراج روغن با استفاده از حلال دی اتیل اتر صورت گرفت. بدین منظور دو گرم بذر برای روغن گیری پودر و به داخل لوله های آزمایشی ریخته شد. حدود ۱۰ میلی لیتر از حلال دی اتیل اتر به لوله های آزمایشی اضافه شد و محلول آماده سازی شده با استفاده از دستگاه ورتکس هم زده شد تا محلول یکنواختی بدست آید. سپس، محتوای لوله های آزمایشی به داخل فالکون ۵۰ میلی لیتری انتقال داده شدند. فالکون ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از رسوب تفاله های بذر در قسمت انتهایی فالکون ها، محلول باقی مانده در قسمت بالایی فالکون ها که شامل دی اتیل اتر همراه با روغن بذور بود، جمع آوری شده و محتویات آن به لوله ی آزمایشی دیگری که از قبل وزن شده بود ریخته شد. به منظور جداسازی حلال از ماده ی روغنی، محلول ها به داخل دستگاه آون با دمای ۳۰ درجه ی سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت منتقل شدند. پس از تبخیر و جدا شدن حلال دی اتیل اتر، تنها ماده ی باقی مانده روغن گلرنگ بود که وزن آن با کسر وزن لوله ی آزمایشی محتوی روغن از لوله ی آزمایشی که از قبل وزن شده بود بدست آمد (Zeinali et al., 2018). برای محاسبه عملکرد روغن درصد روغن در عملکرد بذر در هکتار ضرب و عملکرد روغن بدست آمد.

اندازه گیری صفات رشدی و عملکردی

بعد از حذف اثرات حاشیه ای تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب شد و متغیرهای وزن خشک اندام های هوایی، قطر طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در واحد سطح مورد ارزیابی قرار گرفتند. ابزارهای مورد استفاده خط کش (برای اندازه گیری ارتفاع بوته)، کولیس دیجیتالی (برای اندازه گیری قطر طبق) و ترازوی دیجیتالی (برای وزن هزار دانه و وزن خشک اندام های هوایی) بودند. برای اندازه گیری دمای برگ با استفاده از دما سنج مادون قرمز مدل 825-T₂ ساخت کارخانه تستو ایتالیا اندازه گیری شد. تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و دمای آن ها اندازه گیری و میانگین مربوطه تعیین شد. هم چنین اندازه گیری 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 اسپاد^۱ شاخص سبزینگی در پنج بوته و از سه لایه مختلف پایین، وسط و بالای بوته در یک برگ انتخاب شده اندازه گیری شد.

1. SPAD

آنالیز آماری

فتوسنتزی به اندام‌های زایشی هستند (Rossi and Privitello, 2019).

قبل از تجزیه آماری، تست نرمال بودن داده‌ها انجام و سپس تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری صفات مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

قطر طبق

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس قطر طبق به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری و حذف اندام فتوسنتزی قرار گرفت اما برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های قطر طبق تحت تأثیر تیمار تنش نشان داد که تیمارهای اعمال تنش نتایج متفاوتی را بر قطر طبق گلرنگ باعث شدند؛ به طوری که تیمار اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی کاهش معنی‌دار ۱/۷ درصدی را در قطر طبق گلرنگ باعث شد، در حالی که تیمار اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به طور معنی‌داری بر این صفت افزود و این صفت را به میزان ۷ درصد افزایش داد (جدول ۴). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌های قطر طبق تحت تأثیر حذف اندام، تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته و پوشش گل‌آذین تأثیر معنی‌داری بر قطر طبق نداشت و تنها حذف برگ‌های بالای بوته اثر معنی‌دار کاهشی بر این صفت داشت، در تیمار حذف برگ‌های بالای بوته قطر طبق در مقایسه با عدم حذف اندام به میزان ۱۹/۲ درصد کمتر بود (جدول ۵).

تحقیقات نشان داده که کم‌آبی کاهش معنی‌داری را در تعداد برگ‌های گلرنگ باعث می‌شود و کاهش میزان تولید اسمیلات‌های تولیدی تحت تأثیر کم‌آبی دلیل اصلی کاهش رشد طبق تحت تأثیر کم‌آبی می‌باشد (Ghassemi-Golezani and Mammabi, 2019). کاهش در قطر طبق با اعمال تنش در مرحله شروع گل‌دهی کاملاً منطقی به نظر می‌رسد؛ چرا که بعد از این مرحله طبق‌ها شروع به رشد می‌کنند و تنش با اعمال محدودیت‌هایی بر میزان تولید اسمیلات‌ها و انتقال آن‌ها از برگ‌ها به طبق، از رشد طبق می‌کاهد (Hahn et al., 2020). مطالعه‌ای نشان داد که برگ‌های بخش بالایی گیاهان، مهم‌ترین نقش را عملکرد دانه دارند، زیرا این اندام‌ها، نزدیک‌ترین منابع

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آبیاری و تیمار حذف اندام فتوسنتزی قرار گرفت و برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۴۲/۷ گرم) مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین وزن هزار دانه (۴۲/۱ گرم) مربوط به تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی بود (جدول ۴). هم‌چنین مقایسه میانگین تیمار حذف اندام نشان داد بین تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته و حذف برگ‌های بالای بوته با عدم حذف اندام اختلاف معنی‌داری وجود داشت، ولی در تیمار پوشش گل‌آذین وزن هزار دانه کمتری در مقایسه با عدم حذف اندام به دست آمد. در تیمار پوشش گل‌آذین وزن هزار دانه ۳۸/۸ گرم بود که در مقایسه با عدم حذف اندام به میزان ۱۲/۴ درصد کمتر بود (جدول ۵). بر اساس یافته‌های محققین پوشش گل‌آذین در گلرنگ نقش مهمی را در پر شدن دانه‌های گلرنگ دارند (Iamonico and Mokni, 2019)، هم‌چنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که گل‌آذین از مهم‌ترین منابع فتوسنتزی در پر شدن دانه‌ها به شمار می‌آید. در مطالعات دیگران با بررسی ارقام گلرنگ بهاره گزارش کردند که وزن هزار دانه تحت تنش خشکی قرار گرفت در گلرنگ از بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه از بقیه مهم‌تر است زیرا بسیاری از عوامل تنش‌زای محیطی که در دوره پر شدن دانه تظاهر می‌کند، با ایجاد پوکی دانه به رغم اندازه معمول آنها موجب سبک شدن دانه‌ها و کاهش عملکرد می‌گردد (Heshmati et al., 2017).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد سطوح آبیاری، حذف اندام و برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گلرنگ داشتند (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد در سطوح بدون تنش بیشترین میزان عملکرد دانه، به میزان ۱۳۰۵ کیلوگرم در هکتار، مربوط به عدم حذف برگ بود و کم‌ترین میزان عملکرد دانه به

تولید دانه را کاهش می‌دهد، لذا منجر به ضعیف شدن رابطه بین اسمیلات‌ها و تعداد دانه و نازایی گلچه‌ها می‌شود (Moosavi *et al.*, 2017). کم آبی در مراحل پس از گل‌دهی نیز کاهش شدیدی را در عملکرد دانه با کاستن از تعداد و وزن دانه‌ها باعث می‌شود. از دلایل مهم کاهش در تعداد دانه و وزن دانه‌ها، کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش سطح سبز گیاه قابل ذکر هستند (Herrmann *et al.*, 2020). بررسی‌ها نشان داده که با اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی، به دلیل مشکلات ایجاد شده در اثر گرده‌افشانی و باروی گلچه‌ها، تعداد دانه‌های تشکیل شده کاهش می‌یابد (Mangwe *et al.*, 2020). علی‌رغم این یافته‌ها در بررسی حاضر تعداد دانه تحت تأثیر کم آبی قرار نگرفت، با این وجود نمی‌توان تأثیر کم آبی در مرحله آغاز گل‌دهی بر تشکیل دانه‌ها را نادیده گرفت. با این وجود با اعمال تنش در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، کم آبی تنها با کاهش اسمیلات‌های مورد نیاز برای پر شدن دانه‌ها، از عملکرد دانه می‌کاهد (Barker Plotkin *et al.*, 2021).

میزان ۱۲۳۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به حذف برگ تیپ بالا بود. در سطوح تنش از مرحله گل‌دهی بیشترین میزان ۱۱۱۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به عدم حذف برگ و کم‌ترین میزان عملکرد دانه ۱۰۰۸/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به حذف برگ تیپ بالا بود. در شرایط تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب مربوط به عدم حذف برگ و حذف برگ تیپ بالا به میزان ۱۲۱۱/۶ و ۱۱۲۵/۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (شکل ۱).

مهم‌ترین و تأثیرگذارترین فاکتور در گیاهان زراعی صفت عملکرد دانه می‌باشد. به نظر می‌رسد در مرحله‌ی رشد رویشی تنش خشکی منجر به کاهش سطح برگ، شاخص سطح برگ و فتوسنتز در واحد سطح برگ می‌شود. در نتیجه کاهش عملکرد در این مرحله به واسطه‌ی کاهش تعداد دانه در غوزه می‌باشد کاهش عملکرد در مرحله‌ی زایشی به واسطه‌ی کاهش دوره‌ی پر شدن دانه‌ها، کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن دانه‌ها می‌باشد (Jamali *et al.*, 2020). کم آبی سنتز هورمون‌های درگیر در

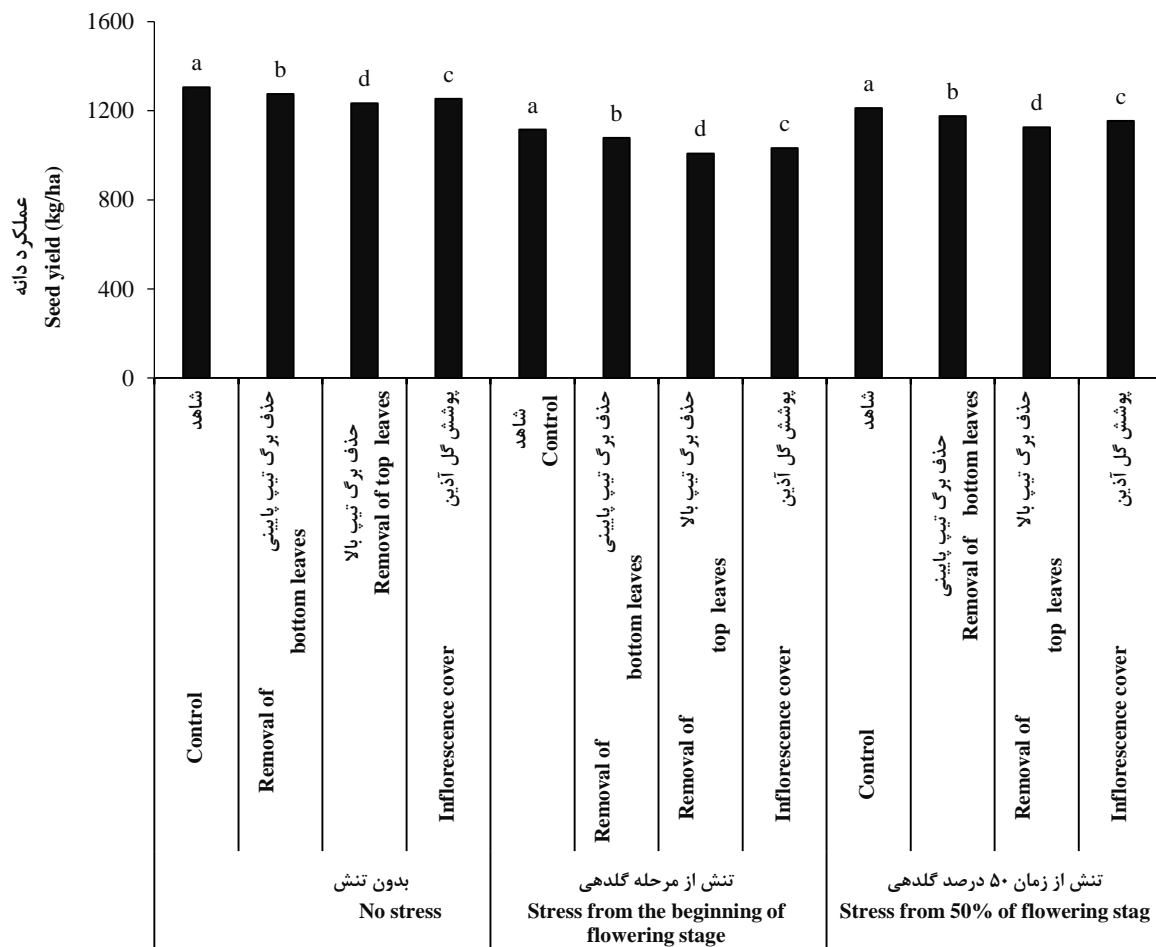
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تنش کم آبی و حذف اندام‌های مختلف فتوسنتزی روی گلرنگ بهاره

Table 2- Analysis of variance for study characteristics under water stress and removal of different photosynthetic organs on spring safflower

| منابع تغییرات Source of variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean square | | | | |
|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
| | | قطر طبق Head diameter | وزن هزار دانه 1000 Seeds weight | عملکرد دانه Seed yield | زیست توده Biomass | دمای برگ Leaf temperature |
| تکرار Replication | 2 | 15.25* | 71.31* | 257** | 421.52** | 0.91 ^{ns} |
| آبیاری Irrigation (I) | 2 | 4.08* | 1.23* | 130697** | 342896* | 5.50** |
| خطای اصلی Main error | 4 | 2.83 | 22.53 | 32.91 | 219.44 | 0.38 |
| حذف اندام Removal organ (R) | 3 | 3.62* | 75.33* | 12954** | 36411** | 0.97 ^{ns} |
| آبیاری × حذف اندام I × R | 6 | 3.04 ^{ns} | 27.25 ^{ns} | 275.5** | 3763** | 0.89 ^{ns} |
| خطای کل Total error | 18 | 2.93 | 16 | 32.5 | 0.69 | 0.54 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | | 13.17 | 9.45 | 0.49 | 0.32 | 2.70 |

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, ** not significant, Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر حذف منابع فتوسنتزی روی عملکرد دانه تحت شرایط تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Figure 1- Effect of removal of different photosynthetic organs and water stress at different growth stages on seed yield (Means within a column followed by the same letters have not significantly difference ($p \leq 0.05$)).

عملکرد زیست‌توده

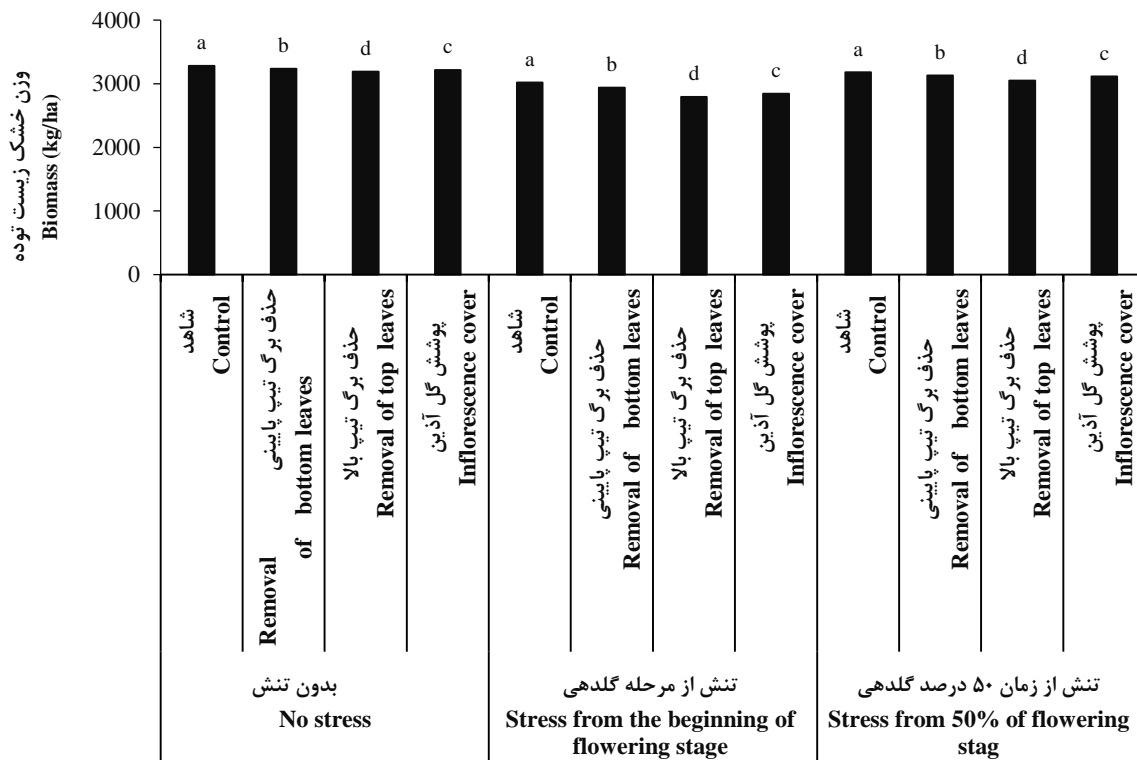
از مرحله شروع گل‌دهی کاهش بیشتری در وزن خشک اندام هوایی در مقایسه با اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به دست آمد. هم‌چنین مقایسات میانگین تیمار حذف اندام‌های فتوسنتز کننده نشان می‌دهد بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی مربوط به تیمار شاهد و کمترین مربوط به حذف برگ‌های بالا می‌باشد. تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته، حذف برگ‌های بالای بوته و پوشش گل‌آذین به ترتیب ۱/۸، ۴/۷ و ۳/۲ درصد از وزن خشک اندام هوایی بوته‌های گل‌رنگ کاست که این کاهش نشان می‌دهد که برگ‌های بالای بوته‌های گل‌رنگ بیشترین تأثیر را در افزایش وزن خشک اندام هوایی بوته‌های گل‌رنگ دارند (شکل ۲).

بررسی‌ها نشان داده که برگ‌های بالای بوته‌ها به دلیل موقعیت خود نور بیشتری را نسبت به برگ‌های پایینی جذب

نتایج تجزیه واریانس برای صفت وزن خشک زیست‌توده بیانگر این است که سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد و حذف اندام‌ها و برهم‌کنش سطوح آبیاری و حذف اندام‌ها در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد بیشترین وزن خشک زیست‌توده در تیمار بدون تنش به دست آمد و در تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی وزن خشک اندام هوایی کمتری در مقایسه با بدون تنش مشاهده گردید. در تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی وزن خشک زیست‌توده بوته‌های گل‌رنگ به ترتیب ۲۸۹۹ و ۳۱۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به این نتایج در تیمار اعمال تنش

فتوسنتز توجیه می‌کند. در مطالعه‌ای تنش کم آبی باعث کاهش معنی دار وزن خشک اندام هوایی گلرنگ گردید و محققان بیان کردند این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش سطح فتوسنتزی گیاه باشد که باعث کاهش اسمیلات‌های مورد نیاز برای رشد می‌شود (Hussain *et al.*, 2020).

می‌کنند و بنابراین از تولید اسمیلات‌های بیشتری برخوردارند (Al-Samarrae *et al.*, 2020). از سوی دیگر برگ‌های بالای بوته جوان تر بوده و کارایی جذب و اسمیلاسیون بیشتری را نسبت به برگ‌های پایین بوته دارند (Musacchi *et al.*, 2021) که این مسئله به وضوح نقش مهم برگ‌های بالای بوته را در امر



شکل ۲- تأثیر حذف منابع فتوسنتزی و تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد روی وزن خشک زیست توده (حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Figure 2- Effect of removal of different photosynthetic organs and water stress at different growth stages on biomass (Means within a column followed by the same letters have not significantly difference ($p \leq 0.05$)).

می‌توان به شاخص‌های فیزیولوژیکی معینی نسبت داد و به طور غیرمستقیم وضعیت آبی گیاه را برآورد کرد. بدیهی است هرچه شدت تنش وارده به گیاه بیشتر باشد، اختلاف دمای هوا و برگ نیز بیشتر خواهد بود. دمای بالای برگ در گیاهان تحت تنش خشکی نسبت به محیط مجاور، نشان‌دهنده بسته شدن روزنه‌ها، تبادل گازی ضعیف و کاهش خنک شدن گیاه به وسیله تعرق می‌باشد. در صورتی که در شرایط بدون تنش خشکی، دمای برگ‌ها پایین‌تر از هوای مجاور است. کاهش سطح برگ بر اثر تنش خشکی موجب انتقال سریع دمای برگ به سطح آن گردیده و باعث افزایش دمای برگ می‌شود (Aziz *et al.*, 2018).

دمای برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر آبیاری در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر دمای برگ داشت اما حذف اندام‌های فتوسنتزی بر دمای برگ تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). مقایسات میانگین رژیم کم آبی نشان داد در بین سطوح تنش، تنش از مرحله دانه بستن بیشترین دمای برگ (۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن در سطوح بدون تنش (شاهد) به میزان ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده گردید (جدول ۴). استفاده از دامسنج مادون قرمز ابزار مفیدی در تشخیص تنش کم آبی وارده به گیاه است؛ به عبارت دیگر، دمای برگ را

میانگین ۲۹۲/۴ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین با مقدار ۲۷۹/۱ کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش از مرحله گل‌دهی به دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین در مقایسات میانگین تیمار حذف اندام‌ها بیشترین عملکرد روغن از تیمار شاهد (بدون تنش) با میانگین ۲۹۸/۸ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین عملکرد روغن در حذف برگ‌های تیپ بالا ۲۷۹/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روند تغییرات عملکرد روغن معنی‌دار می‌باشد که این نتایج نشان می‌دهد نقش عملکرد دانه در تغییر عملکرد روغن، بیشتر از درصد روغن می‌باشد و حذف اندام تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر درصد روغن گلرنگ نداشت. در طی بررسی روی گلرنگ کاهش معنی‌داری را در عملکرد روغن دانه تحت تأثیر کم‌آبی به دست آوردند. این محققین کاهش درصد روغن و حتی عملکرد دانه را دلیل بر افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر کم‌آبی گزارش نمودند (Dev et al., 2020). در مطالعه‌ای روی آفتابگردان نتایج نشان داد که حذف برگ‌های بالای بوته‌های آفتابگردان بیشترین کاهش را در عملکرد روغن باعث می‌شود (Hassan et al., 2021).

در آزمایشی دمای برگ صفت مناسبی در گزینش ژنوتیپ‌های بهاره متحمل به خشکی گلرنگ بوده است و تغییرات دمای تاج پوشش برگ با شدت تنش خشکی همبستگی داشته و با کاهش آب قابل استفاده خاک، پتانسیل آب گیاه و در نتیجه تعرق برگ، دمای تاج پوشش برگ افزایش می‌یابد. هم‌چنین دمای تاج پوشش برگ با محتوای نسبی آب برگ همبستگی داشته و با کاهش آن، افزایش می‌یابد (Kumar and Sharma 2010). در مطالعه‌ای دمای برگ آفتابگردان در شرایط کمبود آب حدود ۵-۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر از برگ‌های بدون تنش دیده بود (Humplik et al., 2015).

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که سطوح آبیاری و حذف اندام‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد روغن گلرنگ داشتند، اما اثر متقابل سطوح آبیاری و حذف اندام‌ها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های عملکرد روغن تحت تأثیر تیمارهای سطوح آبیاری نشان داد بیشترین عملکرد روغن از تیمار شاهد با

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تنش کم‌آبی و حذف اندام‌های مختلف فتوسنتزی روی گلرنگ بهاره

Table 3- Analysis of variance for study characteristics under water stress and removal of different photosynthetic organs on spring safflower

| منابع تغییرات Source of variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean square | | |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | | شاخص کلروفیل Chlorophyll index | عملکرد روغن Oil yield | شاخص برداشت Harvest index |
| تکرار Replication | 2 | 65.75 ns | 73.92 ^{ns} | 0.079 ^{**} |
| آبیاری Irrigation (I) | 2 | 101.88 ^{ns} | 873.8 ^{**} | 22.69 ^{**} |
| خطای اصلی Main error | 4 | 47.05 | 5.587 | 0.008 |
| حذف اندام Removal organ (R) | 3 | 147.36 [*] | 592.7 ^{**} | 1.862 ^{**} |
| آبیاری × حذف اندام I × R | 6 | 28.25 ^{ns} | 68 ^{ns} | 0.033 ^{**} |
| خطای کل Total error | 18 | 28.11 | 29.1 | 0.00075 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | | 7.20 | 1.86 | 0.22 |

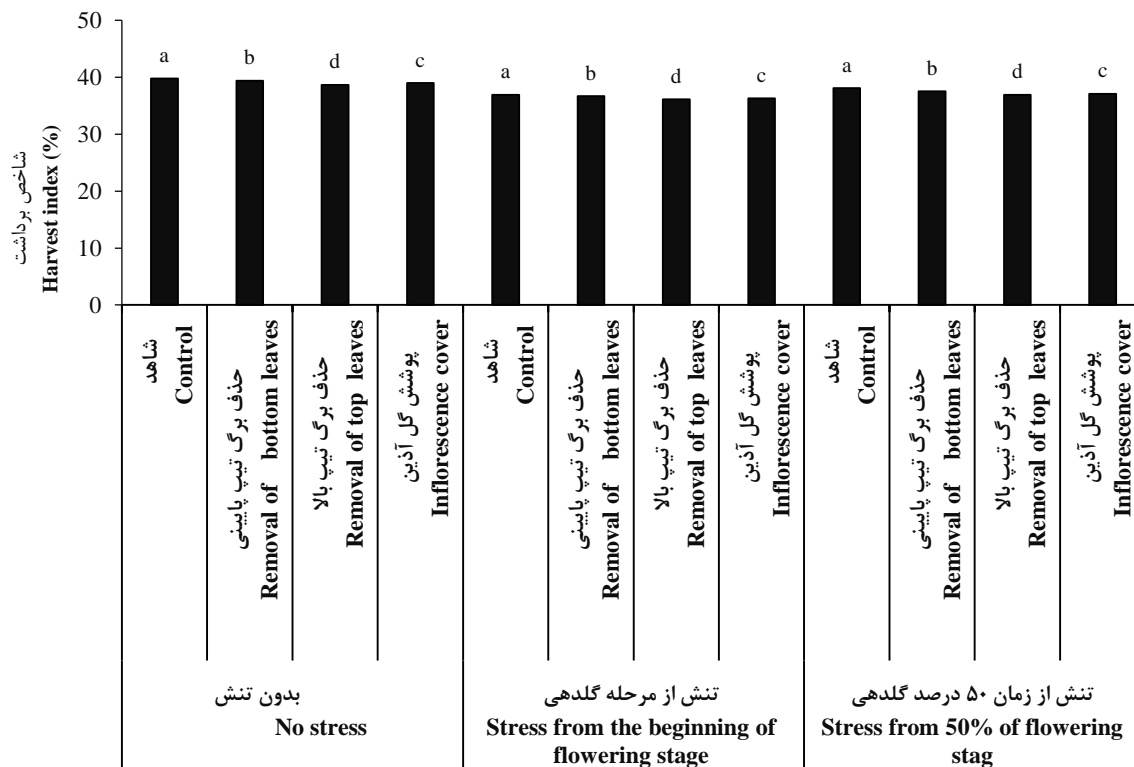
ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, ** not significant, Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

شاخص برداشت

درصد) مربوط به عدم حذف برگ‌ها بود (شکل ۳). تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری بستگی به تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی و دانه دارد به عبارت دیگر، اگر تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیشتر از عملکرد دانه باشد، در این صورت با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند. در تحقیقی کاهش معنی‌داری در شاخص برداشت گلرنگ تحت تأثیر کم آبی به دست آمد. این محققین اظهار داشتند که با اعمال کم آبی در مرحله زایش که رشد تقریباً پایان یافته، از عملکرد اقتصادی کاسته می‌شود، ولی در وزن خشک اندام هوایی تغییری حاصل نگردید که این امر باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود (Farooq *et al.*, 2020). حذف منبع باعث کاهش اسمیلات‌ها برای پر شدن دانه می‌شود و بنابراین از شاخص برداشت کاسته می‌شود (Hunter *et al.*, 2020).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، حذف اندام و اثر متقابل سطوح آبیاری و حذف اندام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی کاهش معنی‌داری را در شاخص برداشت باعث شدند در سطوح بدون تنش بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۹/۷ درصد) مربوط به عدم حذف برگ بود و کم‌ترین میزان شاخص برداشت (۳۸/۶ درصد) مربوط به حذف برگ‌های تیپ بالا بود. در سطوح تنش از مرحله گل‌دهی بیشترین و کم‌ترین میزان شاخص برداشت به ترتیب (۳۶/۹ درصد) و (۳۶/۱ درصد) مربوط به عدم حذف برگ و حذف برگ‌های تیپ بالا بود. همچنین در سطوح تنش از زمان ۵۰ درصد گل‌دهی بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۸/۱)



شکل ۳- تأثیر حذف منابع فتوسنتزی و تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد روی شاخص برداشت (حروف‌های یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد)

Figure 3- Effect of removal of different photosynthetic organs and water stress at different growth stages on harvest index (Means within a column followed by the same letters have not significantly difference ($p \leq 0.05$)).

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که حذف اندام در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل داشت، اما سطوح آبیاری و اثر متقابل سطوح آبیاری و حذف اندام تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد که شاخص کلروفیل بین تیمارهای عدم حذف اندام با حذف برگ‌های بالای بوته و پوشش گل‌آذین اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی در تیمار حذف برگ‌های پایین بوته شاخص کلروفیل بیشتری در مقایسه با عدم حذف اندام به دست آمد. دو تیمار حذف برگ‌های پایین بوته شاخص کلروفیل ۷۸/۳ بود که در مقایسه با عدم حذف اندام به میزان ۷/۴ درصد بیشتر بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد حذف برگ‌های پایین با تخصیص مواد غذایی بیشتر به برگ‌های بالا باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ‌های گلرنگ شده است؛ چرا که با حذف برگ‌های پایین،

میزان مخازن دریافت‌کننده مواد غذایی مورد نیاز برای تولید کلروفیل و از جمله نیتروژن و آهن کاهش یافته و برگ‌های بالا مواد غذایی بیشتری را دریافت می‌کنند که می‌تواند در تولید کلروفیل به کار برود (Raghavendra and Reddy, 2020). محتوی کلروفیل یک عامل محدود کننده غیر روزنه‌ای فتوسنتز محسوب می‌شود؛ بنابراین کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند یکی از عوامل کاهش فتوسنتز باشد. همبستگی مثبت بین محتوای کلروفیل و سرعت فتوسنتز در مرحله اوج تنش نیز تأییدی بر این مسئله است (Kamali and Shahabian, 2021). در تحقیقی گزارش داده شد که برگ‌های گیاهان ذرت و گندم تحت تنش کم‌آبی نسبت به برگ‌های همان گیاهان تحت آبیاری مطلوب، دارای عدد کلروفیل بالاتری بودند (Yang et al., 2020).

جدول ۴- اثر سطوح آبیاری در مراحل مختلف رشد بر صفات مورد مطالعه گلرنگ بهاره

Table 4- Effect of water stress at different growth stages on characteristics of safflower

| رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes | قطر طبق Head diameter (cm) | وزن هزار دانه 1000 Seeds weight (g) | عملکرد روغن Oil yield (kg) | عملکرد دانه Seed yield (kg) | دمای برگ Leaf temperature (°C) | زیست توده Biomass (kg) | شاخص کلروفیل Chlorophyll index | شاخص برداشت Harvest index (%) |
|--|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| بدون تنش No stress | 12.75 a | 42.77 a | 292.4 a | 1267 a | 26.60 b | 3232.08 a | 71.14 a | 39.19 a |
| تنش از مرحله گلدهی Stress from the beginning of flowering stage | 12.58 a | 42.28 a | 279.1 b | 1058.3 c | 26.98 b | 2899.5 c | 76.84 a | 36.49 c |
| تنش از مرحله ۵۰ درصد گلدهی Stress from 50% of flowering stage | 13.66 a | 42.16 a | 295.07 a | 1166.9 b | 27.92 a | 3118.7 b | 72.94 a | 37.41 b |

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

جدول ۵- تأثیر حذف اندام‌های مختلف فتوسنتزی روی صفات گلرنگ

Table 5- Effect of removal of different photosynthetic organs on characteristics of safflower

| حذف اندام‌های فتوسنتزی | قطر طبق | وزن هزار دانه | عملکرد روغن | عملکرد دانه | زیست توده | شاخص کلروفیل | شاخص برداشت |
|--|--------------------|-----------------------|----------------|-----------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Removal of different photosynthetic organs | Head diameter (cm) | 1000 Seeds weight (g) | Oil yield (kg) | Seed yield (kg) | Biomass (kg) | Chlorophyll index | Harvest index (%) |
| شاهد Control | 13 a | 44.30 a | 298.8 a | 1210.5 a | 3161.1 a | 72.95 bc | 38.25 a |
| حذف برگ‌های پایین Removal of leaves of bottom | 12.66 a | 45.17 a | 291.1 b | 1176.2 b | 3102.7 b | 78.38 a | 37.86 b |
| حذف برگ‌های بالا Removal of leaves from the top | 13.88 a | 41.28 ab | 279.6 c | 1122.6 d | 3012.2 d | 74.60 ab | 37.22 d |
| پوشش گل آذین Inflorescence cover | 12.44 a | 38.86 b | 286.01 b | 1146.8 c | 3057.7 c | 68.62 c | 37.46 c |

حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری کلی

سایر صفات، تمامی تیمارهای حذف اندام کاهش معنی‌داری را باعث شد که نشان‌دهنده اهمیت هر سه منبع فتوسنتزی برگ‌های پایین، برگ‌های بالا و گل‌آذین در این صفات می‌باشد. با این وجود با توجه به نتایج مهم‌ترین منبع فتوسنتزی در بیوماس، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت، برگ‌های بالای بوته بود. بر اساس نتایج حاصل عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای حذف برگ‌های پایین بوته، حذف برگ‌های بالای بوته و پوشش گل‌آذین به ترتیب به میزان ۲/۸، ۷/۲ و ۵/۲ درصد کاهش یافت. لذا این نتایج نشان می‌دهد که منبع فتوسنتزی گل‌آذین نیز نقش مؤثری را در عملکرد دانه گلرنگ و در نتیجه عملکرد روغن دارد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

در این مطالعه تیمار اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی در قطر طبق گلرنگ، بیوماس، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت کاهش بیشتری را در مقایسه با اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی باعث شد. تیمارهای اعمال تنش از مرحله شروع گل‌دهی و اعمال تنش از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی کاهش به ترتیب ۱۶/۴ و ۷/۹ درصدی را در عملکرد دانه‌های گلرنگ باعث گردید. لذا تنش از مرحله شروع گل‌دهی کاهش بیشتری را باعث می‌شود که با توجه به نتایج ناشی از کاهش تعداد دانه بود. بر اساس نتایج این مطالعه تنها تیمار حذف برگ‌های پایین بوته به طور معنی‌داری و به میزان ۷/۴ درصد بر شاخص کلروفیل برگ‌های گلرنگ افزود، وزن هزار دانه نیز تنها تحت تأثیر پوشش گل‌آذین قرار گرفت. تیمار پوشش گل‌آذین کاهش ۱۲/۴ درصدی را در وزن هزار دانه گلرنگ باعث شد. در

References

- Ali, F., Yilmaz, A., Chaudhary, H.J., Nadeem, M.A., Rabbani, M.A., Arslan, Y. and Baloch, F.S. 2020. Investigation of morphoagronomic performance and selection indices in the international safflower panel for breeding perspectives. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(2): 103-120.

- Al-Samarrae, R.R., Atabani, A.E., Uguz, G., Kumar, G., Arpa, O., Ayanoglu, A. and Farouk, H.** 2020. Perspective of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as a potential biodiesel feedstock in Turkey: characterization, engine performance and emissions analyses of butanol–biodiesel–diesel blends. *Biofuels*, 11(6): 715-731.
- Aziz, A., Akram, N.A. and Ashraf, M.** 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123: 192-203.
- Barker Plotkin, A., Blumstein, M., Laflower, D., Pasquarella, V.J., Chandler, J.L., Elkinton, J.S. and Thompson, J.R.** 2021. Defoliated trees die below a critical threshold of stored carbon. *Functional Ecology*, 35(10): 2156-2167.
- Bhattacharai, B., Singh, S., Angadi, S.V., Begna, S., Saini, R. and Auld, D.** 2020. Spring safflower water use patterns in response to pre-season and in-season irrigation applications. *Agricultural Water Management*, 228: 105876.
- Caser, M., D'Angiolillo, F., Chitarra, W., Lovisolo, C., Ruffoni, B., Pistelli, L. and Scariot, V.** 2018. Ecophysiological and phytochemical responses of *Salvia sinaloensis* Fern. to drought stress. *Plant Growth Regulation*, 84(2): 383-394.
- Cortleven, A., Leuendorf, J.E., Frank, M., Pezzetta, D., Bolt, S. and Schmölling, T.** 2019. Cytokinin action in response to abiotic and biotic stresses in plants. *Plant Cell Environment*, 42(3): 998-1018.
- De Lima Bueno, P., Santos, R.F., Bassegio, D., Lewandoski, C.F., Maziero, C.L., de Souza, D.M. and Montiel, C.B.** 2020. Safflower genotypes affected by nitrogen fertilization in subtropical conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 14(9): 1420-1426.
- Dev, S., Sachan, A., Dehghani, F., Ghosh, T., Briggs, B.R. and Aggarwal, S.** 2020. Mechanisms of biological recovery of rare-earth elements from industrial and electronic wastes: A review. *Chemical Engineering Journal*, 397: 124596.
- FAO.** 2020. Food and Agriculture organization of the United Nations. Retrieved. 3(13): 2012.
- Farooq, A., Bukhari, S.A., Akram, N.A., Ashraf, M., Wijaya, L., Alyemeni, M.N. and Ahmad, P.** 2020. Exogenously applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plants Basel*, 9: 104.
- Ghassemi-Golezani, K. and Mamnabi, S.** 2020. Some physiological responses and yield of maize affected by seed aging and priming duration. *Plant Breeding and Seed Science*, 79: 63-70.
- Hahn, C., Lüscher, A., Ernst-Hasler, S., Suter, M. and Kahmen, A.** 2021. Timing of drought in the growing season and strong legacy effects determine the annual productivity of temperate grasses in a changing climate. *Biogeosciences*, 18(2): 585-604.
- Hassan, N., Qadir, G., Hassan, F.U., Akmal, M. and Sultan, T.** 2021. Impact of phosphate solubilizing bacteria in combination with di-ammonium phosphate on growth and development of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 44(16): 2359-2370.
- Herrmann, I., Bdoelach, E., Montekyo, Y., Rachmilevitch, S., Townsend, P.A. and Karnieli, A.** 2020. Assessment of maize yield and phenology by drone-mounted superspectral camera. *Precision Agriculture*, 21(1): 51-76.
- Heshmati, S., Amini Dehaghi, M. and Fathi Amirkhiz, K.** 2017. Effects of biological and chemical phosphorous fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids of spring safflower in water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1): 159-169.
- Hunter, M.C., Sheaffer, C.C., Culman, S.W. and Jungers, J.M.** 2020. Effects of defoliation and row spacing on intermediate wheatgrass I: Grain production. *Agronomy Journal*, 112(3): 1748-1763.

- Hussain, M.I., Farooq, M., Muscolo, A. and Rehman, A.** 2020. Crop diversification and saline water irrigation as potential strategies to save freshwater resources and reclamation of marginal soils, A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 28695-28729.
- Humplik, J.F., Lazar, D., Husickova, A. and Spichal, L.** 2015. Automated phenotyping of plant shoots using imaging methods for analysis of plant stress responses—a review. *Plant Methods*, 11(1): 29.
- Iamónico, D. and El Mokni, R.** 2019. *Amaranthus palmeri* (*Amaranthaceae* L.) in Tunisia, a second record for the continental African flora and nomenclatural notes on *A. sonoriensis* nom. nov. pro *A. palmeri* var. *glomeratus*. *Bothalia*, 47(1): a2100.
- Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S.M.** 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(6): 1687-1697.
- Kamali, M.I. and Shahabian, M.** 2021. Effects of supplemental irrigation and nitrogen fertilization on yield and qualitative characteristics of wheat in Mazandaran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(6): 2217-2233.
- Kumar, A. and Sharma, K.D.** 2010. Leaf water content—a simple indicator of drought tolerance in crop plants. *Indian Journal of Agricultural Science*, 80: 1095-1097.
- Liu, H., Ma, L., Wang, Z., Liu, Y. and Alsaadi, F.E.** 2020. An overview of stability analysis and state estimation for memristive neural networks. *Neurocomputing*, 391: 1-12.
- Maleki, A., Naderi, A., Naseri, R., Fathi, A., Bahamin, S. and Maleki, R.** 2013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 2(6): 38-44.
- Mangwe, M.C., Bryant, R.H., Moreno Garcia, C.A., Maxwell, T.M. and Gregorini, P.** 2020. Functional traits, morphology, and herbage production of vernalised and non-vernalised chicory cv. Choice (*Cichorium intybus* L.) in response to defoliation frequency and height. *Plants*, 9(5): 611.
- Mansouri, S.M., Mehrparvar, M., Amiri Domari, M. and Mozafari, H.** 2020. Evaluation of physiological indices of induced changes in safflower cultivars under biotic stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4): 896-905.
- Moosavi, S.G.R., Ramazani, S.H.R., Hemayati, S.S. and Gholizade, H.** 2017. Effect of drought stress on root yield and some morpho-physiological traits in different genotypes of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3): 167-174.
- Musacchi, S., Iglesias, I. and Neri, D.** 2021. Training Systems and Sustainable Orchard Management for European Pear (*Pyrus communis* L.) in the Mediterranean Area: A Review *Agronomy*, 11(9): 1765.
- Naderi, M.R., Nourmohammadi, G., Majidi, H.E., Darvish, F., Shiranirad, A.H. and Madani, H.** 2005. Evaluation of summer safflower response to different intensities of drought stress in Isfahan region. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(3): 212-225.
- Nasseri, S., Mahvi, A.H., Seyedsalehi, M., Yaghmaeian, K., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M. and Safari, G.H.** 2017. Degradation kinetics of tetracycline in aqueous solutions using peroxydisulfate activated by ultrasound irradiation: effect of radical scavenger and water matrix. *Journal of Molecular Liquids*, 241: 704-714.
- Raghavendra, T. and Reddy, Y.R.** 2020. Efficacy of defoliant on yield and fiber quality of American cotton in semi-arid conditions. *Indian Journal of Agricultural Research*, 54(3): 404-407.
- Rossi, R.E. and Privitello, L.M.** 2019. Defoliation of *Digitaria eriantha* Steudel: forage production, structure and radiation and water use efficiency. *Pastos y Forrajes*, 42(2): 106-116.
- Weiss, M., Jacob, F. and Duveiller, G.** 2020. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environmen*, 236: 111402.

- Yang, H., Zhang, H., Yang, Y., Wang, X., Deng, T., Liu, R. and Ba, Y.** 2020. Hypoxia induced exosomal circRNA promotes metastasis of colorectal Cancer via targeting GEF-H1/RhoA axis. *Theranostics*, 10(18): 8211.
- Zaffaroni, A.** 2020 AdS black holes, holography and localization. *Living Reviews in Relativity*, 23(1): 1-79.
- Zeinali, H., Sameti, H., Stafylakis, T., Burget, L. and Cernocky, J.** 2018. DeepMine Speech Processing Database: Text-Dependent and. *Proc. Odyssey 2018 The Speaker and Language Recognition*, 386-392.

Study the photosynthesis role of leaf and inflorescence in safflower yield and oil content under water deficit stress

Saeid Hazrati^{1*}, Nader Salehnia², Amir Reza Sadeghi Bakhtvari¹, Hadi Asadpour², Bahman Pasban Eslam³

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

² Ms.c Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

³ 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: 15 December 2021 Accepted: 27 January 2021 DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320094.1168

Abstract

Introduction: Drought stress is an unavoidable factor that exists in a wide range of environments without boundaries or clear warning, diminishing plant biomass production and quality. It is caused by changes in temperature, light intensity, and precipitation levels. This is despite its cumulative, multidimensional nature, which has a negative impact on plant morphology, physiological, biochemical, and molecular characteristics, as well as the photosynthetic capacity. Plants evolve different adaptation mechanisms to cope with water scarcity, including physiological and biochemical responses, which vary according to species. Plants respond to drought by altering their growth pattern and structural dynamics, reducing transpiration loss through modulation of stomata conductance and distribution, leaf rolling, varying root-to-shoot ratio dynamics, increasing root length, accumulating compatible solutes, and enhancing transpiration efficiency, adjusting hormone levels, and delaying senescence. The purpose of this study was to examine the photosynthetic role of safflower leaves and inflorescence on seed yield and oil content under water stress at Shahid Madani University of Azarbaijan in 2019 using the spring cultivar (Goldasht).

Materials and Methods: This study examined the effects of different irrigation regimes (no stress, water stress from the beginning of flowering stage, and water stress from 50% of flowering stage) and removing different types of photosynthetic organs (control, removal of leaves from the bottom of the plant, removal of leaves from the top of the plant, and inflorescence cover) on the growth and yield characteristics of safflower. SAS software (version 9.2) was used to perform an analysis of variance (SAS Institute Inc. 2002). At a probability level of 0.05, Duncan's Multiple Range Test was used to separate the means. Using a Class A Evaporation Pan, plots without drought and normal stress were irrigated to a depth of 80 mm from the time of planting until the beginning of flowering. Irrigation was performed at 160 mm evaporation time from water evaporation pans on water-stressed plots.

Results and Discussion: The highest 1000-seed weight (42.7 g) was associated with the control treatment, whereas the lowest weight (42.1 g) was associated with 50% flowering stress. During stress (seed filling stage), leaf temperatures were 27.9 °C and 26.6 °C, respectively (control). At the beginning of the flowering stage and at the 50% flowering stage, water stress reduced seed yield by 16.4% and 7.9%, respectively. The oil yield decreased significantly by 4.4%, only when the stress treatment was applied from the beginning of flowering. According to the results, the most important source of assimilates for safflower seed filling and oil yield is the top leaves. Also, in this study, the petals play an important role in filling the seeds, both under conditions of full irrigation and water stress. Under full irrigation, the highest harvest index (39.7%) was associated with non-removal of leaves, while the lowest harvest index (38.6%) was associated with removal of top leaves. Without removing the leaves, the highest seed yield (1305 kg/ha) was obtained without water stress. There

was no significant difference in chlorophyll index between removing the top leaves of the plant and the inflorescence cover, but more chlorophyll index was obtained by removing the bottom leaves than when organs were not removed. In both treatments, removing the bottom leaves increased the chlorophyll index by 7.4% compared to not removing the leaves.

Conclusion: Studies confirm that removing the leaves at the plant's base increases the chlorophyll index of safflower plants. Additionally, the inflorescence cover plays a significant role in safflower seed and oil yield. Beginning with the flowering stage, safflower seed and oil yields are negatively impacted by water stress.

Keywords: Drought stress, Irrigation, Oil yield, Seed oil, Source and sink

تأثیر کودهای شیمیایی و ورمی کمپوست بر ویژگی‌های خاک مزرعه و غلظت عناصر غذایی دانه کینوا رقم Red در منطقه سیستان

افسانه سلطان‌زاده^۱، سید احمد قنبری^۲، اسماعیل سیدآبادی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

* مسئول مکاتبه: E.Seyedabadi@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320562.1170

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه و غلظت عناصر غذایی دانه گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشگاه زابل اجرا گردید. ورمی کمپوست به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد توصیه شده) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اثر تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی در تمام خصوصیات اندازه‌گیری شده (غلظت عناصر Zn, Fe, K, P, N در دانه و ماده آلی خاک) به‌جز غلظت پتاسیم محلول خاک، معنی‌دار بود. مصرف ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه ۱۰۰ درصد توصیه شده از کود شیمیایی منجر به افزایش نیتروژن دانه، فسفر دانه، پتاسیم دانه، روی دانه، آهن دانه و ماده آلی خاک به ترتیب به میزان ۱۸/۷۱، ۴۸/۷۱، ۱۶/۶۶، ۵/۹۷، ۵۰/۶۴ و ۱۱/۸۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شد. اثر ساده ورمی کمپوست بر غلظت پتاسیم محلول خاک معنی‌دار بود و غلظت این عنصر تحت اثر ساده کودهای شیمیایی و اثر تلفیقی ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی قرار نگرفت. بیشترین مقدار پتاسیم محلول خاک از تیمار ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد حدود ۲۹/۲ درصد افزایش داشت. نتایج کلی مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه کودهای شیمیایی باعث افزایش مواد آلی خاک و همچنین افزایش غلظت عناصر غذایی دانه کینوا گردید.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم دانه، کودهای آلی، ماده آلی خاک، نیتروژن دانه

مقدمه

کینوا گیاهی دولپه‌ای، از خانواده *Amaranthaceae* سه‌کربنه و هالوفیت اختیاری است که جزء شبه‌غلات دسته‌بندی می‌شود. مقاومت بالای این گیاه در برابر انواع تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری و خشکی موجب شده است که سازگاری وسیعی به شرایط مختلف اقلیمی داشته باشد (Bhargava et al., 2006). این گیاه دماهای بین ۱- تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و تا قبل از گل‌دهی یخ‌زدگی را تحمل می‌کند (Jancurova et al., 2009). کینوا را می‌توان در انواع مختلف خاک و pH بین ۶ تا ۸/۵ کشت نمود (Jancurova et al., 2009). خاک مطلوب این گیاه شنی-لومی تا لومی-شنی است (Sepahvand, 2013). در ایران ژنوتیپ‌های روزکوتاه کینوا در چهار منطقه سیستان و بلوچستان، خوزستان، جنوب استان کرمان و کرچ سازگاری نشان داده است (Sepahvand, 2013). در واقع اهمیت کشت کینوا به سبب ارزش غذایی آن است؛ به‌طوری‌که دانه‌های آن

تعیین نیاز غذایی گیاه از جنبه‌های بسیاری از جمله بهبود رشد گیاه و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی حائز اهمیت می‌باشد (Pasandi Pour and Farahbakhsh, 2017). کودهای آلی مانند ورمی کمپوست با افزایش فراهمی رطوبت و عناصر غذایی قابل‌دسترس گیاهان و به دنبال آن افزایش ماده آلی خاک سبب بهبود عملکرد گیاهان می‌شوند (Rigi et al., 2020). ورمی کمپوست از جمله کودهای آلی با pH تنظیم‌شده، دارای عناصر غذایی به فرم قابل جذب برای گیاه، سرشار از مواد هیومیک، دارای انواع ویتامین‌ها، هورمون‌های محرک رشد و آنزیم‌ها می‌باشد (Ngo et al., 2013). استفاده از این نوع کود نه تنها بر عملکرد گیاه تأثیرگذار است، بلکه بر ساختار و اصلاح خاک نیز به‌صورت چشم‌گیری مؤثر می‌باشد (Rigi et al., 2020).

در گزارشی دیگر مشخص شد که با مصرف کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری، عناصر آهن، روی و منگنز در شاخساره گیاه ذرت به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Najafi and Mohammadnejad, 2015). در پژوهشی مشابه، گزارش شده است که ماده آلی خاک، عملکرد، غلظت نیتروژن و فسفر در گیاه ذرت در اثر استفاده از کمپوست لجن فاضلاب افزایش یافته است (Saadat et al., 2012). همچنین تلفیق کودهای شیمیایی و کودهای زیستی موجب افزایش عملکرد گیاه کینوا نسبت به تیمار شاهد شده است (Amiryousefi et al., 2020).

از آنجایی که وضعیت اقلیمی اکثر مناطق ایران جهت رشد این گیاه مناسب می‌باشد و همچنین باتوجه به اینکه بررسی‌های محدودی در مورد اثر تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر جذب و غلظت عناصر غذایی در کینوا انجام شده است، ضروری است که خصوصیات این گیاه بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد؛ بنابراین این تحقیق در راستای توسعه کشاورزی پایدار با هدف انتخاب سطوح مناسب ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی و اثر آن‌ها بر غلظت عناصر در دانه کینوا رد (Red quinoa) و برخی ویژگی‌های خاک مزرعه در منطقه سیستان اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشگاه زابل اجرا گردید. طول و عرض جغرافیایی این منطقه به ترتیب ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۴۸۳ متر می‌باشد. بر اساس آمار هواشناسی، این منطقه جزء اقلیم‌های خشک و بسیار گرم، با میانگین بارندگی سالیانه ۶۳ میلی‌متر و دمای متوسط ۲۳ درجه سانتی‌گراد (حداکثر ۴۹ درجه سانتی‌گراد و حداقل ۷- درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. مطالعه حاضر به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی کود ورمی کمپوست در سه سطح شامل صفر، پنج و ۱۰ تن در هکتار و عامل فرعی، کود شیمیایی (اوره، سوپرفسفات‌تریپل و سولفات پتاسیم) در چهار سطح ۲۵ درصد توصیه شده (۱۲/۵ کیلوگرم اوره، ۲۵ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل و ۲۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم)، ۵۰ درصد توصیه شده (۲۵ کیلوگرم اوره، ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم)، ۷۵ درصد توصیه شده (۳۷/۵

کربوهیدرات، لیپید و پروتئین متعادلی را برای تغذیه انسان و دام فراهم می‌کند. همچنین دارای منبع غنی از عناصر (K, Fe, Zn)، آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین‌ها (B1, B2, C, E) می‌باشد (Khalili, 2019). لازم به ذکر است که وجود غلظت‌های مناسبی از عناصر آهن، روی و پتاسیم در گیاهان نه تنها سبب بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان می‌شود بلکه در زنجیره غذایی برای رشد و سلامتی انسان و دام ضروری می‌باشد (Najafi et al., 2019). توسعه کشت گیاهانی چون کینوا که از ارزش غذایی بالایی برخوردار است و همچنین قابلیت تولید و عملکرد بالا در زمین‌های زراعی با حاصلخیزی کم را دارا می‌باشد، می‌تواند در جهت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی تأثیر چشم‌گیری داشته باشد (Amiryousefi et al., 2020).

در یافته‌های محققین تأثیر کودهای شیمیایی بر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه کینوا مثبت گزارش شده است (Abugoch, 2017)؛ اما مصرف بی‌رویه، نامتعادل و ناهنگام کودهای شیمیایی، خسارت‌های جبران‌ناپذیری به اکوسیستم‌های طبیعی مختلف وارد می‌کند (Malakooti, 2000). همچنین استفاده مداوم از این کودها بدون کاربرد کودهای آلی موجب تخریب خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود و آلودگی زیست‌محیطی را نیز در پی خواهد داشت. درعین‌حال، مصرف کودهای شیمیایی در بوم‌نظام‌های زراعی را نباید به‌یک‌باره حذف کرد (Hosseinpour et al., 2015). کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی، یکی از راهکارهای مؤثر برای اصلاح ساختمان فیزیکی و شیمیایی خاک، تولید محصول و حفظ عملکرد در سطح مطلوب می‌باشد (Sharma, 2006). در بررسی اثر کودهای دامی و شیمیایی بر عملکرد علوفه، دانه و غلظت برخی از عناصر غذایی در دانه جو مشخص شد که بیشترین غلظت عناصر آهن، روی و منگنز در دانه، با کاربرد تیمار ۱۰۰ درصد کود دامی و تیمار ۵۰ درصد کود دامی به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی حاصل می‌گردد (Ghanbari et al., 2013). در تحقیقی دیگر اثر تلفیقی اوره با کود دامی و کمپوست بر غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف و سدیم در دانه، برگ و ساقه گندم بررسی گردید و نتایج نشان داد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره به همراه ۶۰ تن کود آلی در هکتار، غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز در اندام‌های مختلف را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد (Najafi et al., 2019).

پتاسیم) بود. قبل از انجام عملیات خاک‌ورزی، برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱) نمونه مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه گردید.

۷۵ کیلوگرم اوره، ۷۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۷۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم) و ۱۰۰ درصد توصیه شده (۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil at the test site

| بافت خاک Soil texture | شن Sand (%) | سیلت Silt (%) | رس Clay (%) | هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹) | اسیدیته pH | ماده آلی OM (%) | نیتروژن N (%) | فسفر P (ppm) | پتاسیم K (ppm) |
|--------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---|---------------|-----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| لومی-شنی Sandy loam | 70 | 17 | 13 | 1.36 | 7.73 | 0.83 | 0.05 | 14.8 | 256.4 |

اسیدآسکوربیک اصلاح شده (Karla, 1997)، درصد عنصر پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر، غلظت عناصر روی و آهن با دستگاه جذب اتمی و درصد ازت نیز پس از سنجش میزان پروتئین اندازه‌گیری شد. در پایان پس از رسم منحنی استاندارد برای عناصر آهن و روی مقدار آن‌ها بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک محاسبه گردید (Tabatabai, 2009). جهت اندازه‌گیری کربن آلی خاک از روش والکلی بلاک (Walkley and Black, 1934) و جهت به‌دست آوردن درصد ماده آلی خاک از رابطه ۱ استفاده شد (Ehyaei and Behbahani, 1997).

رابطه (۱) $OC \times 1.724 = \text{درصد ماده آلی}$

تجزیه آماری داده‌های حاصل از آزمایش و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و به کمک نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام گرفت.

نتایج و بحث

غلظت نیتروژن در دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نسبت‌های کودی مختلف بر غلظت نیتروژن موجود در دانه اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش هر یک از کودهای ورمی کمپوست و کود شیمیایی نیتروژن دانه افزایش می‌یابد. استفاده از ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه ۷۵ درصد کود شیمیایی باعث افزایش غلظت نیتروژن دانه به میزان ۱۷/۴۶ نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین در ترکیب کودی ۷۵ درصد شیمیایی با ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار افزایش این عنصر دانه به میزان ۱۳/۵۵ درصد بوده است (جدول ۳).

پس از انجام عملیات شخم و دیسک، ابعاد کرت‌های اصلی ۲ × ۵/۵ مترمربع و ابعاد هر کرت فرعی ۲ × ۱ مترمربع در نظر گرفته شد. به طوری که فاصله بین دو بوته از هم ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین دو ردیف از هم ۲۵ سانتی‌متر و طول خطوط کاشت دو متر بود و مساحت زمین ۲۵۰ مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از کاشت، کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به زمین اضافه شد. کود نیتروژن هم از منبع اوره به صورت سرک در سه مرحله: قبل از کاشت، در مرحله ۶-۸ برگی و قبل از گلدهی استفاده شد. عملیات کاشت بذر کینوا در تاریخ ۲۰ آبان ۱۳۹۸ به روش خشکه‌کاری و به صورت دستی انجام شد. پس از اطمینان از سبز شدن و استقرار کامل گیاه چه اقدام به تنک کردن بوته‌ها شد. در دو نوبت، عملیات تنک و وجین علف‌های هرز در مراحل ۴-۶ و ۸-۶ برگی به صورت دستی انجام شد. در طول اجرای طرح، آفت یا بیماری در مزرعه مشاهده نگردید. عملیات برداشت در نیمه دوم فروردین سال ۱۳۹۹ انجام شد.

به منظور سنجش غلظت عناصر معدنی دانه کینوا از هر کرت به صورت تصادفی ۱۰ بوته انتخاب شد. سپس دانه از کاه و کلش جدا شد. سپس ۲ گرم از هر نمونه را توزین نموده در هاون چینی ریخته و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت در کوره الکتریکی قرار داده تا به خاکستر تبدیل شدند، به هر نمونه خاکستر شده ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال اضافه کرده و روی هیتر با دمای ۷۰ درجه قرار داده تا زمانی که بخار سفید رنگی از آن خارج شد، بعد از سرد شدن ۱۰ میلی‌لیتر از هر نمونه را از کاغذ صافی عبور داده و ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن‌ها افزوده شد. بدین ترتیب جذب محلول به منظور سنجش فسفر در طول موج ۴۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر و روش

جدول ۲- تجزیه واریانس غلظت عناصر موجود در دانه کینوا و ماده آلی خاک

Table 2- Analysis of variance of element concentrations in quinoa seeds and soil organic matter

| منابع تغییرات SOV | درجه آزادی df | نیتروژن دانه Grain N | فسفر دانه Grain P | پتاسیم دانه Grain K | روی دانه Grain Zn | آهن دانه Grain Fe | پتاسیم خاک Soil K | ماده آلی خاک Soil OM |
|--|---------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| تکرار Replication | 2 | 901.82 ^{ns} | 0.00009 ^{ns} | 39194.66 ^{ns} | 45.21 ^{ns} | 0.0008 ^{ns} | 722.19 ^{ns} | 0.09 ^{ns} |
| ورمی کمپوست (a) Vermicompost (a) | 2 | 177493.99 ^{**} | 0.001 ^{**} | 60707.1 ^{ns} | 250.38 ^{**} | 0.23 ^{**} | 912.52 ^{**} | 0.07 ^{**} |
| خطای اصلی Main error | 4 | 357.39 | 0.0003 | 34479.27 | 27.82 | 0.004 | 59.19 | 0.015 |
| کود شیمیایی (b) Chemical fertilizer (b) | 3 | 150748.92 ^{**} | 0.003 ^{**} | 57881.54 ^{**} | 142.17 ^{**} | 0.03 ^{**} | 64.70 ^{ns} | 0.06 ^{ns} |
| ورمی کمپوست × کود شیمیایی a×b | 6 | 315740.59 ^{**} | 0.006 ^{**} | 225628.52 ^{**} | 144.54 ^{**} | 0.08 ^{**} | 214.34 ^{ns} | 0.22 ^{**} |
| خطای فرعی Sub error | 18 | 379.62 | 0.0004 | 38011.70 | 22.28 | 0.003 | 87.04 | 0.049 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | - | 8.07 | 4.76 | 15.60 | 5.39 | 6.07 | 6.03 | 3.31 |

ns و **: به ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی دار و تفاوت معنی داری در سطح آماری ۱ درصد می باشند.

ns and **: show no significant difference and significant difference at the statistical level of 1%.

جدول ۳- مقایسات میانگین غلظت عناصر موجود در دانه کینوا و ماده آلی خاک

Table 3- Comparisons of average concentrations of elements in quinoa seeds and soil organic matter

| سطوح ورمی کمپوست Vermicompost levels (tons/ha) | سطوح کود شیمیایی Fertilizer levels (%) | نیتروژن دانه Grain N (%) | فسفر دانه Grain P (%) | پتاسیم دانه Grain K (%) | روی دانه Grain Zn (mg/kg) | آهن دانه Grain Fe (mg/kg) | ماده آلی خاک Soil OM (%) |
|--|--|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 0 | 25 | 0.142 ^l | 0.26 ^e | 0.085 ^e | 77.54 ^d | 59.09 ^j | 0.89 ^d |
| | 50 | 0.154 ^l | 0.38 ^d | 0.126 ^{abcd} | 81.87 ^{cd} | 70.27 ^e | 0.90 ^d |
| | 75 | 0.166 ⁱ | 0.39 ^d | 0.130 ^{abc} | 76.53 ^d | 68.18 ^f | 0.92 ^{cd} |
| | 100 | 0.203 ^c | 0.39 ^d | 0.132 ^{abc} | 86.73 ^{bc} | 62.12 ⁱ | 0.93 ^c |
| 5 | 25 | 0.146 ^k | 0.40 ^d | 0.104 ^{cde} | 82.55 ^{cd} | 67.77 ^g | 0.93 ^c |
| | 50 | 0.170 ^h | 0.41 ^d | 0.114 ^{bcde} | 89.23 ^{bc} | 62.32 ⁱ | 0.94 ^{bc} |
| | 75 | 0.189 ^e | 0.43 ^c | 0.125 ^{abcd} | 88.66 ^{bc} | 63.43 ^h | 0.95 ^{bc} |
| | 100 | 0.208 ^b | 0.44 ^c | 0.148 ^{ab} | 95.37 ^{ab} | 56.26 ^k | 0.96 ^b |
| 10 | 25 | 0.178 ^s | 0.45 ^c | 0.089 ^{de} | 89.74 ^{bc} | 82.02 ^d | 0.96 ^b |
| | 50 | 0.184 ^f | 0.46 ^c | 0.141 ^{abc} | 102.67 ^a | 90.11 ^b | 0.98 ^{ab} |
| | 75 | 0.195 ^d | 0.53 ^b | 0.145 ^{ab} | 86.48 ^{bc} | 84.25 ^c | 1.01 ^a |
| | 100 | 0.241 ^a | 0.58 ^a | 0.154 ^a | 91.91 ^b | 93.58 ^a | 1.04 ^a |

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک اختلاف آماری معنی داری ندارند.

In each column, the means with common letters do not have a statistically significant difference.

گیاه و در نتیجه افزایش غلظت فسفر جذب شده توسط گیاه می‌گردد (Salehi *et al.*, 2011). یافته‌های محققین دیگر نیز نشان‌دهنده افزایش غلظت فسفر دانه کینوا با افزایش مصرف کود اوره است (Papan *et al.*, 2021). همچنین افزایش فسفر دانه با کاربرد کودهای دامی (Safarzadeh Shirazi *et al.*, 2019)، ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی (Uddin *et al.*, 2012) نیز گزارش شده است.

غلظت پتاسیم در دانه

طبق نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها، برهم‌کنش ورمی کمپوست با کودهای شیمیایی بر غلظت پتاسیم موجود در دانه در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری نشان داد؛ اما اثر ساده ورمی کمپوست بر غلظت این عنصر اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). باتوجه به نتایج مقایسات میانگین، بیشترین غلظت پتاسیم دانه با مصرف ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و کمترین مقدار این عنصر در استفاده تنها ۲۵ درصد کود شیمیایی به دست آمد. لذا غلظت پتاسیم دانه در اثر استفاده از کود شیمیایی افزایش یافته است (جدول ۳). می‌توان بیان نمود که نیتروژن سبب افزایش جذب کاتیون‌ها می‌شود و با جذب نیتروژن توسط گیاه، افزایش نسبی در میزان جذب عناصر غذایی دیگر در گیاه به وجود می‌آید (Amjadian *et al.*, 2018). محققین اظهار داشتند که کود ورمی کمپوست باعث افزایش قابل‌توجهی از عناصر غذایی ضروری به‌صورت قابل جذب برای گیاه می‌شود (Ngo *et al.*, 2013). همچنین با افزایش سطوح و دفعات به‌کارگیری ورمی کمپوست در خاک، غلظت عناصر غذایی در خاک افزایش پیدا می‌کند (Matos and Arrunda, 2003)؛ بنابراین با کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست به همراه کودهای شیمیایی، بین عناصر کم‌مصرف و پرمصرف تعادل برقرار می‌شود که منجر به جذب بیشتر پتاسیم در گیاه می‌گردد (Amjadian *et al.*, 2018).

غلظت روی در دانه

تیمارهای کودی مختلف بر میزان غلظت عنصر روی دارای اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بودند (جدول ۲). بیشترین تأثیر مربوط به تیمار ورمی کمپوست در سطح ۱۰ تن در هکتار و کودهای شیمیایی در سطح ۵۰ درصد با میزان

به نظر می‌رسد آزادسازی تدریجی ترکیبات نیتروژنه موجود در ورمی کمپوست در طول فصل رشد گیاه، باعث افزایش محتوای نیتروژن در گیاه گردیده است که در یافته‌های سایر محققین نیز به آن اشاره شده است (Mahmud *et al.*, 2018). در گزارش‌های محققین افزایش نیتروژن دانه با کاربرد کودهای آلی گزارش شده است (Rezaenejad and Afyuni, 2001). همچنین با افزودن کود شیمیایی به خاک، میزان نیتروژن خاک افزایش یافته و به تبع آن میزان جذب این عنصر توسط گیاه افزایش و با انتقال آن به دانه، درصد نیتروژن دانه کینوا افزایش می‌یابد (Papan *et al.*, 2021). با افزایش بیشتر عرضه کود نیتروژن، درصد نیتروژنی که به صورت آبشویی از دسترس خارج می‌شود کاهش یافته و بنابراین افزایش کود نیتروژن می‌تواند باعث افزایش نیتروژن موجود در دانه شود (Fathi *et al.*, 2020). یافته‌های سایر محققین نیز نشان‌دهنده افزایش غلظت نیتروژن دانه کینوا با افزایش مصرف کود نیتروژن است (Shams, 2012).

غلظت فسفر در دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کودهای مختلف بر غلظت فسفر موجود در دانه در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین می‌توان دریافت که کاربرد ورمی کمپوست به همراه کودهای شیمیایی تأثیر بیشتری در افزایش غلظت فسفر دانه دارد. در میان تیمارهای آزمایش، تیمار ورمی کمپوست در سطح ۱۰ تن در هکتار و کودهای شیمیایی در سطح ۱۰۰ درصد، در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۴۸/۷۲ درصد و در مقایسه با تیمار ۵ تن ورمی کمپوست در هکتار به میزان ۳۱/۸۱ درصد سبب افزایش غلظت فسفر دانه گردید (جدول ۳). مشخص شده است که با تجزیه شدن مواد آلی موجود در کودهای آلی همچون ورمی کمپوست، دی‌اکسید کربن تولید می‌شود. در نتیجه‌ی ترکیب شدن دی‌اکسید کربن با آب، اسید کربنیک تولید می‌شود که به نظر می‌رسد وجود این اسید در خاک‌های قلیایی، حلالیت ترکیبات فسفره را افزایش می‌دهد و در نهایت جذب این ترکیبات بهبود می‌یابد (Afzalinejad *et al.*, 2021). از سوی دیگر مصرف ورمی کمپوست از طریق بهبود فراهم کردن جذب عناصر غذایی و فعالیت میکروبی خاک، باعث افزایش بیوماس

(*et al.*, 2019). به نظر می‌رسد که تجزیه مواد آلی کودها، تشکیل اسیدهای آلی و افزایش اسیدکربنیک خاک را به دنبال داشته که در نهایت با کاهش pH خاک می‌تواند بر قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف مانند آهن اثر بگذارد. علاوه بر این، افزایش مقدار آهن قابل جذب خاک در اثر کاربرد کودهای آلی، می‌تواند به دلیل وجود مقدار قابل ملاحظه این فلز در این کودها باشد (Khadem *et al.*, 2014).

غلظت پتاسیم محلول خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست بر غلظت پتاسیم محلول خاک در سطح ۱ درصد اثر معنی‌دار داشت؛ اما کودهای شیمیایی و برهم‌کنش ورمی‌کمپوست با کودهای شیمیایی بر غلظت پتاسیم محلول خاک اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). با مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار غلظت پتاسیم محلول خاک به میزان ۲۹/۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد و به میزان ۱۲/۵۶ درصد در مقایسه با تیمار ۵ تن افزایش یافته است (جدول ۴). نتایج پژوهش‌گران بیانگر آن است که ورمی‌کمپوست دارای اکثر عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول برای خاک و رشد گیاه می‌باشد (Gutierrez *et al.*, 2007). در گزارش محقق دیگر بیان شده است که در فضولات کرم‌های خاکی مورد استفاده در ورمی‌کمپوست، مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به مقدار ۵-۱۱ برابر بیشتر از خاک می‌باشد (Smith, 1998). سایر محققین با بررسی تأثیر کاربرد زه‌آب مزرعه نیشکر و کود اوره بر برخی خصوصیات خاک و غلظت عناصر غذایی دانه کینوا، بیان کردند افزایش نیتروژن رابطه‌ی مستقیمی با افزایش پتاسیم محلول در خاک دارد؛ به طوری که بیشترین پتاسیم محلول خاک در تیمار آبیاری با زه‌آب مزرعه نیشکر و دو سطح کود اوره (۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) بود (Papan *et al.*, 2021).

۱۰۲/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۲۵/۹۲ درصد و در مقایسه با مصرف ۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار حدود ۱۴/۶۷ درصد باعث افزایش غلظت روی در دانه شد (جدول ۳). طبق نتایج پژوهش‌گران، خاک‌های آهکی دارای مواد آلی کمی بوده و pH بالای این خاک‌ها منجر به دسترسی کم گیاه به بعضی عناصر کم‌مصرف مثل روی می‌شود؛ بنابراین می‌توان با کاربرد کودهای آلی، ماده آلی خاک را افزایش داد و تا حد زیادی مشکل کمبود عناصر کم‌مصرف را رفع کرد (Khadem *et al.*, 2014). سایر محققین با بررسی برخی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر میزان عناصر پرمصرف و کم‌مصرف خاک تحت کشت کینوا گزارش کردند که با افزایش استفاده از کودهای آلی و شیمیایی به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک، غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، مس، آهن، منگنز و روی در گیاه کینوا افزایش می‌یابد (Rahimi Alashti, 2021).

غلظت آهن در دانه

اثرات ساده و متقابل سطوح مختلف کودی بر میزان غلظت عنصر آهن موجود در دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین غلظت عنصر آهن در دانه مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست در سطح ۱۰ تن در هکتار و کودهای شیمیایی در سطح ۱۰۰ درصد با میزان ۹۳/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که این مقدار بیانگر افزایش ۵۰/۶۴ درصدی غلظت آهن دانه در مقایسه با تیمار شاهد می‌باشد (جدول ۳). پژوهش‌ها نشان داده است که با افزایش نیتروژن، سطح آنزیم‌های انتقال‌دهنده عناصر کم‌مصرف و کلات‌هایی مثل نیکوتین‌آمید که در انتقال آهن نقش دارند، افزایش می‌یابد (Haydon and Cobbett, 2007). همچنین افزایش غلظت آهن در حضور کودهای آلی را می‌توان به بیشتر بودن غلظت آهن در این کودها نسبت به خاک مزرعه مربوط دانست (Najafi

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت عنصر پتاسیم محلول خاک

| سپتوح ورمی‌کمپوست Vermicompost levels (tons/ha) | پتاسیم محلول خاک Soil k (ppm) |
|---|-------------------------------------|
| 0 | 312 ^c |
| 5 | 358 ^b |
| 10 | 403 ^a |

ماده آلی خاک

(Ahmad Abadi *et al.*, 2012). یافته‌های سایر محققین نیز نشان می‌دهد که استفاده از کودهای آلی به‌تنهایی و یا به‌صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی منجر به افزایش محتوی کربن آلی خاک و عملکرد گیاه می‌گردد (Agegnehu *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه کودهای شیمیایی باعث مواد آلی خاک و همچنین افزایش غلظت عناصر غذایی دانه کینوا گردید. توسعه کشت گیاهانی چون کینوا که از ارزش غذایی بالایی برخوردار است و همچنین قابلیت تولید و عملکرد بالا در زمین‌های زراعی با حاصلخیزی کم را دارا می‌باشد، می‌تواند در جهت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی تأثیر چشم‌گیری داشته باشد؛ بنابراین با توجه به وضعیت اقلیمی مناسب منطقه سیستان، معرفی کینوا به‌عنوان گیاهی که قابلیت رشد در این منطقه را دارد، سبب می‌شود تا تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار، درآمد کشاورزان و امنیت غذایی در این منطقه افزایش یابد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان تحقیق بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه زابل (گرنه شماره ۹۷۱۸۵۳) تقدیر و تشکر می‌نمایند.

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص شد که کود ورمی کمپوست به‌تنهایی و همچنین همراه با کودهای شیمیایی بر ماده آلی خاک در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مقایسات میانگین داده‌ها، با مصرف ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار به همراه ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، افزایش ۱۱/۸۲ درصدی ماده آلی خاک نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد و بیشترین ماده آلی خاک با مقدار ۱/۰۴ درصد به دست آمد (جدول ۳). مشخص شده است که استفاده از کودهای شیمیایی به‌تنهایی سبب هیدرولیز کربن آلی خاک گشته و ماده آلی خاک را کاهش می‌دهد، درحالی‌که کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد (Akbari *et al.*, 2019). برخی از محققین با بررسی اثر کاربرد تیمارهای ورمی کمپوست بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، بهبود تمامی خصوصیات خاک، به‌ویژه افزایش درصد ماده آلی آن را گزارش کردند (Ahmad Abadi *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای دیگر نیز افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک با کاربرد کودهای آلی گزارش شده است (Rezaenejad and Afyuni, 2001). کاربرد ورمی کمپوست به همراه کودهای شیمیایی در خاک‌های زراعی، دارای تأثیر مثبت بر وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد؛ به‌طوری‌که کاربرد آن در خاک به‌عنوان کود باعث بهبود نفوذپذیری خاک، افزایش محتوای آب خاک، افزایش کربن آلی و ماده آلی خاک می‌گردد

References

- Abugoch, L.E.** 2017. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Food and Nutrition Research*, 58: 1-31.
- Afzalinejad, F., Ghasemi, S., Seyfati, S.E. and Shahbazi, S.** 2021. The effect of sewage sludge on the growth and some nutrient elements of three quinoa genotypes in a calcareous and saline soil. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 24(4): 127-139. (In Persian).
- Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N. and Bird, M.I.** 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543: 295-306.
- Ahmad Abadi, Z., Ghajar Sepanlou, M. and Rahimi Alashti, S.** 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 15(58): 125-137. (In Persian).
- Akbari, H. and Modarres-Sanavy, S.A.M.** 2019. Effects of nutritional management on yield, nitrogen use efficiency, soil organic carbon and nitrogen in canola-wheat crop rotation. *Agroecology*, 10(4): 1245-1257. (In Persian).

- Amiryousefi, M., Tadayan, R. and Ebrahimi, R.** 2020. Effect of chemical and biological fertilizers on some physiological traits, yield components and yield of quinoa plant. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(2): 1-17. (In Persian).
- Amjadian, E., Ghanbari, A. and Khamari, I.** 2018. Investigating management plant nutrition (organic and inorganic and blended fertilizers): on the accumulation and balance elements macro and micro in wheat seed (*Triticum aestivum* L.). *Agroecology*, 10(1): 186-202. (In Persian).
- Barari Tari, D., Fathi, A., Fallah, H. and Niknezhad, Y.** 2020. Effect of tillage systems and fertilization (NPK) on quantitative and qualitative traits of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(40): 102-115. (In Persian).
- Bhargava, A., Shukla, S. and Ohri, D.** 2006. *Chenopodium quinoa*- An India perspective. *Industrial Crops and Products*, 23: 73-78.
- Ehyaie, M. and Behbahani, A.A.** 1997. Description of soil chemical decomposition methods. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Soil and Water Research Institute. (In Persian).
- FAO (Food and Agriculture Organization).** 2011. "FAOSTAT: Production, Crops, Sugar beet, 2010 data". Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), available at: www.fao.org.
- Fathi, A., Kardoni, F., Bahamin, S., Khalil Tahmasebi, B. and Naseri, R.** 2017. Investigating the management strategy of the integrated system of organic and biological inputs on growth and yield characteristics in corn cultivation. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4(1): 137-156. (In Persian).
- Ghanbari, A., Esmailian, Y. and Babaiean, M.** 2013. Effect of livestock and chemical fertilizers on forage yield, grain and concentration of some nutrients in barley grain (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Environmental Ecophysiology*, 8(3): 23-36. (In Persian).
- Gutiérrez-Miceli, F.A., Santiago-Borraz, J., Molina, J.A.M., Nafate, C.C., Abud-Archila, M., Llaven, M.A.O. and Dendooven, L.** 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Bioresource Technology*, 98(15): 2781-2786.
- Haydon, M.J. and Cobbett, C.S.** 2007. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Physiologist*, 174: 499-506.
- Jancurova, M., Minarovicova, L. and Danar, A.** 2009. Quinoa-a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2): 71-79.
- Kalra, Y.** 1997. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press.
- Khadem, A., Golchin, A. and Zaree, E.** 2014. Effects of manure and sulfur on nutrients uptake by corn (*Zea mays* L.). *Applied Field Crops Research*, 27(103): 2-11. (In Persian).
- 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): 155-166. (In Persian).
- Mahmud, M., Abdullah, R. and Syafawati Yaacob, J.** 2018. Effect of vermicompost amendment on nutritional status of sandy loam soil, growth performance, and yield of pineapple (*Ananas comosus* var. MD2) under field conditions. *Agronomy*, 8(9): Article No. 183.
- Malakooti, M.J.** 2000. Sustainable agriculture and yield increment by optimum fertilizer utilization in Iran. Agricultural Extension Publications. (In Persian).
- Matos, G.D. and Arruda, M.A.Z.** 2003. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. *Process Biochemistry*, 39(1): 81-88.
- Najafi, N., Ahmadinezhad, R., Aliasgharzad, N. and Oustan, S.** 2019. Effects of urea integration with manure and two types of compost (municipal waste and sewage sludge) on concentrations of micronutrients and sodium in wheat leaf, stem and seed. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(3): 1-27. (In Persian).

- Najafi, N. and Mohammadnejad, A.** 2015. Differential concentrations of some nutrient element in forage of corn (*Zea mays* L.) as affected by organic fertilizers and soil compaction. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(4): 561-582. (In Persian).
- Ngo, P.T., Rumpel, C., Ngo, Q.A., Alexis, M., Vargas, G.V., Gil, M.D.L.L.M. and Jouquet, P.** 2013. Biological and chemical reactivity and phosphorus forms of buffalo manure compost, vermicompost and their mixture with biochar. *Bioresource Technology*, 148: 401-407.
- Papan, P., Moezzi, A., Choorom, M. and Rahnama, A.** 2021. The effect of urea fertilizer application and sugarcane field drainage on some soil properties, grain yield and nutrient concentrations in quinoa seeds. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(2): 71-90. (In Persian).
- Pasandi Pour, A. and Farahbakhsh, H.** 2017. Investigation of the NPK nutrition of henna ecotypes (*Lowsonia inermis* L.) based on photosynthetic and growth indices in Shahdad area. *Journal of Crop Ecophysiology*, 4(44): 821-836. (In Persian).
- Rahimi Alashti, S., Bahmanyar, M., Ghajarsepanlu, M., Sadegh Zade, F. and Mokhtassi, A.** 2021. The effect of some organic and mineral amendments on soil macronutrient and micronutrient under quinoa cultivation in stress status (water). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(2): 25-48. (In Persian).
- Rezaenejad, Y. and Afyuni, M.** 2001. Effect of organic matter on soil chemical properties and corn yield and elemental uptake. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4(4): 19-29. (In Persian).
- Rigi, S.D., Dahmardeh, M., Khammari, I. and Moosavi Nik, S.M.** 2020. Evaluation of organic fertilizers on yield and yield components in intercropping of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) and cow pea (*Vigna unguiculata* L.). *Agroecology*, 12(2): 211-226. (In Persian).
- Saadat, K., Barani, M.M., Dordipour, E. and Ghasemnezhad, A.** 2012. Influence of sewage sludge on some soil properties, yield and concentration of lead and cadmium in roots and shoots of Maize. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 2(2): 27-48. (In Persian).
- Safarzadeh Shirazi, S., Karami, S. and Golmakani, M.T.** 2019. Effect of some organic and chemical amendments on some micro and macronutrient uptake in spinach. *Applied Soil Research*, 7(3): 122-133. (In Persian).
- Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkan, F. and Asgharzadeh, A.** 2011. The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(2): 188-201. (In Persian).
- Shams, A.S.** 2012. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions. *Proceeding of 13th International Conference of Agronomy*, Benha University, Egypt, 9-10 September. 195-205.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.** 2006. Heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, India. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 77(2): 312-318.
- Smith, K.** 1998. Practical guide to raising earthworm (basic vermiculture information) KW rabbit and worm. *Bioresource Technology*, 84(2): 191-196.
- Tabatabai, S.J.** 2009. *Principles of mineral nutrition of plants*. First Edition, Author Publications, 389 p. (In Persian).
- Uddin, M., Kashem, A. and Osman, K.T.** 2012. Effect of organic and inorganic fertilizers on phytoavailability of phosphorus to water spinach (*Ipomoea aquatica* cv. Kankon). *ARPJN Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(3): 152-156.
- Walkley, A.J. and Black, I.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.

Effect of chemical fertilizers and vermicompost on the field soil properties and nutrient concentrations of quinoa seed (Red cultivar) in Sistan region

Afsaneh SoltanZadeh¹, Ahmad Ghanbari², Esmael Seyedabadi^{2*}

¹ Msc graduate of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

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

*Corresponding Author: E.Seyedabadi@uoz.ac.ir

Received: 19 December 2021 Accepted: 18 February 2022 DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320562.1170

Abstract

Introduction: Quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds are an excellent source of antioxidants, vitamins (B1, B2, C, E), and minerals (K, Fe, and Zn). Considering its nutritional value, the cultivation of quinoa is crucial. This plant can produce high yields in soils with low fertility. Various natural ecosystems are irreparably harmed by the misuse and imbalanced application of chemical fertilizers. In addition, continuous use of these fertilizers without organic fertilizers will degrade the soil's physical, chemical, and biological properties, leading to environmental degradation. The use of organic fertilizers such as vermicompost increases plant yield and improves soil structure by increasing the amount of available water and nutrients to plants, followed by an increase in the soil's organic matter content. In this study, we proposed optimal levels of vermicompost and chemical fertilizers and evaluated their impact on the elemental content of red quinoa and certain soil properties in the Sistan region.

Materials and Methods This research was conducted on the research farm of the University of Zabol during the 2019-2020 growing season. The experiment was conducted using split plots in randomized complete block designs with three replications. In this experiment, three levels of vermicompost were considered for the main plot (zero, five, and ten tons per hectare), while four levels of chemical fertilizer were considered for the subplot (25, 50, 75, and 100 percent). To determine the physical and chemical properties of the soil, samples were taken from a depth range of 0 to 30 cm prior to the commencement of tillage. Before planting, triple superphosphate and potassium sulfate fertilizers were added to the soil. Before planting, during the 6-8 leaf stage, and prior to flowering, nitrogen fertilizer derived from urea is applied. After harvest, the proportion of soil organic matter and grain elements was determined. SAS software (version 9.1) was used for statistical analysis and mean comparison.

Results and Discussion: According to the results, the combined effect of vermicompost and chemical fertilizers was significant for all measured properties with the exception of the concentration of soil-soluble potassium (concentrations of N, P, K, Fe, and Zn in grain, and soil organic matter). Compared to the control treatment, the amount of seed elements such as nitrogen, phosphorus, potassium, zinc, and iron as well as soil organic matter increased by 18.71, 48.71, 16.66, 5.97, 50.64, and 11.82%, respectively, when 10 tons of vermicompost was applied per hectare with 100 percent of the recommended chemical fertilizers. Vermicompost had a significant effect on the concentration of soluble potassium in the soil, but the concentration of this element was unaffected by the combined effects of vermicompost and chemical fertilizers. The highest amount of soil-soluble potassium was produced by 10 tons of vermicompost per hectare, which increased by approximately 29.2% compared to the control treatment.

Conclusion: In conjunction with chemical fertilizers, 10 tons of vermicompost per hectare increased soil organic matter and quinoa nutrient concentrations. Development of high-nutritional-value crops that can be grown on low-fertility arable land, such as quinoa, can significantly reduce the use of chemical inputs. Due to the favorable climatic conditions, the introduction of quinoa as a plant that grows in the Sistan region will increase the region's crop diversity, sustainable production, farmer incomes, and food security.

Keywords: Organic fertilizers, Seed nitrogen, Seed potassium, Soil organic matter

شناسایی ارقام گندم نان و دوروم مناسب کاشت در منطقه ارزوئیه استان کرمان

محمدعلی جواهری^۱

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

* مسئول مکاتبه: Javaheri310@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.329727.1191

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ / ۰۲ / ۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ / ۱۱ / ۲۵

چکیده

در شهرستان ارزوئیه کاشت غالب گندم منطقه رقم چمران به منظور تولید نان و رقم یاوارس به عنوان گندم دوروم می‌باشد. با توجه به معرفی ارقام جدید، ضروری است تا ارقام دیگر در صورت داشتن برتری بر ارقام رایج، به کشاورزان معرفی گردند. در این آزمایش عملکرد ۱۱ رقم گندم نان (*Triticum aestivum*) و گندم دوروم (*Triticum turgidum var. durum*) (رقم چمران به عنوان شاهد به همراه ارقام شوش، پارسی، سیوند، سیروان، چمران ۲، شبرنگ، افلاک، بهرنگ، بهاران، مهرگان) در منطقه گرم ارزوئیه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو سال از نظر عملکرد و اجزای عملکرد با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. ارقامی (مانند شبرنگ) که عملکرد دانه بالایی از خود نشان دادند، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بیشتری هم داشتند. همچنین وزن هزار دانه با تعداد دانه در سنبله و طول سنبله همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد. تعداد دانه در سنبله با طول سنبله نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد. همچنین رقم شبرنگ با عملکرد ۸/۰۴ تن در هکتار بیشترین و رقم چمران با عملکرد ۶/۳۲ تن در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. رقم بهرنگ با وزن هزار دانه ۴۶ گرم بیشترین وزن هزار دانه را داشت. با توجه به نتایج این تحقیق توصیه می‌گردد رقم دوروم شبرنگ جایگزین ارقام مرسوم دوروم (یاوارس) گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد ارقام گندم نان مهرگان و پارسی نیز جایگزین رقم گندم (نان) چمران در منطقه ارزوئیه گردند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شبرنگ، ضرایب همبستگی، عملکرد، مهرگان

مقدمه

۵۹۲۸۷۲۸ هکتار می‌باشد که از این مقدار حدود ۹۷ درصد سهم گندم نان است (Anonymous, 2018). افزایش جمعیت در سراسر جهان و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه امکانات موجود را چنان تحت تأثیر قرار داده است که به منظور تأمین غذای مورد نیاز این جمعیت افزایش یافته، استفاده از ارقام جدید با پتانسیل بالای عملکرد، لازم و ضروری می‌باشد (Ahmadi et al., 2017). برای به دست آوردن حداکثر عملکرد دانه، باید وضعیت اجزای عملکرد در حد مطلوب باشد به همین دلیل لازم است که در تجزیه و تحلیل میزان عملکرد، اجزای عملکرد نیز به دقت مورد بررسی قرار گیرند (Hosseinpour et al., 2014).

با توجه به خصوصیات موجود در ارقام گندم دوروم از قبیل تحمل به خشکی، تحمل به گرما، مقاومت به بیماری‌ها به‌ویژه بیماری‌های زنگ و سیاهک‌ها، توانایی تحمل شرایط نامساعد خاک، داشتن میزان پروتئین بالا در دانه (حدود ۱۴ درصد) و با در نظر گرفتن رشد جمعیت و نیاز روز افزون صنایع غذایی و

گندم (*Triticum sp.*) به‌عنوان برجسته‌ترین گیاه زراعی جهان بوده که بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است (Yousefimoqhadam et al., 2018). مهم‌ترین گونه‌های زراعی گندم عبارت‌اند از گندم نان و گندم دوروم. گندم‌های گونه دوروم که از لحاظ تیپ رشد بهاره و پاییزه هستند، تنها در حدود ۸ درصد از کل اراضی زیر کشت گندم را در جهان شامل می‌شوند و در مناطقی که شرایط برای تولید گندم نان مناسب نیست از محصولات مهم زراعی محسوب می‌شوند (Srivastava, 1984; Fabriani and Lintas, 1988). توجه به این مطلب که ایران رتبه هفتم جهان را از نظر حجم بالای مصرف گندم، به‌خود اختصاص داده است، افزایش تولید این گیاه به کاهش قیمت غذا و نسبت فقر، کمک شایان توجهی خواهد کرد (Chen et al., 2007). بر اساس آخرین آمار کشور، میزان تولید گندم معادل ۱۴۵۹۲۰۰۳ تن دانه از مساحت

گردید، با میانگین عملکرد ۶۳۹۴ کیلوگرم در هکتار حدود چهار درصد برتر از شاهد کرخه (با عملکرد ۶۱۳۹ کیلوگرم در هکتار) بود. لاین جدید علاوه بر عملکرد بهتر دارای پایداری عملکرد دانه مطلوبی نیز بود. این لاین از نظر کیفیت سمولینا و درصد پروتئین نیز در گروه خوب قرار داشت. بررسی‌های تحقیقی-ترویجی و تحقیقی-تطبیقی در مزارع زارعین مناطق مختلف استان‌های لرستان، سیستان و بلوچستان و کرمانشاه نیز برتری تقریباً ۲۰ درصدی این لاین (با میانگین عملکرد ۶۵۴۱ کیلوگرم در هکتار) را در مناطق گرم و خشک جنوب نسبت به شاهد کرخه (با میانگین عملکرد ۵۴۸۶ کیلوگرم در هکتار) نشان داد.

با توجه به نتایج مطالعات انجام شده که نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد بالا، سازگاری و پایداری عملکرد بالا، تحمل نسبتاً خوب آن به گرمای آخر فصل، کیفیت بالای سمولینا و مقاومت به بیماری‌های زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای می‌باشد، نام-گذاری آن برای کشت در مناطق گرم کشور پیشنهاد و نهایتاً با نام رقم جدید شبرنگ معرفی گردید (Najafi Mirak et al., 2016).

مهرگان —————
OASIS/SKAUZ/4*BCN/3/2*PASTOR

خزانه بین‌المللی دریافتی از مرکز تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) است که در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، در کرج مورد ارزیابی قرار گرفت، انتخاب شد. این رقم در آزمایش سازگاری اقلیم گرم و خشک جنوب که در سال‌های زراعی ۸۹-۱۳۸۷ به مدت دو سال زراعی و در شش ایستگاه اقلیم گرم و خشک جنوب کشور اجرا شد، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این رقم دارای پایداری عملکرد دانه در ایستگاه‌های مورد ارزیابی بود. پتانسیل عملکرد بالا، تحمل نسبتاً خوب آن به گرمای آخر فصل، زودرسی نسبی، مقاومت قابل قبول به بیماری‌های زنگ زرد، قهوه‌ای و سیاه و کیفیت نانوائی خوب از ویژگی‌های مهم این رقم می‌باشد (Esmailzadeh Moghaddam et al., 2017).

رقم پارسی (لاین) M-84-17 در سال زراعی ۷۴-۱۳۷۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زرقان از تلاقی لاین گندم آبی "S" Buc / "S" Dove که از لاین‌های اصلاح شده در مرکز تحقیقات بین‌المللی ذرت و گندم (CIMMYT)

تبدیلی (ماکارونی سازی، تولید نشاسته، بیسکویت) به مواد اولیه مورد نیاز، لزوم دسترسی به ارقام و لاین‌های گندم دارای صفات مطلوب حائز اهمیت است (Sadeghzadeh Ahari et al., 2005). با توجه به استراتژیک بودن گندم به‌عنوان غذای پایه کشور و لزوم تداوم خودکفایی در تولید این گیاه، افزایش روزافزون نیاز به تولید بیشتر این محصول، اهمیت افزایش تنوع در ارقام موجود در کشور که در نهایت سبب بالا بردن توان تولید کشاورزان می‌شود، اهمیت جایگزینی ارقام موجود (به دلیل شکسته شدن مقاومت در مقابل آفات و بیماری‌ها و دستیابی به ارقام پرمحصول تر و تطبیق هر چه بیشتر یافته‌های تحقیقاتی با شرایط زارعین شایان توجه است. طرح‌های مقایسه عملکرد و سازگاری جهت دستیابی به ارقام جدید گندم و همچنین طرح‌های انتقال یافته‌ها به مزارع کشاورزان در اکثر مراکز تحقیقاتی بین‌المللی گندم دنیا انجام می‌شود. در کشور ما نیز این طرح‌ها سال‌های متمادی است که انجام می‌شود و حاصل این بررسی‌ها معرفی ارقام جدید گندم بوده است. اجرای طرح‌های تحقیقی در کشور نتایج بسیار مؤثری در معرفی، توسعه و ترویج ارقام جدید داشته است (Esmailzadeh Moghaddam, 2013).

گندم دوروم رقم شبرنگ (لاین DW-81-18) با میانگین عملکرد ۶۶۴۰ کیلوگرم در هکتار، به عنوان رقم مناسب برای کشت در اراضی واقع در مناطق گرم کشور از جمله استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان، ایلام، بوشهر، هرمزگان، مناطق گرم استان‌های کرمان، فارس، لرستان، کرمانشاه توصیه می‌شود. این لاین در سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸ در سه ایستگاه تحقیقاتی گرم کشور مورد ارزیابی قرار گرفت و با میانگین عملکرد ۴۵۷۲ کیلوگرم در هکتار به عنوان یکی از لاین‌های برتر انتخاب گردید. در سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ نیز با عملکرد ۴۶۷۸ کیلوگرم در هکتار به همراه تعداد ۳۶ لاین دیگر انتخاب و به آزمایش مقایسه عملکرد پیشرفته سراسری اقلیم گرم وارد گردید. در سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰، این لاین با میانگین عملکرد ۶۸۸۵ کیلوگرم در هکتار به آزمایش سازگاری و مقایسه عملکرد لاین‌های امیدبخش گندم دوروم در اقلیم گرم و خشک جنوب (ERDYT-W) راه یافت. در آزمایشات سازگاری که برای دو سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ و در پنج ایستگاه تحقیقاتی مناطق گرم و خشک جنوب کشور اجرا

علیت می‌توان اثر غیرمستقیم هر یک از اجزای عملکرد را از اثر مستقیم آن جزء ویژه بر عملکرد، مجزا کرد و در واقع اثر غیرمستقیم از ارتباط متقابل بین اجزا ایجاد می‌شود (Mehmet and Tetal, 2006).

شهرستان ارزوئیه به عنوان قطب تولید گندم در استان کرمان شناخته می‌شود. گندم یکی از عمده‌ترین محصولات زراعی منطقه می‌باشد که در تأمین خوراک مردم و اقتصاد منطقه نقش بسزایی دارد. سطح زیر کشت بالای گندم در این شهرستان مهم‌ترین منبع درآمد کشاورزان است. لذا با توجه به اهمیت و جایگاه گندم در منطقه ضرورت دارد ارقام زودرس و دارای عملکرد مطلوب که بهره‌وری بیشتری داشته و بتوانند از قابلیت‌های زراعی و محیطی موجود بهتر استفاده کنند شناسایی گردند. معرفی ارقام برتر دوروم و نان که بتوانند جایگزین ارقام قدیمی و رایج منطقه گردند از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه اجرای آزمایش

دشت ارزوئیه در فاصله صد کیلومتری جنوب غربی شهرستان بافت واقع شده و دارای مختصات جغرافیایی ۲۵' و ۵۶° طول شرقی، و ۲۹' و ۲۸° عرض شمالی است. فاصله آن از مرکز استان ۲۵۰ کیلومتر و ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریای آزاد ۱۱۵۰ متر است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه دارای آب و هوای بیابانی گرم خفیف می‌باشد. این شهرستان دارای زمستان‌های معتدل و نسبتاً مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین درجه حرارت حداکثر سالانه آن ۳۱/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین درجه حرارت حداقل سالانه آن ۱۵/۴۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۶۰ میلی‌متر می‌باشد. درجه حرارت حداقل مطلق آن نیز ۱۱/۴- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

قالب طرح آزمایشی و تیمارها

در این آزمایش عملکرد کمی و برخی صفات زراعی ۱۱ رقم بهاره گندم نان و دوروم (رقم چمران به‌عنوان شاهد به همراه ارقام شوش، پارسی، سیوند، سیروان، چمران ۲، شبرنگ، افلاک، بهرنگ، بهاران، مهرگان) در منطقه گرم ارزوئیه (استان کرمان) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت. ارقام

به‌عنوان پایه مادری و رقم گندم داراب به‌عنوان پایه پدری به‌دست آمد. در سال زراعی ۷۵-۱۳۷۴ با رقم نسل F1 حاصل شده مجدداً با رقم داراب تلاقی داده شد. نسل F1 حاصله با شجره $Dove''s''/Buc''s''//2*Darab$ در سال زراعی ۷۶-۱۳۷۵ مورد ارزیابی قرار گرفت و بذر آن به‌عنوان نسل برتر برای کاشت، ارزیابی و انتخاب در نسل F2 در ایستگاه زرقان در نظر گرفته شد. با توجه به پتانسیل عملکرد بالا، مقاومت به بیماری زنگ زرد و نژاد Ug99 زنگ سیاه و همچنین کیفیت نانویی خیلی خوب و خصوصیات خوب زراعی از جمله زودرسی، جهت کاشت در مزارع آبی کشور پیشنهاد گردید (Najafian et al., 2010).

به‌منظور بررسی صفات فنولوژیکی ارقام تجاری گندم نان آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار در مزرعه آزمایشی شماره یک گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. تیمارها شامل ۱۰ رقم تجاری گندم نان به نام‌های سیستان، دز، چمران ۲، کویر، روشن، پیش‌تاز، مهرگان، شوش، وریناک و چمران بودند. رقم مهرگان با ۷۶۸۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را در بین ارقام داشته و نسبت به رقم شاهد چمران (۶۳۴۶/۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بهتری را نشان داد (Mousavi et al., 2016).

گندم نان رقم سیروان با شجره PRL/2*PASTOR دارای عملکرد بالا، متحمل به کم‌آبی آخر فصل و کیفیت نانویی خوب در سال ۱۳۹۱ برای کاشت در شرایط تنش رطوبتی انتهای فصل مناطق معتدل کشور معرفی گردید (Najafian et al., 2012). گندم سیروان دارای وزن هزار دانه زیاد، قدرت پنجه‌زنی بسیار بالا و مقاومت مناسب به خوابیدگی بوته، نسبتاً زودرس و سازگار به اقلیم گرم تا معتدل می‌باشد. به دلیل متحمل بودن این رقم به زنگ زرد جایگزین مناسبی برای رقم چمران است (Najafian et al., 2012).

گندم نان رقم افلاک (S-80-18) رقمی است متوسط‌ترس، دارای ارتفاع متوسط، حساس به ریزش دانه و خوابیدگی بوته، مناسب تاریخ‌های کشت زود هنگام و سازگار به مناطق گرم است. رقم افلاک جزو ارقام متحمل به گرما به حساب می‌آید (Esmaeilzadeh Moghaddam et al., 2011). برتری تجزیه علیت (مسیر) بر ضرایب همبستگی این هست که از طریق تجزیه

داشت و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی (وجین) به‌طور یکسان در کلیه کرت‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری‌ها و تحلیل داده‌ها

پس از رسیدن فیزیولوژیکی ارقام، برداشت در هر کرت از چهار خط وسط و پس از حذف نیم‌متر از دو طرف هر خط صورت پذیرفت. یادداشت‌برداری‌های لازم در طول انجام پروژه تا برداشت مانند تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله انجام پذیرفت. جهت تعیین ارتفاع بوته و اجزای عملکرد در زمان رسیدگی تعداد ۳۰ بوته در مرحله رسیدگی کامل به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب گردید. میانگین ارتفاع گیاه از سطح خاک تا انتهای سنبله به‌عنوان ارتفاع بوته هر رقم یادداشت گردید. سپس نسبت به شمارش دانه در سنبله و اندازه‌گیری طول سنبله اقدام گردید. وزن هزار دانه با نمونه‌گیری تصادفی از عملکرد دانه هر کرت و شمارش تعداد ۱۰۰۰ دانه در سه نوبت و توزین آن‌ها به‌دست آمد. میانگین اندازه‌گیری و شمارش‌ها برای هر تیمار و در هر کرت یادداشت گردید. عملکرد دانه نیز برای هر تیمار، بر اساس کل سطح برداشت کرت و بعد از بوجاری محاسبه گردید. سپس بر اساس داده‌های حاصل تجزیه واریانس داده‌ها در سال صورت پذیرفت. بعد از نتایج آزمون بارتلت اقدام به تجزیه واریانس مرکب توسط نرم‌افزار SAS و انجام مقایسه میانگین به روش LSD و تفسیر نتایج حاصل گردید.

دوروم شبرنگ و بهرنگ بوده و چمران، شوش، پارسی، سیوند، سیروان، چمران ۲، افلاک، بهاران و مهرگان جزو ارقام نان می‌باشند. آزمایش در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و در هر دو سال در مزرعه‌ای که سال قبل آیش بوده کشت گردید. قبل از کاشت جهت آماده‌سازی زمین از گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک سبک عمود بر هم استفاده گردید. بذور با استفاده از قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به‌مقدار دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان بذر هر رقم بر اساس ۴۵۰ دانه در مترمربع صورت گرفت. بذرها در هر کرت در شیارهای تعبیه‌شده به‌صورت دستی قرار گرفتند و روی آن‌ها با ۳ سانتی‌متر خاک پوشانده شد. در سال اول تاریخ کاشت هفتم آذر ماه و تاریخ برداشت سوم خرداد سال بعد بوده است. در سال دوم کاشت در تاریخ بیست و پنجم آبان‌ماه و برداشت در تاریخ دهم خرداد سال بعد صورت گرفت. هر رقم در شش خط شش‌متری و با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر کشت گردید و فاصله بین تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. میزان کود مصرفی برحسب آزمایشات به‌عمل‌آمده و با توجه به نیاز خاک مزرعه بر اساس توصیه همکاران بخش خاک و آب انجام گردید (جدول ۱). تمامی کود فسفره و پتاس و عناصر میکرو و یک‌سوم کود نیتروژن هم‌زمان با کاشت و مابقی کود نیتروژن به‌صورت سرک در زمان مناسب که معمولاً بین مراحل پنجه‌زنی و گل‌دهی می‌باشد مصرف گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت به روش بارانی و طبق عرف مزرعه انجام گردید. عملیات

جدول ۱- نتایج آزمون خاک مزرعه مورد آزمایش

Table1- Result of soil analysis of experimental site

| سال | بافت خاک | کربن آلی | فسفر | پتاسیم | اسیدیته خاک | هدایت الکتریکی |
|------|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------|---|
| Year | Soil texture | O. C. (%) | P (mg kg ⁻¹) | K (mg kg ⁻¹) | Soil acidity | Electrical conductivity (dS m ⁻¹) |
| 1394 | لومی رسی | | | | | |
| 2015 | Loamy clay | 0.48 | 9.01 | 203 | 7.7 | 1.6 |
| 1396 | لومی رسی | | | | | |
| 2016 | Loamy clay | 0.50 | 9.3 | 7.8 | 7.8 | 2.1 |

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو سال

مورد مطالعه در جدول شماره ۳ آورده شده‌اند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان می‌دهد اثر سال برای صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. همچنین بین ارقام از نظر عملکرد دانه، وزن هزار دانه،

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب در جدول ۲ و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی طی دو سال آزمایش برای ارقام

(جدول ۳). سایر محققین نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Najafian et al., 2012).

اثر متقابل سال در رقم

رقم دوروم شبرنگ در سال دوم با عملکرد ۸/۰۴ تن در هکتار دارای بیشترین عملکرد و رقم چمران در سال اول با عملکرد ۵/۶ تن در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشته‌اند (جدول ۴). بررسی‌های تحقیقی-ترویجی و تحقیقی-تطبیقی در مزارع زارعین مناطق مختلف استان‌های لرستان، سیستان و بلوچستان و کرمانشاه نیز برتری تقریباً ۲۰ درصدی رقم شبرنگ (با میانگین عملکرد ۶۵۴۱ کیلوگرم در هکتار) را در مناطق گرم و خشک جنوب نشان داد (Najafi Mirak et al., 2016).

از نظر وزن هزار دانه رقم بهرنگ و شوش در سال اول به ترتیب با ۴۹/۶ گرم و ۳۷/۳ گرم بیشترین و کمترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند. بیشترین و کمترین ارتفاع بوته را به ترتیب ارقام پارسی و بهاران در سال دوم با ۱۰۱/۳ سانتی‌متر و ۹۱/۶ سانتی‌متر داشته‌اند. همچنین بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به رقم شبرنگ در سال دوم و رقم سیوند در سال اول با ۵۷ دانه در سنبله و کمترین آن مربوط به رقم بهرنگ در سال اول و دوم و رقم بهاران در سال اول با ۴۰ دانه در سنبله می‌باشد. رقم پارسی با ۱۰/۷ سانتی‌متر در سال دوم بیشترین طول سنبله و رقم چمران ۲ با ۸ سانتی‌متر در سال اول کمترین طول سنبله را داشته‌اند (جدول ۴).

ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد که نشان‌دهنده اختلاف ژنتیکی بین ارقام است (جدول ۲). در بین تیمارهای مختلف رقم شبرنگ (دوروم) با عملکرد ۷/۷۷ تن در هکتار دارای بیشترین و رقم چمران با عملکرد ۵/۹۶ تن در هکتار کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). نتایج تحقیق دیگری نیز با این یافته مطابقت دارد (Najafi Mirak et al., 2016). در ارقام نان نیز دو رقم مهرگان و پارسی بیشترین عملکرد دانه را داشته‌اند (جدول ۳). در تحقیقی که در اهواز انجام شد رقم مهرگان با ۷۶۸۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را در بین ارقام داشته و نسبت به رقم شاهد چمران (۶۳۴۶/۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بهتری را نشان داد (Mousavi et al., 2016).

همچنین رقم بهرنگ با وزن هزار دانه ۴۷/۸ گرم بیشترین و رقم شوش با میانگین وزن هزار دانه ۳۷/۶ کمترین وزن هزار دانه را داشته‌اند. رقم پارسی و افلاک با ۱۰۱ و ۹۸/۶ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته و ارقام بهرنگ و بهاران با ۹۲/۳ و ۹۱/۱ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را داشته‌اند (جدول ۳). از نظر تعداد دانه در سنبله نیز رقم شبرنگ با میانگین ۵۵ دانه در سنبله و رقم بهرنگ با میانگین ۴۰ دانه در سنبله به ترتیب بیشترین و کمترین دانه در سنبله را دارا بودند. همچنین ارقام شوش، سیوند، سیروان و پارسی بیشترین طول سنبله و رقم بهرنگ کمترین طول سنبله در بین ارقام مورد آزمایش داشتند

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (میانگین دو سال)

Table 2- Analysis of variance of studied traits (average of two years)

| منبع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean of squares | | | | |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| | | عملکرد دانه Grain yield | وزن هزار دانه 1000 Grain weight | ارتفاع بوته Plant height | تعداد دانه در سنبله Grain number per spike | طول سنبله Spike length |
| سال Year | 1 | 4.04** | 0.003 | 6.49 | 25.46** | 13.63** |
| بلوک در سال Block×Year | 4 | 0.204 | 0.42 | 0.651 | 1.15 | 0.33 |
| رقم Cultivar | 10 | 1.16** | 52** | 50.02** | 172.21** | 3.22** |
| سال در رقم Year×Cultivar | 10 | 0.504* | 2.75 | 1.15 | 4.53 | 0.489 |
| خطا Error | 40 | 0.056 | 1.59 | 2.34 | 2.11 | 0.320 |
| CV(%) | - | 15.07 | 7.01 | 8.91 | 5.69 | 6.98 |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و یک درصد

* and ** are significant at P=0.05 and P=0.01, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین دو ساله صفات مورد بررسی برای ارقام مختلف

Table 3- Comparison of two-year mean of studied traits for different cultivars

| رقم Cultivar | شماره رقم Cultivar Number | عملکرد دانه Grain yield (ton/ha) | وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g) | ارتفاع بوته Plant height (cm) | تعداد دانه در سنبله Grain number per spike | طول سنبله Spike length (cm) |
|---------------------|---------------------------------|--|---|-------------------------------------|--|-----------------------------------|
| شوش Shoosh | 1 | 6.63def | 37.6f | 96.3c | 46bc | 10a |
| شبرنگ Shabrang | 2 | 7.77a | 44.5b | 97.8bc | 55.6a | 8.9bc |
| سیوند Sivand | 3 | 6.78bcd | 39.1e | 93.5d | 55.6a | 9.9a |
| سیروان Sirvan | 4 | 6.49ef | 40.1de | 97.5bc | 44.8c | 9.8a |
| چمران ۲ Chamran2 | 5 | 6.75bcde | 40.8d | 97bc | 45.5bc | 8.6c |
| پارسی Parsi | 6 | 6.91bc | 43c | 101a | 46.5bc | 9.8a |
| افلاک Aflak | 7 | 6.67cdef | 40.9d | 98.6b | 42.8d | 9.4ab |
| چمران Chamran | 8 | 5.96g | 39.5de | 96.8c | 41.3de | 9.1bc |
| بهرنگ Behrang | 9 | 6.86bcd | 47.8a | 92.3de | 39.6e | 7.8d |
| بهاران Baharan | 10 | 6.47f | 43.5bc | 91.1e | 41e | 8.5c |
| مهرگان Mehregan | 11 | 6.97b | 43.9bc | 97.3bc | 47.1b | 9.96a |

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تأثیر برهمکنش سال در رقم

Table 4- Comparison of the mean of studied traits under the influence of year interaction in cultivar

| سال در رقم Year×Cultivar | عملکرد دانه Grain yield (ton/ha) | وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g) | ارتفاع بوته Plant height (cm) | تعداد دانه در سنبله Grain number per spike | طول سنبله Spike length (cm) |
|-----------------------------|--|---|-------------------------------------|--|-----------------------------------|
| V1×Y1 | 6.04hi | 37.3g | 96.6def | 45def | 9.6bcde |
| V2×Y1 | 7.51b | 44.6bc | 97cde | 54b | 8.8efgh |
| V3×Y1 | 6.35hi | 39efg | 92.6gh | 57a | 10abc |
| V4×Y1 | 5.94ij | 40ef | 97.4cde | 44.6ef | 9.1cdef |
| V5×Y1 | 6.44ghi | 41de | 96.3def | 43.6fg | 8hi |
| V6×Y1 | 6.40ghi | 42.8cd | 100.6ab | 46cdef | 9defg |
| V7×Y1 | 6.16hi | 40.8de | 98cde | 42gh | 9.1cdef |
| V8×Y1 | 5.60j | 39efg | 97cde | 40.6h | 8.3fghi |
| V9×Y1 | 6.66efg | 49.6a | 92.6gh | 39.6h | 7.5i |
| V10×Y1 | 6.19hi | 43.6c | 90.6h | 40h | 8.3fghi |
| V11×Y1 | 7.06cde | 43.1c | 97cde | 46.6cde | 9.3cde |
| V1×Y2 | 7.11cde | 38fg | 96ef | 47cde | 10.4ab |
| V2×Y2 | 8.04a | 44.5bc | 98.6bcd | 57.3a | 9.1cdef |
| V3×Y2 | 7.22bcd | 39.3efg | 94.3fg | 54.3b | 9.9abc |
| V4×Y2 | 7.03cdef | 40.3e | 97.6cde | 45def | 10.4ab |
| V5×Y2 | 7.06cde | 40.6e | 97.6cde | 43.3cd | 9.3cde |
| V6×Y2 | 7.42bc | 43.2c | 101.3a | 47cde | 10.7a |
| V7×Y2 | 7.18bcd | 41de | 99.3abc | 43.6fg | 9.8abcd |
| V8×Y2 | 6.32hij | 40ef | 96.6def | 42gh | 9.9abc |
| V9×Y2 | 7.06cde | 46b | 92gh | 39.6h | 8.1ghi |
| V10×Y2 | 6.75efg | 43.3c | 91.6h | 42gh | 8.8efgh |
| V11×Y2 | 6.89def | 44.7bc | 97.6cde | 47.6c | 10.6ab |

Y1: سال اول، Y2: سال دوم، V1: شوش، V2: شبرنگ، V3: سیوند، V4: سیروان، V5: چمران ۲، V6: پارسی، V7: افلاک، V8: چمران، V9: بهرنگ، V10: بهاران، V11: مهرگان
Y1: First year, Y2: Second year, V1: Shoosh, V2: Shabrang, V3: Sivand, V4: Sirvan, V5: Chamran2, V6: Parsi, V7: Aflak, V8: Chamran, V9: Behrang, V10: Baharan, V11: Mehregan

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test

ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه

در هر دو شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی عملکرد دانه با صفات روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. تجزیه علیت با استفاده از صفات مذکور نشان داد، صفت تعداد سنبله در مترمربع و روز تا رسیدگی بیشترین اثر مثبت مستقیم و غیر مستقیم را بر روی عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند (Mohammadi, 2014).

همچنین وزن هزار دانه با تعداد دانه در سنبله و طول سنبله همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد. تعداد دانه در سنبله با طول سنبله نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۵). این نتایج مشابه تحقیقات محققین است (Plaut *et al.*, 2004).

جدول ۵ ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه در سطح پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. جدول ۳ به‌خوبی نشان می‌دهد ارقامی مانند شیرنگ که عملکرد دانه بالایی دارند تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه بیشتری هم داشته‌اند (جدول ۵). در تحقیق دیگری به‌منظور بررسی رابطه صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم، ارقام زرین، الوند و لاین‌های امیدبخش C-81-4، C-81-10، C-81-14 و C-81-13 در تاریخ‌های کاشت ۲۰ مهر، ۱۰ آبان و ۳۰ آبان، نتایج نشان داد

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و برخی خصوصیات زراعی

Table 5- Correlation coefficients between grain yield and some agronomic characteristics

| صفات زراعی | عملکرد دانه | وزن هزار دانه | ارتفاع بوته | تعداد دانه در سنبله |
|------------------------|-------------|-------------------|--------------|------------------------|
| Agronomic traits | Grain yield | 1000 Grain weight | Plant height | Grain number per spike |
| وزن هزار دانه | 0.51* | | | |
| 1000 Grain weight | | | | |
| ارتفاع بوته | 0.21 | -0.22 | | |
| Plant height | | | | |
| تعداد دانه در سنبله | 0.64** | -0.36** | 0.19 | |
| Grain number per spike | | | | |
| طول سنبله | 0.01 | -0.64** | 0.52 | 0.44* |
| Spike length | | | | |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و یک درصد

* and ** are significant at P=0.05 and P=0.01, respectively

صرف آب بهتری هم برخوردار خواهد بود. لذا پیشنهاد می‌گردد ارقام نان مهرگان و شوش نیز جایگزین رقم نان چمران در مناطق گرم استان گردند. در مناطق گرمی که کشاورزان با محدودیت آبیاری آخر فصل و برداشت زود مواجه هستند، با توجه به زودرسی و نتایج عملکرد رقم چمران ۲ کاشت این رقم توصیه می‌گردد. نتایج این پروژه قابل‌تعمیم به مناطق گرم و خشک و کم آب جنوب استان کرمان خصوصاً کلیه مناطق شهرستان ارزوئیه است.

نتیجه‌گیری کلی

در مناطق گرم استان کرمان رقم یواروس و رقم چمران ارقام غالب کاشت می‌باشند. با توجه به نتایج این تحقیق به دلیل برتری عملکرد دانه در رقم دوروم شیرنگ، توصیه می‌گردد این رقم جایگزین ارقام مرسوم دوروم در منطقه گردد. رقم شیرنگ از رقم چمران و یواروس زودرس‌تر بوده و با توجه به عملکرد بیشتر بسیار مناسب کاشت در منطق کم آب و خشک ارزوئیه است. همچنین با توجه به زودرس بودن و عملکرد بیشتر، از کارایی

References

- Ahmadi, A., Hosseinpour, T., Mohammadi, F. and Pourghasemi, R. 2018. Investigating the growth trend of some dryland wheat cultivars. *Plant Ecophysiology Journal*, 9(28): 10-21. (In Persian).
- Anonymous. 2018. Statistics. Available at Web site <http://amar.mja.ira>. Accessed February, 2019.

- Chen, S. and Ravallion, M. 2007. Absolute poverty measures for developing world. 1984-2004. PNAS, 104(43): 1657-1662.
- Esmailzadeh, M., Jalal Kamali, M.R., Saidi, A., Sofi, A., Akbari Moghaddam, H., Abedini Esfahlani, M., Bahari, M., Nikzad, A.R., Radmehr, M. and Tabib Ghaffari, S.M. 2011. Aflak, a new bread wheat cultivar, resistant to yellow and leaf rusts and terminal heat stress for cultivation under irrigated conditions in southern warm and dry areas of Iran. *Seed and Plant Journal*, 27(2): 275-281. (In Persian).
- Esmailzadeh Moghaddam, M. 2013. Report on the introduction of the new bread wheat cultivar (S-83-3) Attila50y // Atilla / Bcn (Chamran 2) for cultivation in warm regions of the south of the country. Seed and Plant Improvement Institute. Karaj Annual reports of the grain research department. 2013-2014. (In Persian).
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Khodarahmi, M., Shahbaz Pour Shahbazi, A., Akbari Moghaddam, H., Sayahfar, M., Tahmasebi, S., Afshari, F., Dalvand, M., Tabatabaei, N.A., Rookparvar, R. and Kia, S. 2017. Mehrehgan, a new bread wheat cultivar, resistant to yellow, leaf and stem rust and high bread making quality for cultivation in agricultural systems in southern warm and dry zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops Journal*, 6(1): 71-77. (In Persian).
- Fabriani, G. and Lintas, C. 1988. Durum chemistry and technology. American Association of cereal chemistry. Minnesota. U.A.A.
- Hosseinpour, T., Ahmadi, A., Mohammadi, F. and Drikvand, R. 2012. The effect of seed rate on grain yield and its components of wheat cultivars in rain fed Conditions. *Agronomy Journal*, 104: 101-110. (In Persian).
- Mehmet, A. and Tetel, Y. 2006. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum L.*) genotypes. *Pakistan Journal of Botany* 38(2): 11-18.
- Mohammadi, M. 2014. Evolution of grain yield and its components relationships in bread wheat genotypes under full irrigation and terminal water stress conditions using multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1): 99-109. (In Persian).
- Mousavi, S.F., Siahpoosh, M.R. and Sorkhe, K. 2016. Variation in phenological traits of 10 cultivars of bread wheat in Ahwaz. The Second International Congress and the Fourteenth National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran. Aug. 30-Sep. 1, 2016. University of Gilan, Rasht-Iran. (In Persian).
- Najafian, G., Amin, H., Afshari, F., Pazhomand, M.E., Dadaeen, M., Zakeri, M., Yasaie, A., Rajaie, S., Nikzad, A.R. and Nikooseresht, R. 2010. Parsi, a new bread wheat cultivar, resistant to stem rust (Race Ug99) with good bread making quality for cultivation under irrigated conditions of temperate regions of Iran. *Seed and Plant Journal*, 26(2): 289-292. (In Persian).
- Najafian, G., Nikooseresht, R., Khodarahmi, M., Kafashi, A.K., Amini, A., Afshari, F., Malhipour, A. and Sadeghi, N. 2012. Sirvan, new bread wheat cultivar, tolerant to terminal drought with good bread making quality adapted to irrigate conditions of temperate regions of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops Journal*, 1(1): 1-10. (In Persian).
- Najafi Mirak, T., Shahbaz Pour Shahbazi, A., Mohammadi, A., Afshari, F., Bahari, M., Akbari Moghadam, H. and Ahmadi, G.H. 2016. Shabrang, new durum wheat cultivar for warm and dry agro-climate zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops Journal*, 4(2): 89-100. (In Persian).
- Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S. and Wrigley, C.W. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research*, 86(2-3): 185-198.
- Sadeghzadeh Ahari, D., Hosaini, S.K. and Hosainpoor, T. 2005. Study on adaptability and stability of grain yield in durum wheat lines in warm and semi-warm dryland areas. *Seed and Plant Journal*, 21(4): 561-576. (In Persian).
- Srivastava, J.P. 1984. Durum wheat, its word status and potential in the middle east and north Africa. *Rachis*, 3: 1-8.
- Yousefi Moghadam, R., Khoramdel, S., Banayanaval, M. and Nasirimahallati, M. 2018. Comparison of old and new dryland wheat cultivars in response to different planting dates. *Applied Agricultural Research*, 31(2): 46-72. (In Persian).

Identification of bread and durum wheat varieties suitable for planting in Orzuiyeh region of Kerman province

Mohammad Ali Javaheri¹

¹ Seed and Plant Improvement Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: Javaheri310@yahoo.com

Received: 14 February 2022

Accepted: 17 May 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.329727.1191

Abstract

Introduction: Orzuiyeh city (one of Kerman province's warm regions) is known as the center of wheat production in Kerman province. Wheat is one of the main crops in the region, which plays an important role in providing food for the people and the economy of the region. The high area under wheat cultivation in this city is the most important source of income for farmers. Wheat is primarily sown in Orzuiyeh for bread production using the Chamran cultivar and durum wheat production using the Yavaros cultivar. Due to the introduction of new cultivars, additional cultivars must be introduced to farmers if they outperform conventional cultivars.

Materials and Methods: The yield of 11 bread wheat (*Triticum aestivum*) and durum wheat (*Triticum turgidum* var. Durum) cultivars (Chamran, Shoosh, Parsi, Sivand, Sirvan, Chamran-2, Shabrang, Aflak, Behrang, Baharan, and Mehregan) was evaluated in the hot zone Orzuiyeh in this experiment. The cultivars were compared on yield and performance components over a two-year period using a randomized complete block design with three replications. Each cultivar was planted in six 6-meter lines with a line spacing of 20 cm and the distance between replicates was considered one meter. The amount of fertilizer used was done according to the experiments and according to the needs of the farm soil based on the recommendations of the soil and water department. The first irrigation was done immediately after planting by sprinkling method and according to the custom of the field. Operations and weed control were performed manually (weeding) in the same way on all plots. After physiological maturation of cultivars, harvest was performed in each plot from four middle lines and after removing half a meter from both sides of each line. Grain yield for each treatment was calculated based on the total area of plot harvest and after threshing. Then, based on the obtained data, the analysis of variance of the data was performed in the year. After Bartlett test results, composite analysis of variance was performed by SAS software and mean comparison was performed by LSD method and the results were interpreted.

Results and discussion: There was a positive correlation between grain yield, 1000- Grain weight, and Grain per spike. Shabrang, for example, had a higher Grain density per spike and 1000- Grain weight. Additionally, the 1000- Grain weight correlated negatively and statistically significantly with the number of Grains per spike and spike length. At the 1% level, there was also a positive and significant correlation between the number of Grains per spike and the spike length. Additionally, Shabrang cultivar produced the most grain per hectare (8.04 tons), while Chamran cultivar produced the least grain per hectare (6.32 tons). A thousand Behrang cultivar Grains weighed 46 g. Shabrang cultivars typically had 57 se Grains per spike, while Behrang cultivars typically had 39 Grains per spike. Parsi, Shoosh, and Sirvan cultivars, on the other hand, had the longest spikes at 10.7 and 10.4 cm, respectively, while Behrang cultivar had the shortest spikes at an average of 8.1 cm. The Parsi and Aflak cultivars grew to the greatest heights of 101.3 and 99.3 cm, respectively, while the Behrang and Baharan cultivars grew to the smallest heights of 92 and 91.6 cm, respectively.

Conclusion: The Durum Shabrang cultivar should be used in place of the conventional Durum (Yavaros) cultivars, according to the findings of this study. Additionally, Mehregan and Parsi bread wheat cultivars are recommended for use in the Orzuiyeh region in place of Chamran bread wheat cultivars.

Keywords: Correlation Coefficients, Mehregan, Plant height, Shabrang, Yield

پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی کشت اسفرزه (*Plantago ovata*) در منطقه سیستان با استفاده از

مدل بولین و تحلیل سلسله مراتبی

محمد رضا اصغری پور^{۱*}، زهرا مرزبان^۲

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

۲- دانش آموخته دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: m_asgharipour@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.311771.1149

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۲

چکیده

منطقه سیستان با محدودیت‌های فراوانی در بخش آب و خاک مناسب برای کشاورزی مواجه است. کشت گیاهان دارویی از جمله کشت گیاه اسفرزه با نیاز رطوبتی اندک و مقاومت بالا به خشکی و ارزش افزوده بالا از راهکارهای مهم مقابله با محدودیت‌های متعدد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در منطقه سیستان است. این مطالعه با هدف پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی گیاه اسفرزه در راستای شناسایی مناطق مستعد کشت این گیاه در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک آنالیز مکانی انجام گرفت. برای انجام این مطالعه از لایه‌های اقلیمی، توپوگرافی و هیدرولوژی منطقه استفاده شد. برای انجام پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت، از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب مدل‌های بولین و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Arc/GIS 10 نقشه‌های هم‌ارزش تهیه شده، و سپس ماتریس دو به دو هر یک از لایه‌ها به ترتیب اهمیت در نرم‌افزار Idrisi ترسیم و میزان اهمیت هر یک از عناصر مشخص گردید. در نهایت با تلفیق نقشه‌ها در محیط Arc/GIS 10 نقشه نهایی استخراج شد. نتایج مطالعه نشان داد که غالب نواحی منطقه زابل جهت کشت اسفرزه از پتانسیل مناسبی برخوردار است. با این حال، بخش‌هایی شمال غربی و قسمت محدودی از جنوب غربی و شمال شرقی و به طور پراکنده قسمت‌هایی از غرب و جنوب غربی و قسمت محدودی از شمال شرقی فاقد استعداد کشت اسفرزه است. هم‌چنین مدل بولین به دلیل دقت بالا و توجه به محدودیت در این منطقه، نتایج بهتری را نسبت به مدل AHP ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: امکان‌سنجی، تناسب اراضی، گیاهان دارویی، AHP، GIS

مقدمه

زراعی - بوم‌شناختی است که به مدیریت پایدار منابع کشاورزی می‌انجامد (Shokati and Feizizadeh, 2019). پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی که یک ابزار ضروری در برنامه‌ریزی کشاورزی محسوب می‌شود، این روش در دهه ۷۰ میلادی برای اولین بار توسط FAO برای ارزیابی اراضی و تعیین پتانسیل تولیدات کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای و ملی پیشنهاد شد (Vilček and Torma, 2016; Falasca et al., 2015;) (Reddy et al., 2018). این روش بر پایه کمی کردن اطلاعات اقلیمی، خاک و سایر عوامل است که برای پیش‌بینی پتانسیل تولید بسیاری از گیاهان زراعی بر طبق نیازهای محیطی و مدیریتی آن‌ها و تعیین دورنمای پایداری سیستم‌های آینده استفاده می‌شود (Neamatollahi et al., 2012).

پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی، تلفیقی از لایه‌های اطلاعات محیطی است که در آن اقلیم، آب، پستی و بلندی و شرایط

یک‌سوم از اراضی کشاورزی جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. بارندگی کم همراه با توزیع نامناسب زمانی و مکانی، کمبود منابع آب، افزایش تقاضا برای آب، شوری خاک و تخریب آن از مشکلات اساسی در مناطق خشک می‌باشد (Mazahreh et al., 2019). در این مناطق به دلیل عدم شناخت ویژگی‌های اگرواکولوژیک و عوامل دخیل در تناسب اراضی امکان تعیین الگوی کشت و برنامه مناسب برای فعالیت‌های کشاورزی در راستای کشاورزی پایدار وجود ندارد. بنابراین هر ساله خسارات جبران‌ناپذیری به بخش کشاورزی وارد گردیده و با گذشت زمان با پدیده‌ی تخریب اراضی و کاهش تولید در واحد سطح مواجه خواهیم شد (Wang et al., 2015). بطور کلی اولین قدم در رفع چالش موجود در رابطه با برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی، پهنه‌بندی

اقلیم، توپوگرافی، منابع آب و اراضی استان آذربایجان شرقی را جهت کشت زعفران پهنه‌بندی کردند (Shokati et al., 2019). نتایج این مطالعه نشان داد که ۴۲ درصد این منطقه دارای تناسب بسیار مناسب و ۵۴ درصد دارای تناسب مناسب برای کشت زعفران می‌باشد. محققین با پهنه‌بندی منطقه وادی العفریت مصر برای تولید *Ebenus armitagei* و *Periploca angustifolia* با استفاده از عوامل اقلیمی (دما و بارندگی) توپوگرافی (ارتفاع)، نوع خاک و پوشش گیاهی مناطق در معرض تهدید و تولید این گیاهان را مشخص کردند (Gamal et al., 2020). نتایج این مطالعه نشان داد که بیشتر مناطق در معرض تهدید برای دو گونه در قسمت شرق منطقه وادی العفریت است. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه، شرایط اقلیمی و چهار فصل بودن ظرفیت فوق‌العاده‌ای جهت تولید و صادرات گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن‌ها دارد. از طرفی منطقه سیستان پتانسیل بالایی در زمینه کشت، سرمایه‌گذاری و تجارت این نوع گیاهان دارد. تاکنون هیچ تحقیقی در خصوص ارزیابی میزان تناسب اراضی منطقه سیستان برای توسعه کشت گیاه اسفرزه انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش سعی شده تا با ارزیابی برخی منابع اکولوژیک منطقه سیستان و تطابق آن با نیازهای بوم‌شناختی گیاه اسفرزه، امکان توسعه این گیاه دارویی با ارزش ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با وسعت حدود ۱۸۱۷۸۵ کیلومتر مربع ۱۱/۵ درصد مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. این استان بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (Sistan and Baluchistan Province Statistical Yearbook 1394, 2016) (جدول ۱). در مطالعه حاضر منطقه سیستان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. دشت سیستان با وسعت ۱۶۸۵۹ کیلومتر مربع از آبرفت‌های رودخانه هیرمند برآمده است (Lavasani et al., 2015) و بزرگترین دریاچه آب شیرین ایران، دریاچه هامون، را در خود جای داده است. کوه خواجه تنها عارضه طبیعی است که در این ناحیه خودنمایی نموده و مابقی دشت بصورت هموار با شیب ۲ در هزار از جنوب شرق و مرز افغانستان در نقطه ورودی هیرمند به سیستان، به

خاک به‌صورت یک مجموعه همگن محیط زیستی در ارتباط با سامانه‌های زراعی مشخص، کاربری اراضی و تنوع زیستی قرار می‌گیرد. با تلفیق اجزاء اصلی و مؤثر بر کشاورزی، امکان بررسی همه‌جانبه شرایط تولید فراهم شده و پتانسیل‌ها و محدودیت‌های محیطی بهتر بررسی و تصمیم‌گیرندگان عرصه کشاورزی با داشتن یک نقشه جامع و کامل به‌جای نقشه‌های واحد و پراکنده، تصمیمات درستی اتخاذ می‌کنند (Mohamed et al., 2014; Nguyen et al., 2015). شناخت امکانات بالقوه‌ی اقلیمی و نیازهای آب و هوایی گیاهان، عامل افزایش محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. چنانچه امکان شناسایی مناطق مستعد کشت گیاهان با توجه به نیازهای اکولوژیکی و محدودیت‌ها و توانمندی‌هایی را که اقلیم و توپوگرافی ایجاد کرده، فراهم باشد، عملاً می‌توان به عملکرد بیشتری در واحد سطح دست یافت (Liu et al., 2009). هم‌چنین توسعه اقتصادی آن دسته از گیاهان مقاوم به خشکی که مواد شیمیایی با ارزشی را برای نیازهای انسان تأمین می‌کنند می‌تواند در برنامه‌های آمایش سرزمین مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شود (Shokati and Feizizadeh, 2019). در این مناطق، تغییر الگوی کشت به سمت گیاهانی با ارزش افزوده بالا و توانایی حفاظت از منابع پایه از جمله آب، اهمیت بالایی دارد (Mardani Najafabad et al., 2019).

گیاهان دارویی از سیستم ریشه‌ای گسترده‌ای برخوردار هستند که نشان‌دهنده سازگاری این گیاهان به کاهش قابلیت دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌باشد. کاشت گیاهان دارویی به‌دلیل نیاز آبی کم در شرایط خشک‌سالی و قابلیت تولید در زمین‌های کم‌بازده می‌تواند در افزایش بهره‌وری از منابع آب و خاک مؤثر واقع گردد (Tomar et al., 2010). در این میان گیاه دارویی اسفرزه به‌عنوان یکی از اقتصادی‌ترین گیاهان موسیلاژدار می‌تواند جزء آن گروه از گیاهانی منظور گردد که دارای نیاز رطوبتی کم و مقاوم به خشکی و دارای ارزش افزوده است (Mosavi et al., 2012; Kuiper and Bos, 2012). اسفرزه با نام علمی *Plantago ovate* متعلق به تیره بارهنگ گیاه بومی هند و ایران است و در مناطق خشک غرب آسیا، کشورهای مدیترانه و عراق گسترش یافته است (Asgharipour and Rafiei, 2010). محققین با سامانه اطلاعات جغرافیایی، و روش تصمیم‌گیری چند معیاره، و با استفاده از داده‌های خاکشناسی،

۵۰۰۰ میلی‌متر در سال است (Hosseinzadeh, 1997). این شرایط در مجموع باعث خشکی طبیعی این سرزمین گردیده و در صورت کاهش آب ورودی هیرمند، خشک‌سالی‌های مخرب در آن به‌وقوع می‌پیوندد (شکل ۱).

سمت شمال غرب به دریاچه‌های سه‌گانه هامون ختم می‌شود. از نظر اقلیمی این دشت در تیپ اقلیم خشک بیابانی قرار دارد و متوسط بارندگی سالانه آن کمتر از ۶۵ میلی‌متر است (Dinpazhoh, 2010). در عین حال میزان تبخیر و تعرق پتانسیل آن قریب به

جدول ۱- مشخصات عمومی ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی و سینوپتیک پوشش دهنده منطقه سیستان

Table 1- General specifications of climatological and synoptic stations covering Sistan region

| شهرستان County | مساحت Area (Km ²) | تعداد بخش Number of sections | تعداد شهر Number of city | تعداد دهستان Number of villages |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| زابل Zabol | 344 | 1 | 2 | 1 |
| زهک Zahak | 802 | 2 | 1 | 4 |
| نیمروز Nimroz | 9714 | 2 | 1 | 4 |
| هامون Hamoun | 4987 | 2 | 2 | 4 |
| هیرمند Hirmand | 1012 | 2 | 1 | 5 |

سیستان برای کشت اسفزه باید تعریف شود. مدل اکولوژیکی تعریف شده ملاک تصمیم‌گیری و پهنه‌بندی به‌شمار می‌رود. این معیارها در دو دسته محدودیت‌ها و عوامل طبقه‌بندی می‌شوند. محدودیت‌ها شامل آن دسته از عوامل می‌شود که تحلیل را برای مناطق خاص جغرافیایی محدود می‌کنند. محدودیت‌ها همیشه بصورت تصاویر بولین نشان داده می‌شوند. لایه‌های بولین دارای ارزش‌های صفر و یک هستند و محدودیت‌های قطعی را نشان می‌دهند که در آن صفر نشان‌دهنده عدم تناسب و یک نشان‌دهنده تناسب است. پس در هر لایه محدودیت فقط دو عدد صفر و یک دیده می‌شود (Machiwal and Singh, 2015).

استانداردسازی معیارها به روش فازی

عوامل معیارهایی هستند که درجات مطلوبیت را برای تمام منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. این معیارها مناطق را به‌صورت اعداد پیوسته مطلوبیت نشان می‌دهند. با توجه به اینکه عوامل دامنه ارزش متفاوت دارند، استانداردسازی مورد نیاز است. براساس وزن‌دهی عوامل و پارامترهای مورد نظر برای هر کاربری، لایه‌های فازی در محدوده‌ای بین صفر تا ۲۵۵ استانداردسازی می‌شوند. این عدد هر چه به ۲۵۵ نزدیک‌تر باشد مطلوبیت بالاتر را نشان می‌دهد. باید برای هر کاربری پارامترهای مورد نظر را به

ارزیابی توان اراضی سیستان جهت کشت اسفزه به روش ارزیابی چند معیاره (MCE)

در این پژوهش جهت تعیین توان اراضی سیستان جهت کشت اسفزه از روش ارزیابی چند معیاره ۱ (MCE) استفاده شد (El Jazouli et al., 2019; Kamdar et al., 2019). این روش مراحل زیر را شامل می‌شود:

- شناسایی و توسعه معیارهای مؤثر در توان اراضی سیستان جهت کشت اسفزه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی
- استانداردسازی معیارها به روش فازی
- وزن‌دهی لایه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی^۲ (AHP)
- ادغام لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده از توان منطقه جهت کشت اسفزه به روش ادغام خطی وزن داده شده^۳ (WLC)
- تهیه نقشه‌های تناسب اراضی سیستان جهت کشت اسفزه

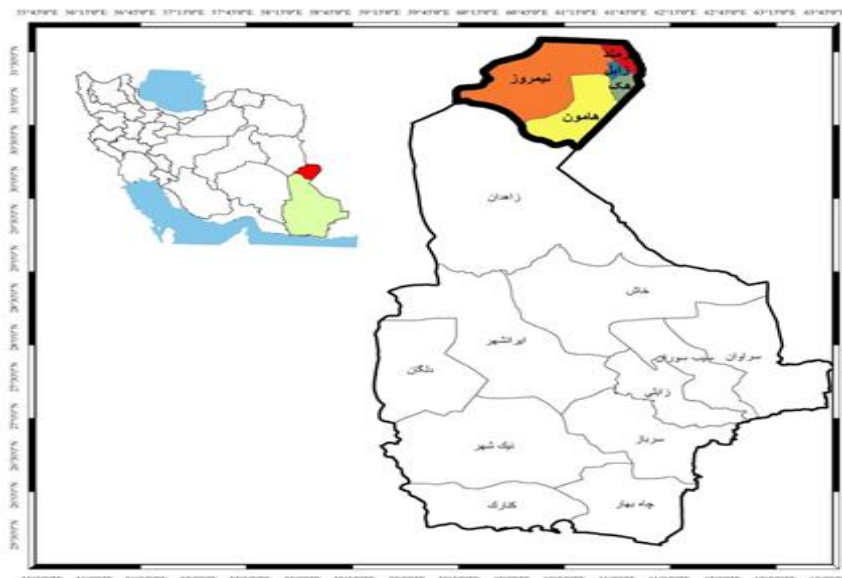
شناسایی و توسعه معیارهای مؤثر در توان اراضی سیستان جهت کشت اسفزه

شناسایی و توسعه معیارها، اولین مرحله از فرایند MCE به‌شمار می‌رود (Kihoro et al., 2013). به‌منظور شناسایی معیارهای مؤثر یک مدل اکولوژیکی جهت ارزیابی توان اراضی

1. Multi Criteria Evaluation
2. Analytical Hierarchy Process
3. Weighted Linear Combination

(Ahamed *et al.*, 2000).

صورت لایه‌های فازی اطلاعاتی در پایگاه داده ذخیره و از آن‌ها برای ادغام لایه‌ها استفاده کرد (Murmu *et al.*, 2019; Nisar)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

ادغام لایه‌های اطلاعاتی بدست آمده به روش WLC

یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در ترکیب داده‌ها، WLC است. در WLC هر عامل استاندارد شده در وزن مرتبط با آن ضرب می‌گردد، سپس عوامل با هم جمع می‌شوند. زمانی که وزن‌ها برای هر سلول محاسبه شد، نقشه حاصل یکبار دیگر در نقشه‌های محدودیت ضرب می‌گردد تا مناطقی که نباید مورد محاسبه قرار گیرند، خارج شوند. نقشه نهایی مربوط به محاسبه ترکیب مطلوبیت در محدوده صفر تا ۲۵۵ برای مناطقی است که محدودیتی برای توسعه ندارند. در این مرحله لایه‌ها با استفاده از روش ادغام خطی وزن داده شده ادغام می‌شوند. فرمول روش WLC بصورت رابطه ۱ است (Barzehkar *et al.*, 2019).

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \prod C_i \quad (1)$$

S = تناسب برای کاربری مورد نظر، W_i = وزن هر یک از لایه‌ها، X_i = لایه فازی، که عامل نامیده می‌شود،

$\prod C_i$ = علامت ضرب، C_i = لایه بولین، که محدودیت نامیده می‌شود

ارزیابی به روش WLC تا مرحله ادغام لایه‌های اطلاعاتی و بدست آوردن توان بالقوه اراضی سیستم جهت کشت اسفرزه

وزن‌دهی لایه‌ها به روش AHP

در این روش از نوعی وزن‌دهی کمی با ترجیحات استفاده می‌شود. در این روش‌ها عوامل مؤثر، سطح به سطح شکسته و عوامل سطوح مختلف که هیچ وابستگی به هم ندارند بر اساس ماتریس مقایسه زوجی رتبه‌بندی می‌شوند. درجات اهمیت معمولاً به صورت خیلی ضعیف: ۱، ضعیف: ۳، متوسط: ۵، خوب: ۷ و عالی: ۹ است. بعد از طراحی ساختار سلسله مراتبی در این روش، پرسشنامه‌هایی تنظیم می‌شود که هدف آن مقایسه زوجی معیارها در هر سطح با توجه به معیار موجود (ماتریس مربوط به مدل کاربری) در یک سطح بالاتر است (Nuthammachot and Stratoulis, 2019). در این پژوهش با توجه به ساختار سلسله مراتبی در سطوح مختلف، اهمیت نسبی معیارها با نظر کارشناسی مقایسه شد. برای تعیین درجه دقت و صحت وزن‌دهی از شاخص سازگاری استفاده شد (جدول ۲).

چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر از آن باشد وزن‌دهی صحیح و در غیر این صورت وزن‌های نسبی داده شده به معیارها بایستی تغییر یابند و وزن‌دهی مجدداً انجام شود (Ostovari *et al.*, 2019; Behniafar *et al.*, 2010).

اراضی سیستان از عامل متعددی استفاده شد تا بتواند بازگوکننده توان و استعداد واقعی منطقه باشد. سپس جهت ارزیابی تناسب اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه اقدام به تهیه عوامل و محدودیت‌ها گردید. در نهایت وزن AHP به‌منظور تعیین اولویت هر نقشه در مدل اکولوژیکی تعیین شد و نقشه‌ها به‌همراه وزن آن‌ها برای ارزیابی تناسب کاربری به‌روش WLC، مطابق مدل اکولوژیکی به‌کار گرفته شد.

پیش می‌رود. لایه‌های پایه و استخراجی برای پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه بعد از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و تشکیل پایگاه اطلاعاتی منطقه مورد نظر، منابع موجود مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. عواملی که با هدف پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه مورد استفاده قرار گرفته است به شرح جدول ۳ بود. مطابق با منابع، برای تعیین توان اکولوژیکی

جدول ۲- درجه اهمیت عوامل جهت ارزیابی تناسب اراضی

Table 2- The importance of factors for land suitability assessment

| وزن (AHP) Weight (AHP) | عامل Factors | ردیف Row |
|---------------------------|---|-------------|
| 0.125 | نقشه فازی بافت خاک Map fuzzy texture soil | 1 |
| 0.044 | نقشه فازی شیب Fuzzy slope map | 2 |
| 0.019 | نقشه فازی جهت Fuzzy direction map | 3 |
| 0.163 | نقشه فازی بارش Fuzzy precipitation map | 4 |
| 0.056 | نقشه فازی کاربری و پوشش اراضی Fuzzy cluster of land use and land cover | 5 |
| 0.042 | نقشه فازی فاصله از جاده‌ها Fuzzy road distance map | 6 |
| 0.121 | نقشه فازی فاصله از رودخانه و آبراهه‌ها Fuzzy of distance from rivers and streams map | 7 |
| 0.046 | نقشه فاصله از سکونتگاه‌های انسانی Map of distance from human settlements | 8 |
| 0.076 | نقشه فازی تبخیر و تعرق Fuzzy evapotranspiration map | 9 |
| 0.234 | نقشه فازی دما Fuzzy temperature map | 10 |
| 0.064 | نقشه فازی ارتفاع Fuzzy altitude map | 11 |

Consistency ratio = 0.04

وزن و درجه اولویت با روش AHP بررسی شدند. سپس نقشه‌های فازی شده گونه اسفرزه مطابق مطالب ذکر شده محاسبه و در شکل ۲a-ژ ارائه شده‌اند. در تمام نقشه‌ها با افزایش ارزش‌ها از صفر تا ۲۵۵ تناسب افزایش می‌یابد.

ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت اسفرزه

جهت تعیین تناسب اراضی جهت کشت اسفرزه مدل اکولوژیکی در نظر گرفته شد که عوامل مورد بررسی در جدول ۴ قابل مشاهده است. فازی‌سازی جهت تعیین تناسب ارزیابی جهت کشت اسفرزه مطابق جدول ۵ انجام شد. نقشه‌ها پس از تعیین

جدول ۳- نقشه‌های مورد استفاده در اجرای روش MCE

Table 3- The used maps in implementing the MCE method

| منبع Source | مقیاس Scale | نام لایه Name of layer | ردیف Row |
|--|----------------|---|-------------|
| نقشه خاک فانو FAO soil map | 1:250000 | خاک Soil | 1 |
| سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی Geological survey of minerals | 1:250000 | سنگ Rock | 2 |
| سازمان نقشه‌برداری کشور National mapping agency | 1:250000 | ارتفاع Altitude | 3 |
| سازمان نقشه‌برداری کشور National mapping agency | 1:250000 | شیب Slope | 4 |
| سازمان نقشه‌برداری کشور National mapping agency | 1:250000 | جهت Direction | 5 |
| سازمان هواشناسی کشور National Meteorological Organization | | دما Temperature | 6 |
| سازمان هواشناسی کشور National Meteorological Organization | | بارندگی Precipitation | 7 |
| سازمان هواشناسی کشور National Meteorological Organization | | تبخیر و تعرق Evapotranspiration | 8 |
| سازمان راه و شهرسازی Road and Urban Development Organization | | شبکه جاده Road network | 9 |
| استخراج از تصویر ماهواره لندست (سنجنده OLI ۲۰۱۶) Extracted from landsat satellite image (OLI 2016 Sensor) | | کاربری اراضی Land use | 10 |
| استخراج از تصویر ماهواره لندست (سنجنده OLI ۲۰۱۶) Extracted from landsat satellite image (OLI 2016 Sensor) | | تراکم پوشش گیاهی Density of vegetation cover | 11 |
| مستخرج از نقشه کاربری اراضی Extracted from Land Use Map | | منابع آب water resources | 12 |
| سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان Regional Water Organization of Sistan and Baluchestan Province | | فاصله از رودخانه Distance from the river | 13 |

جدول ۴- نقشه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت اسفزه

Table 4- Maps used to assess land suitability for isabgol cultivation

| نقشه‌های محدودیت مورد استفاده Restriction maps used | نقشه‌های عوامل مورد استفاده Factor maps used |
|---|---|
| بافر ۳۰ متری از جاده Buffer 30 meters from the road | نقشه فازی بافت خاک Map fuzzy texture |
| شیب بالاتر از ۸ درصد Slope above 8% | نقشه فازی شیب Fuzzy slope map |
| بافر ۶۰ متری از رودخانه و آبراهه‌ها 60m buffer of rivers and waterways | نقشه فازی جهت Fuzzy direction map |
| بافر ۱۰۰ متری از سکونتگاه‌های انسانی 100 m buffer from human settlements | نقشه فازی بارش Fuzzy precipitation map |
| | نقشه فازی کاربری و پوشش اراضی Fuzzy cluster of land use and land cover |
| | نقشه فازی فاصله از جاده‌ها Fuzzy road distance map |
| | نقشه فازی فاصله از رودخانه و آبراهه‌ها Fuzzy of distance from rivers and streams map |
| | نقشه فاصله از سکونتگاه‌های انسانی Map of distance from human settlements |
| | نقشه فازی تبخیر و تعرق Fuzzy evapotranspiration map |
| | نقشه فازی دما Fuzzy temperature map |
| | نقشه فازی ارتفاع Fuzzy altitude map |

جدول ۵- نحوه فازی سازی و نقاط کنترل عوامل در ارزیابی تناسب اراضی گیاه اسفرزه

Table 5- Method to fuzzify and control points of factors in assessing the suitability of isabgol

| عامل Factor | روش فازی و نقاط کنترل عوامل گیاه اسفرزه Fuzzy Approach and control points for isabgol |
|----------------|--|
| 1 | ارتفاع Altitude (m) J شکل صفر تا ۱۱۰۰ متر یک، ۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر کاهشی، بیشتر از ۱۵۰۰ متر صفر J shape to 1100 meters one, 1100 to 1500 meters subtracted, more than 1500 meters zero |
| 2 | شیب Slope (%) خطی صفر تا ۴ درجه ۱، ۴ تا ۸ درجه کاهشی و بیشتر صفر Linear 0 to 4 degrees 1, 4 to 8 degrees is descending and more is zero |
| 3 | جهت aspect جنوب و جنوب شرق و بدون جهت برابر یک، شرق و شمال شرق ۰/۶، بیشتر ۰/۱ South and southeast without direction is one, east and north east is 0.6 and more is 0.1 |
| 4 | بافت خاک soil texture لومی شنی - لومی - شنی برابر یک، شنی لومی - لومی رسی شنی - لومی رسی سیلتی برابر ۰/۵، بقیه صفر Sandy loamy, loam, sandy is onem lomly sand, sand clay loamy, silty caly loam is 0.5 and other is zero |
| 5 | کاربری و پوشش اراضی Land use and land cover مطابق جدول ۶ According to Table 6 |
| 6 | فاصله رودخانه و آبراهه‌ها Distance of rivers and waterways (m) خطی کاهشی از ۶۰ Decrease line of 60 |
| 7 | فاصله از جاده‌ها Distance from road (m) صفر تا ۳۰ از ۳۰ تا ۵۰۰ ثابت و بیشتر کاهشی 0 to 30 zeros From 30 to 500 constants and more decreasing |
| 8 | فاصله از روستا Distance from village (m) 0 تا 100 صفر و بیشتر کاهشی 0 to 100 zeros and more decreasing |
| 9 | میانگین بارش سالانه Average annual precipitation (mm) 0 تا 50 صفر 50 تا 135 افزایشی 135 و بیشتر 1 0 to 50 is zero; 50 to 135 increasing; 135 and more is 1 |
| 10 | میانگین دما سالانه Average annual temperature (°C) 0 تا 12 صفر، 12 تا 20 افزایشی 20 تا 30 و بیشتر کاهشی 0 to 12 is zeros; 12 to 20 increasing; 20 to 30 increasing and more decreasing |
| 11 | تبخیر و تعرق سالانه Annual evapotranspiration خطی کاهشی Decreased linearly |

MCE پرداخته شد. بر اساس مطالب فوق، هریک از عوامل برای ارزیابی تناسب فازی شدند (جدول ۷). در نهایت نقشه‌های ارزیابی تناسب اراضی برای گونه اسفرزه را بدون در نظر گرفتن محدودیت و نقشه بولین محدودیت ارائه شد.

به‌منظور تهیه نقشه‌های تناسب اراضی سیستان جهت کشت اسفرزه در محیط نرم‌افزار IDRISI، در ابتدا فرمول قابل اجرای مربوط به هر گونه مطابق جدول ۶ تهیه شده و در ادامه با استفاده از ماژول محاسبه گر رستری به بررسی و اجرای فرمول

جدول ۶- طبقات کاربری اراضی فازی شده و اولویت های آن برای ارزیابی تناسب گیاه اسفرزه

Table 6- Fuzzy land use category and its priorities for evaluation of isabgol land suitability

| الویت | طبقات کاربری و پوشش اراضی | ردیف |
|----------|-------------------------------------|------|
| Priority | Land use and land coverage | Row |
| 0 | منابع آب Water resources | 1 |
| 0.6 | باغ Garden | 2 |
| 0.8 | بایر Arid | 3 |
| 0 | بیرون زدگی سنگی Rock outcropping | 4 |
| 0 | تالاب Wetland | 5 |
| 0 | تپه شنی Sandy hill | 6 |
| 0.3 | جنگلکاری Forestry | 7 |
| 0.2 | درختزار Woodlands | 8 |
| 0 | دریاچه شور Saline lake | 9 |
| 0 | اراضی شور Saline lands | 10 |
| 1 | کشاورزی Cropland | 11 |
| 0.7 | مرتع ضعیف Poor rangeland | 12 |
| 0.7 | مرتع متوسط Medium rangeland | 13 |
| 0 | مسیل Stream | 14 |
| 0 | مناطق شهری Urban area | 15 |

جدول ۷- فرمول اجرایی MCE گونه اسفرزه

Table 7- MCE formula for isabgol

MCE: (نقشه فازی جهت $\times 0.19$) + (نقشه فازی شیب $\times 0.448$) + (نقشه فازی ارتفاع $\times 0.064$) + (نقشه فازی کاربری اراضی $\times 0.056$) + (نقشه فازی سکونت گاه های انسانی $\times 0.056$) + (نقشه فازی خاک $\times 0.125$) + (نقشه فازی فاصله از رودخانه $\times 0.12$) + (نقشه فازی فاصله از جاده $\times 0.04$) + (نقشه فازی بارش $\times 0.163$) + (نقشه فازی دما $\times 0.23$) + (نقشه فازی تبخیر و تعرق $\times 0.76$) \times (نقشه بولین شیب \times نقشه بولین رودخانه \times نقشه بولین ارتفاع \times نقشه بولین جاده ها \times نقشه بولین سکونتگاه های انسانی)

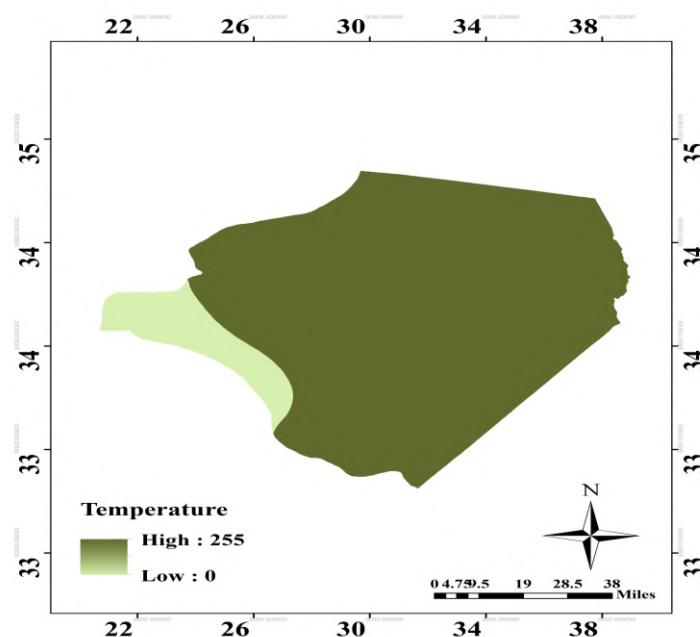
MCE: (Fuzzy map of direction $\times 0.019$) + (Fuzzy map of slope $\times 0.0448$) + (Fuzzy map of height $\times 0.064$) + (Fuzzy map of land use $\times 0.056$) + (Fuzzy map of human settlements $\times 0.056$) + (Fuzzy map of soil $\times 0.125$) + (Fuzzy map of distance from the river $\times 0.12$) + (Fuzzy map of distance from the road $\times 0.04$) + (Fuzzy map of rainfall $\times 0.163$) + (Fuzzy map of temperature $\times 0.23$) + (Fuzzy map of evapotranspiration $\times 0.76$) + (Boolean map of slope \times Boolean map of river \times Boolean map of elevation \times Boolean map of road \times Boolean map of human settlements)

نتایج و بحث

پارامتر دمایی

نتایج حاصل از نقشه‌های ترسیم شده نشان می‌دهد که بیشترین میانگین دما در بخش‌های شمال، شرق و مرکزی و کمترین میانگین دما در بخش غربی شهرستان است. مناسب‌ترین منطقه برای کشت و پرورش اسفرزه مناطق معتدل و خنک است و در مناطق گرمسیری کشت آن موکول به ماه‌های خنک‌تر سال یعنی آبان و آذر می‌گردد (Zubair *et al.*, 2011). با توجه به سرما دوست بودن اسفرزه، مناطقی که درجه‌حرارت میانگین ۲۰-

۱۲ درجه سانتی‌گراد دارند، در طبقات کاملاً مناسب و مناسب قرار گرفتند (جدول ۴). نیمه شمالی (شهرستان‌های هیرمند، زابل و زهک) و شرق سیستان (شهرستان هامون) و نیمه شرقی شهرستان نیمروز قابلیت کشت این گیاه را دارند. در این بین نیمه غربی شهرستان نیمروز دارای دمای بالاتر نسبت به سایر ایستگاه‌ها بود که این امر کشت اسفرزه در این منطقه را محدود کرده است (شکل ۲). بنابراین از لحاظ میانگین دما، ۱۵۰۴۸۶/۸ و ۱۴۴۹۵۲/۳ هکتار از اراضی استان به ترتیب در گروه مناطق با طبقات بسیار مناسب و مناسب قرار گرفتند.



شکل ۲- دما مورد بررسی برای کشت اسفرزه در منطقه سیستان

Figure 2- Temperature investigated for isabgol cultivation in Sistan region

پارامترهای هیدرولوژی

اسفرزه گیاهی است با نیاز آبی کم که جهت رشد بهینه خود نیازمند دریافت حداقل ۱۳۵ میلی‌متر آب است (Dhar *et al.*, 2005). این نیاز آبی از طریق بارش ماه‌های پاییز، زمستان و بهار و یا از طریق آبیاری‌های تکمیلی قابل تأمین و جبران است. از نظر اقلیمی این دشت در تیپ اقلیم خشک بیابانی قرار دارد و متوسط بارندگی سالیانه آن کمتر از ۶۵ میلی‌متر است؛ در عین حال میزان تبخیر در آن قریب به ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. مقادیر زیاد تبخیر از خاک حاکی از کمبود دسترسی به آب برای گیاه در طول دوره رشد است. با توجه به اینکه در

تمامی مناطق خشک مانند سیستان نظام‌های کشاورزی از نوع نظام‌های مبتنی بر آبیاری کامل یا تکمیلی می‌باشد و در این تحقیق نیز نظام کشت مبتنی بر آبیاری تکمیلی اسفرزه مورد توجه بوده است لذا لایه ی بارش در ارزیابی با ضریب پایین ارزش گذاری شد.

پارامترهای توپوگرافی

ارتفاع از سطح دریا از مهم‌ترین عوامل توپوگرافی در تعیین تنوع، غنا و زیستگاه یک گونه گیاهی به حساب می‌آید (Hortal *et al.*, 2013). با افزایش بیش از حد ارتفاع از سطح دریا،

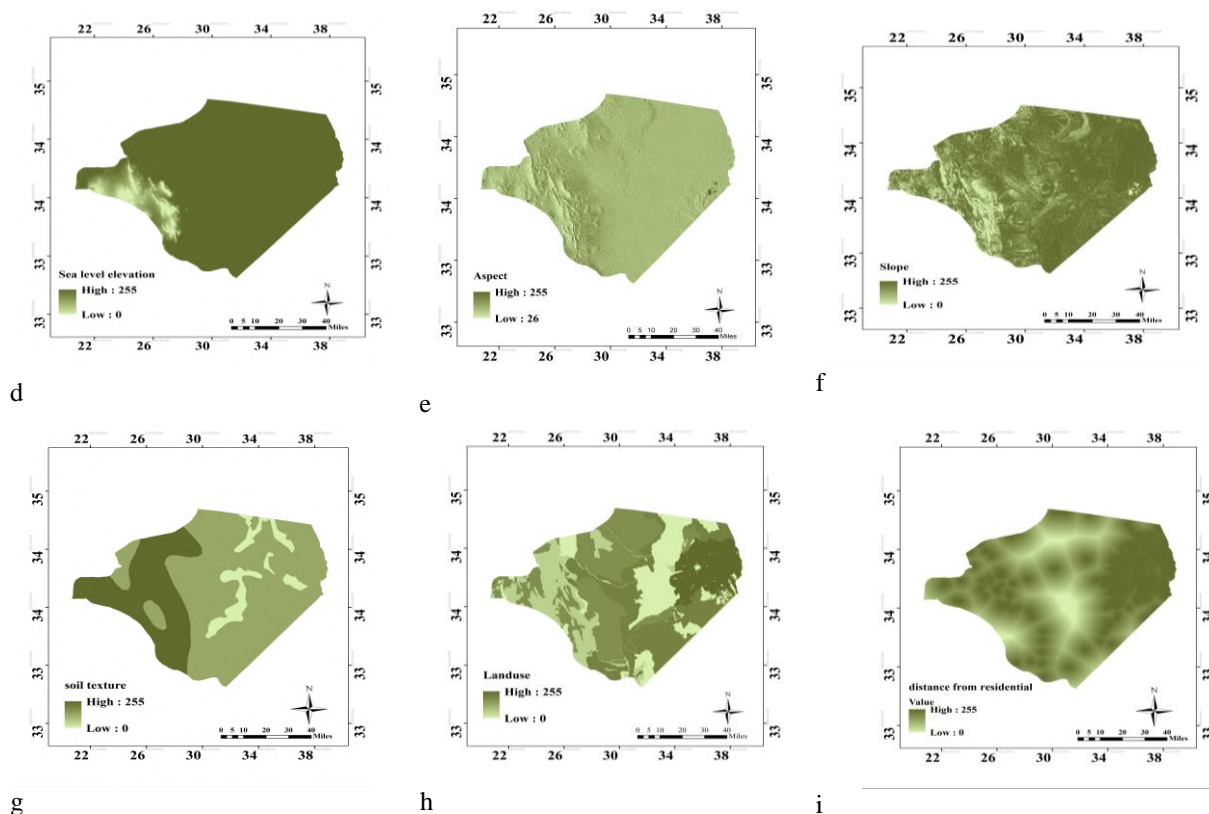
اسفرزه مناطق با جهت شیب جنوبی را ترجیح می‌دهد. ۷۷۴۹۰/۲ هکتار از اراضی منطقه دارای جهت شیب مناسب می‌باشد و در گروه مستعد کشت قرار می‌گیرند (جدول ۵). این در حالی است که تنها ۴۵۷۳/۵ هکتار از اراضی دارای جهت شیب نامطلوب شرق و شمال شرق می‌باشند (جدول ۸). هم‌چنین در صورت وجود بافت‌های سبک تا متوسط و عدم احتمال آب ایستادگی و یا تحت شرایط آبیاری بارانی، اسفرزه می‌تواند برای این منطقه ایده‌آل می‌باشند (Rusere et al., 2011; Zubair et al., 2019). از این‌رو با توجه به جدول ۴، ۳۳۶۸۸/۷۱ هکتار از اراضی استان دارای بافت شنی لومی-لومی رسی شنی-لومی و مناسب جهت کشت اسفرزه می‌باشند. علاوه بر این تنها ۹۱۹۱/۸ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه سیستان دارای قابلیت پایین کشت از لحاظ بافت خاک برای این گیاه هستند (جدول ۸).

هدف از طبقه‌بندی کاربری اراضی، مشخص نمودن ارزش اراضی کشاورزی است. این طبقه‌بندی بر اساس عوامل محدود کننده مانند تپه‌های شنی و عوارض طبیعی شکل می‌گیرد. براساس نقشه کاربری اراضی بخش‌های مناسب از نظر کشاورزی ارزش گذاری شده است و اراضی کشاورزی، بایر و مراتع متوسط و ضعیف به‌عنوان مناسب‌ترین بخش‌ها برای کشت اسفرزه در نظر گرفته شده است (جدول ۷ و شکل ۴). بنابراین نتایج نشان می‌دهد که منطقه سیستان، به‌خصوص اراضی هیرمند و زهک با داشتن مراتع و اراضی مناسب می‌توانند سهم خود را از تولید این گیاه دارویی ارزشمند افزایش دهند. بطور کلی ۱۹۷۸۴/۱۶ هکتار از اراضی منطقه دارای کلاس بسیار مناسب و ۸۹۸۶۹/۱۴ هکتار از اراضی کلاس مناسب، ۲۴۷۵۹ هکتار از اراضی دارای کلاس تناسب بحرانی و ۳۰۲۵۸/۶۳ هکتار دارای کلاس نامناسب طبقه‌بندی شدند (جدول ۸). با توجه به اینکه میزان نزولات جوی در این منطقه پایین است و با توجه به اینکه گیاه اسفرزه در تمامی مراحل رشد و نمو علاوه بر بارش‌های جوی نیاز مبرم به آبیاری دارند و متعاقباً در راستای آن باید در مکان‌هایی کشت شوند که اولاً دسترسی به آب‌های سطحی ممکن باشد و ثانیاً سطح آب‌های زیرزمینی به اندازه کافی باشد. بنابراین نتایج نشان داد که ۶۱۷۱۹/۱۲ هکتار از اراضی منطقه با توجه به فاصله از رودخانه دارای قابلیت تأمین آب آبیاری کافی جهت کشت گیاه اسفرزه را دارا می‌باشند.

مجموع عوامل اکولوژیکی مانند شرایط اقلیمی، خاکی و غیره که در رشد و نمو گیاهان تأثیر بسزایی دارند، حالت نامساعد پیدا کرده و باعث ایجاد شرایط نامناسب برای رشد مطلوب گیاه می‌شوند (Jones and Maberly, 2003). ارتفاع از سطح دریا می‌تواند اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر رشد گیاه زراعی داشته باشد. با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان کیفیت نور دریافتی تغییر کرده و تشعشعات فرابنفش باعث نقصان رشد گیاه می‌شود (Hortal et al., 2013). علاوه بر این افزایش ارتفاع از سطح دریا باعث تأخیر در گل‌دهی گیاه نیز می‌شود (Guangcai and Dongbing, 1995). بررسی‌ها نشان داد که گیاه اسفرزه در ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۱۱۰۰ متر از سطح دریا بهترین رشد را دارد (Zubair et al., 2011). در این خصوص مناطق جنوب، شرق و شمال غربی سیستان (شهرستان‌های هیرمند، زهک، زابل و هامون) دارای ارتفاع مطلوب جهت کشت این گیاه هستند.

شیب زمین دیگر عامل توپوگرافی مهم است که تأثیر زیادی روی گیاه زراعی دارد. برای تمام گیاهان زراعی هرچه درجه شیب زمین کمتر باشد، شرایط برای رشد مناسب‌تر است. چرا که با افزایش درجه شیب عمق خاک به‌دلیل فرسایشات بادی و خاکی کم شده و شرایط برای کشت گیاه نامطلوب می‌شود (Hongratanaworakit, 1994). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که ۲۵۰۲۷۸/۴ هکتار از اراضی سیستان دارای شیب بین صفر تا ۴ درصد می‌باشند (جدول ۸). اکثر مناطق سیستان دارای شیب قابل قبول جهت کشت گیاهان هستند و تنها ۱۰۹۵۵۰/۶ هکتار از اراضی کوهستانی در کلاس نامناسب قرار گرفتند. مناطق شمال، شمال غرب، جنوب و جنوب شرق سیستان با دارا بودن زمین‌های هموار و صاف مستعد دریافت نور بیشتر و دمای مطلوب رشد هستند. مناطق با شیب‌های کم قدرت بالایی در نفوذ بهتر آب و ذخیره رطوبتی خاک می‌توانند داشته باشند که در مراحل بحرانی رشد گیاه می‌تواند کارا باشد و با تأمین نیاز آبی گیاه می‌تواند تنش کم آبی گیاه را رفع نماید (Alavi-Zadeh et al., 2013). هم‌چنین در شیب‌های تند هنگام بارندگی علاوه بر اینکه آب کمی در زمین نفوذ می‌کند، آب‌های جاری مواد غذایی را شسته و از منطقه خارج می‌کند (Hongratanaworakit, 1994).

در نیمکره شمالی نواحی رو به جنوب میزان بیشتری از انرژی خورشید را نسبت به سایر نقاط دریافت می‌کنند. گیاه



شکل ۴- پارامترهای توپوگرافی مورد بررسی برای کشت اسفرزه در منطقه سیستان: (d) ارتفاع از سطح دریا، (e) جهت شیب، (f) شیب، (g) بافت خاک، (h) کاربری اراضی، (i) فاصله از مناطق مسکونی

Figure 4- Topographic parameters investigated for Psyllium cultivation in Sistan area: d) sea level elevation, e) Aspect, f) slope, g) soil texture, h) land use, i) distance from residential

غربی و شمال شرقی برای کشت اسفرزه دارای کلاس بسیار مناسب می‌باشند (شکل ۵) که ۱۹۲۸۴/۳۹ هکتار از منطقه را شامل می‌شود (جدول ۹). بخش‌های از سیستان با مساحت ۴۳۳۵/۸۵ هکتار و در حدود ۲۲ درصد از کل اراضی دارای کلاس تناسب بحرانی و بیشترین قسمت از بخش‌های میانی با مساحت ۵۷۹۹۹/۲۴ هکتار و در حدود ۲۹ درصد از کل اراضی از کلاس مناسب برخوردار است. به‌طور پراکنده قسمت‌هایی از غرب و جنوب غربی و قسمت محدودی از شمال شرقی که ۲۵۹۵۶/۷۲ هکتار از منطقه را شامل می‌شود فاقد استعداد کشت اسفرزه می‌باشد. بر اساس نقشه‌های ایجاد شده بر اساس مدل بولین به‌منظور امکان‌سنجی نواحی مستعد کشت اسفرزه نتایج نشان داد که بیشترین مناطق مستعد برای کشت اسفرزه در قسمت‌های شمال غربی و قسمت محدودی از جنوب غربی و شمال شرقی می‌باشد.

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با روش WLC

بررسی نقشه نهایی حاصل از مدل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که بخش‌های شمالی، بخش‌هایی از غرب و جنوب غربی و بخش محدودی از شمال شرقی دارای کلاس بسیار مناسب برای کشت اسفرزه است. مساحت این نواحی ۲۵۹۵۶/۷۲ هکتار و در حدود ۱۳ درصد از کل اراضی شده است (جدول ۹). بخش‌های شمال، جنوب و شرق منطقه از کلاس تناسب بحرانی برای کشت برخوردار هستند. این نواحی ۵۵۳۵۵/۰۴ هکتار از منطقه را پوشش می‌دهند. قسمت‌هایی از شمال غربی و جنوب غربی و قسمت محدودی از مرکز دشت سیستان که دارای پراکنش بیشتر است قابلیت‌های ضعیفی را برای کشت اسفرزه دارند که این ۶۵۶۸۴/۷ هکتار از اراضی را شامل می‌شوند. نواحی محدودی از غرب، جنوب غربی و مناطق میانی دشت سیستان فاقد استعداد لازم برای کشت می‌باشد این نواحی ۱۹۲۷۰/۳۵ هکتار را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین بررسی نقشه بولین محدودیت نشان می‌دهد که قسمت‌های از نواحی شمال غربی و قسمت محدودی از جنوب

جدول ۸- مساحت اراضی (هکتار) مربوط به هر طبقه از تناسب اراضی منطقه سیستان برای کشت اسفرزه

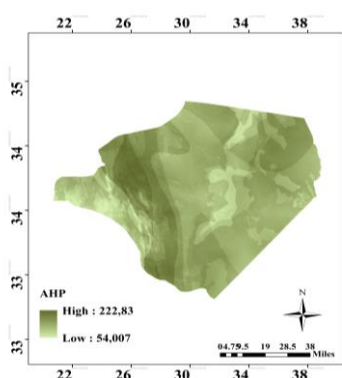
Table 8- Land area (ha) for each category of Sistan land suitability for isabgol cultivation

| نا مناسب Not suitable | تناسب بحرانی Marginally suitable | مناسب Suitable | کاملاً بسیار مناسب Highly suitable | متغیر Variable |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--|
| 79643.97 | 33719.31 | 12231.45 | - | بارش Precipitation |
| - | 505.35 | 144952.3 | 150486.8 | دما Temperature |
| 277935.2 | 258318.5 | 108925.9 | 16950.06 | تبخیر و تعرق Evapotranspiration |
| 47614.86 | 67173.57 | 73312.56 | 146172.1 | ارتفاع از سطح دریا Altitude |
| 109550.6 | 122758.2 | 181278.9 | 250278.4 | شیب Slope |
| 4573.8 | 41753.07 | 77940.54 | - | جهت شیب Slope direction |
| 9191.88 | 82695.5 | 33688.71 | - | یافت خاک Soil texture |
| 30528.63 | 24759 | 89869.14 | 19784.16 | کاربری اراضی Land use |
| 79643.97 | 33719.31 | 12231.45 | - | فاصله از جاده Road distance |
| 17789.13 | 38785.14 | 47808.27 | 61719.12 | فاصله از رودخانه و آبراهه ها distance from rivers and streams |

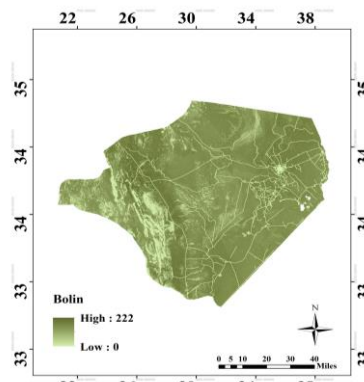
جدول ۹- مساحت اراضی مربوط به هر طبقه از تناسب اراضی منطقه سیستان بر اساس مدل سلسله مراتبی و بولین جهت کشت اسفرزه

Table 9- Land area for each category of land suitability of Sistan based on AHP and Boolean model for isabgol cultivation

| مدل سلسله مراتبی AHP Model | | مدل بولین Boolean Model | | |
|-------------------------------|----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|
| درصد | هکتار | درصد | هکتار | |
| 10 | 19270.35 | 8 | 16185.33 | بسیار مناسب Highly suitable |
| 32 | 65684.7 | 29 | 57999.24 | مناسب Moderately suitable |
| 27 | 55355.04 | 22 | 43835.85 | تناسب بحرانی Marginally suitable |
| 13 | 25956.72 | 10 | 19284.39 | نامناسب Not suitable |



a



b

شکل ۵- نقشه ارزیابی تناسب گونه اسفرزه با (a) روش AHP و (b) بولین در منطقه سیستان

Figure 5- Assessment map of Psyllium species with (a) AHP method and (b) Boolean in Sistan area

نتیجه‌گیری کلی

زیرا در روش بولین به علت محدود بودن انتخاب و دامنه مقادیر معیارها در فرایند امکان‌سنجی، انعطاف‌پذیری وجود ندارد. اراضی انتخاب شده بر اساس این روش به‌طور قطع دارای بهترین شرایط بر اساس معیارهای تعریف شده است.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی PR-UOZ98-5 و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره IR-UOZ-GR-6673 انجام گردید انجام گردیده است.

شناسایی ویژگی‌های محلی مرتبط با تولید کشاورزی، نظیر اقلیم و شرایط توپوگرافی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و پهنه‌بندی مناسب آن‌ها از اهداف این پژوهش بود. براساس نقشه‌های بدست آمده از روش بولین و روش سلسله مراتبی می‌توان بیان نمود که قسمت‌های شمال غربی و جنوب غربی منطقه از شرایط بهینه برای کشت اسفرزه برخوردار است. در این مطالعه ارزیابی تناسب گونه بر اساس دو روش AHP و بولین انجام شد. نتایج نشان داد که مناطق کشت مستعد برای کشت این گیاه در روش بولین نسبت به روش AHP کمتر است؛

References

- Alavi Zadeh, S.A.M., Monazzam Esmaeel Pour, A. and Hossein Zadeh Kermani, M. 2013. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. *Saffron Agronomical Technology*, 1: 71-95. (In Persian).
- Asgharipour, M. and Raffiei, M. 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago Ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 4(3): 341-348.
- Asgharipour, M.R., Mousavinik, S.M. and Enayat, F.F. 2016. Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports*, 2: 135-140.
- Barzehkar, M., Dinan, N.M., Mazaheri, S., Tayebi, R.M. and Brodie, G.I. 2019. Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). *SN Applied Sciences*, 1(9): 1082-1098.
- Behniafar, A. and Mansory Daneshvar, M. 2010. Zoning and land use planning with multi-agent approach to evaluating the use of AHP model in order to develop tourism in GIS environment: A case study, Golmakan catchment. *Journal of Ecology*, 39: 13-25.
- Dhar, M.K., Kaul, S., Sareen, S. and Koul, A.K. 2005. *Plantago ovata*: genetic diversity, cultivation, utilization and chemistry. *Plant Genetic Resources*, 3(2): 252-263.
- Dinpazhoh, I. 2010. Evaluation of evapotranspiration trend of monthly reference plant potential in Zabol. *Newbar*, 34: 23-34. (In Persian).
- El Jazouli, A., Barakat, A. and Khellouk, R. 2019. GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1): 3.
- Falasca, S., Pitta-Alvarez, S. and del Fresno, C.M. 2015. *Salvadora persica* agro-ecological suitability for oil production in Argentine dryland salinity. *Science of the Total Environment*, 538: 844-854.
- Gamal, E., Khder, G., Morsy, A., Ali, M., Hashim, A. and Saleh, H. 2020. Using GIS based modelling to aid conservation of two endangered plant species (*Ebenus Armitagei* and *Periploca Angustifolia*) at Wadi Al-Afreet, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100336.
- Guangcai, C. and Dongbing, W. 1995. Effect of Altitude Above Sea Level Upon the Number of Growing Days of Maize in Dryland Farming Area of North China [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 4: 12-22.
- Hongratanaworakit, T. 1994. Relaxing effect of rose oil on humans. *Nat. Prod.*
- Hortal, J., Carrascal, L.M., Triantis, K.A., Thébault, E., Meiri, S. and Sfenthourakis, S. 2013. Species richness can decrease with altitude but not with habitat diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(24): 2149-2150.
- Hosseinzadeh, S.R. 1997. 120-day winds. *Geographical Research Quarterly*. No. 46. Mashhad.

- Jones, J.I., Li, W. and Maberly, S.C. 2003. Area, altitude and aquatic plant diversity. *Ecography*, 26(4): 411-420.
- Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K. and Jutidamrongphan, W. 2019. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, 149: 220-235.
- Kihoro, J., Bosco, N.J. and Murage, H. 2013. Suitability analysis for rice growing sites using a multicriteria evaluation and GIS approach in great Mwea region, Kenya. *SpringerPlus*, 2(1): 265- 276.
- Kuiper, P.J. and Bos, M. 2012. *Plantago: a multidisciplinary study* (Vol. 89). *Springer Science & Business Media*.
- Lavasani, A., Ghanbari, A. and Asgharipour, M.R. 2015. Sustainability evaluation of wheat, onion and garlic agricultural systems by joint use of emergy and economic accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3): 31-41 (In Persian).
- Liu, J. 2009. A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. *Environmental Modelling & Software*, 24(3): 411-422.
- Machiwal, D. and Singh, P.K. 2015. Comparing GIS-based multi-criteria decision-making and Boolean logic modelling approaches for delineating groundwater recharge zones. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12): 10675-10691.
- Mardani Najafabadi, M.M., Ziaee, S., Nikouei, A. and Borazjani, M.A. 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232.
- Mazahreh, S., Bsoul, M. and Hamoor, D.A. 2019. GIS approach for assessment of land suitability for different land use alternatives in semi arid environment in Jordan: Case study (Al Gadeer Alabyad-Mafraq). *Information Processing in Agriculture*, 6(1): 91-108.
- Mohamed, E.S., Saleh, A.M. and Belal, A.A. 2014. Sustainability indicators for agricultural land use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(1): 1-15.
- Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J. and Pooyan, M. 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4): 681-699. (In Persian)
- Murmu, P., Kumar, M., Lal, D., Sonker, I. and Singh, S.K. 2019. Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques and analytical hierarchy process in Dumka district, Jharkhand, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 100239.
- Neamatollahi, E., Bannayan, M., Jahansuz, M.R., Struik, P. and Farid, A. 2012. Agro-ecological zoning for wheat (*Triticum aestivum*), sugar beet (*Beta vulgaris*) and corn (*Zea mays*) on the Mashhad plain, Khorasan Razavi province. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(1): 99-112.
- Nguyen, T.T., Verdoodt, A., Van Y.T., Delbecque, N., Tran, T.C. and Van Ranst, E. 2015. Design of a GIS and multi-criteria based land evaluation procedure for sustainable land-use planning at the regional level. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200: 1-11.
- Nisar Ahamed, T.R., Gopal Rao, K. and Murthy, J.S.R. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems*, 63: 75-95.
- Nuthammachot, N. and Stratoulis, D. 2019. A GIS-and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest, Thailand. *Geocarto International*, 12: 1-14.
- Ostovari, Y., Honarbakhsh, A., Sangoony, H., Zolfaghari, F., Maleki, K. and Ingram, B. 2019. GIS and multi-criteria decision-making analysis assessment of land suitability for rapeseed farming in calcareous soils of semi-arid regions. *Ecological Indicators*, 103: 479-487.
- Reddy, G.O., Ramamurthy, V. and Singh, S.K. 2018. Integrated Remote Sensing, GIS, and GPS Applications in Agricultural Land Use Planning. In *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management* (pp. 489-515). *Springer, Cham.*, 489-515.

- Rusere, F., Mkuhlani, S., Crespo, O. and Dicks, L.V.** 2019. Developing pathways to improve smallholder agricultural productivity through ecological intensification technologies in semi-arid Limpopo, South Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 1: 1-11.
- Shokati, B. and Feizizadeh, B.** 2019. Sensitivity and uncertainty analysis of agro-ecological modeling for saffron plant cultivation using GIS spatial decision-making methods. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(3): 517-533.
- Sistan and Baluchistan Province Statistical Yearbook 1394 (Iranian Year) [2015-2016].** 2016. Publisher: Statistical Centre of Iran, p. 640 (In Persian).
- Tomar, O.S., Dagar, J.C. and Minhas, P.S.** 2010. Evaluation of sowing methods, irrigation schedules, chemical fertilizer doses and varieties of *Plantago ovata* Forsk. to rehabilitate degraded calcareous lands irrigated with saline water in dry regions of northwestern India. *Arid Land Research and Management*, 24(2): 133-151.
- Vilček, J. and Torma, S.** 2016. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) growth potential in the Slovak rural landscape. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(2): 235-245.
- Wang, C.L., Zhu, Z.L., Bai, L.B., Cheng, S.J. and Cai-Ling, L.U.** 2015. Effects of the landscape pattern dynamic changes on ecological service value: A case study in the central Ningxia arid zone. *Arid Zone Research*, 32(2): 329-335.
- Zubair, M., Nybom, H., Lindholm, C. and Rumpunen, K.** 2011. Major polyphenols in aerial organs of greater plantain (*Plantago major* L.), and effects of drying temperature on polyphenol contents in the leaves. *Scientia Horticulturae*, 128(4): 523-529.

Agro-ecological zoning of isabgol in Sistan region using Boolean models and hierarchical analysis processing approach

Mohammad Reza Asgharipour^{1*}, Zahra Marzban²

¹ Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Ph.D Graduated of Agroecology, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: m_asgharipour@uoz.ac.ir

Received: 24 October 2021

Accepted: 16 January 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.311771.1149

Abstract

Introduction: Because of the ever-increasing human population and the limited quantity of resources that are currently accessible, it is imperative that these resources be used as effectively as possible. The Sistan region experiences a significant lot of hardship in terms of the availability of water and soil that are suited for agricultural purposes (Wang et al., 2015). The elimination of discrimination between different regions, the guaranteeing of food security, and the lessening of the severity of deprivation among the population of the world are some of the key objectives of sustainable agriculture in the context of environmental protection (Shokati and Feizizadeh, 2019). The cultivation of medicinal plants such as isabgol, which have a low requirement for moisture, a high tolerance to drought, and a high value added, are key solutions for dealing with a multitude of environmental, economic, and social constraints in the Sistan region (Asgharipour and Rafiei, 2010). Using a method known as spatial analysis, the purpose of this study was to determine the agro-ecological zoning of the isabgol plant in the Sistan region in order to identify potential areas for the cultivation of this plant in the Sistan region. This was accomplished in order to fulfill the objective of this research.

Materials and methods: In the course of this research, the climatic, topographic, and hydrological layers of the area were analyzed. The appropriate planting areas were zoned using a Geographic Information System (GIS) technique that consisted of Boolean models and Hierarchical Analysis Processing (AHP). In this study, equivalence maps were created with Arc/GIS 10, and then the two-dimensional matrix of each layer was mapped in order of importance using the Idrisi software. Finally, the degree of importance of each component was calculated. At the very end of the process, final maps were produced by combining existing maps in Arc/GIS 10.

Results and discussion: According to the findings, only 11 percent of the total arable land area is suitable for the cultivation of isabgol, while 42 percent is suitable, 42 percent is moderately suitable, 31 percent is marginally suitable, and 14 percent is not suitable at all. According to the final map, the areas of the Sistan area that have the greatest potential for isabgol cultivation include the northern parts of the area, as well as parts of the west and southwest, and a small portion of the northeast of the region. Isabgol could be grown successfully in the majority of Zabol's landscapes thanks to the region's favorable growing conditions. However, there are areas of the northwest and a portion of the southwest and northeast, as well as scattered parts of the west and southwest and a portion of the northeast, that are not appropriate for the cultivation of isabgol. Due to the high precision of the Boolean model and the inherent limitations of the AHP model in this respect, the Boolean model also provides better results than the AHP model. Therefore, it is possible to draw the conclusion that the final map that was derived from the Boolean model is very accurate and that it can be used for locating suitable land areas for isabgol in arid and semiarid regions of Iran.

Conclusion: It is possible to apply feasibility assessment models for the aim of management awareness in order to plan appropriately and to maintain environmental sustainability. This can be accomplished through the utilization of management awareness. These models are used to identify medicinal plants that are capable of thriving in each region and are suited for cultivation there. In addition, prospective land-based planning is the best alternative for averting the ongoing crises and lessening the impacts on the environment. This is because prospective land-based planning is focused on looking forward.

Keywords: Feasibility study, Boolean model, AHP, Medicinal plants, GIS

تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه داروئی خار مریم (*Silybum marianum*)

مصطفی سارانی ملاک^۱، مریم اله دو^{۲*}، لیلا مهرآوران^۲، حلیمه پیری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

۳- گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: Maryam.allahdou@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.322452.1175

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

تنش کمبود آب رفتار گیاهی را از طریق تأثیر بر متابولیسم گیاهی تغییر داده و بنابراین تأثیر زیادی در تولیدات گیاهان دارد. به منظور ارزیابی تأثیر تنش خشکی روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه خارمریم، تیمارهای ۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در گلخانه شهرستان هیرمند روستای شندل بر گیاه اعمال و برداشت در مراحل مختلف شامل ۶ و ۱۳ هفته بعد از کاشت انجام و صفاتی نظیر وزن خشک، وزن تر، میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، پرولین و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد سنجش قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری در اثر زمان برداشت، سطوح مختلف آبیاری و اثر متقابل زمان برداشت و سطوح مختلف آبیاری نشان داد. میزان کاروتنوئید با افزایش شدت تنش در هر دو مرحله برداشت شروع به کاهش کرد. میزان کلروفیل a در مرحله ۶ هفته بعد از کاشت، کمتر از ۱۳ هفته بعد از کاشت بود ولی در هر دو مرحله، با افزایش تنش میزان آن کاهش پیدا کرد. میزان پروتئین و پرولین نیز با افزایش شدت تنش افزایش یافت. میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز با افزایش شدت تنش افزایش یافت، بطوری‌که در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی کمترین مقدار و در شرایط ۲۵ درصد نیاز آبی به حداکثر مقدار رسید. نتایج این تحقیق ثابت کرد که گیاه خارمریم سازگاری خوبی به تنش خشکی داشته که احتمالاً به دلیل کاهش صدمات اکسیداتیو با القای سیستم آنتی‌اکسیدانی و تجمع اسمولیت‌هایی نظیر پرولین و پروتئین می‌باشد که این تغییرات نوعی سازگاری به شرایط تنش محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، آنزیم، تنش، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاتالاز

مقدمه

اهمیت دارویی این گیاه به دلیل حضور گروهی از فلاونوئیدها به نام سیلی‌مارین است. سیلی‌مارین ترکیبی از انواع فلاونوئیدها است که در آب نامحلول و در الکل محلول است. در بذره‌های گیاه خارمریم حدود ۴ درصد سیلی‌مارین وجود دارد که شامل ۵ فلاونوئید با نام‌های سیلیبین آ و ب، سیلیادین، سیلی کریستین و دی‌هیدروسیلیبین است. سیلیبین ترکیب اصلی سیلی‌مارین (۵۰ تا ۶۰ درصد) است و بیشتر خواص بیولوژیکی سیلی‌مارین وابسته به حضور این ترکیب است (Dermarderson et al., 2011).

گیاه خارمریم به دلیل وجود فلاونوئیدها سیلی‌مارین در میوه‌های آن، به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی برای محافظت از کبد و درمان طیف وسیعی از بیماری‌های کبدی مانند کبد حاوی سموم و هیپاتیت کبدی در نظر گرفته شده است

خار مریم یک گیاه دارویی علفی یکساله /دوساله متعلق به خانواده بزرگ *Asteraceae*، با نام انگلیسی *milk thistle* یا *Mary's thistle* می‌باشد. این گیاه در سراسر جهان پراکنش داشته و قرن‌ها در اروپا، آفریقا، چین، هند و استرالیا رشد کرده، اما بومی منطقه مدیترانه است. خارمریم در مصر با نام شوک الحلیب^۱ شناخته شده و در طب سنتی چینی (TCM) نیز مورد توجه قرار گرفته است (Polyak et al., 2013). در کشور ما، این گیاه در استان گلستان، دشت مغان، شوش، اهواز، ایذه و کازرون گسترش یافته است (Ghahraman, 1983).

1. Shook Elgamel

2. Traditional Chinese Medicine

(*et al.*, 2002)، گلوکاتیون پراکسیداز، پراکسی رادوکسین، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز بوده که سبب تنظیم گونه‌های اکسیژن فعال و هموستازی رادوکس می‌شوند (Poulos and Mittler, 2005). آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی خیلی مهم می‌باشند به دلیل اینکه آن‌ها شامل فنلیک‌ها و فلاونوئیدها بوده که نه فقط از گیاه در برابر صدمات ROS دفاع می‌کنند بلکه همچنین این متابولیت‌ها خصوصیات دارویی داشته که ثابت شده است در برابر بیماری‌ها مفید باشند (Bozin *et al.*, 2008).

غربال‌گری فیتوشیمیایی برگ‌های جمع‌آوری شده از گیاه خارمریم در مزرعه و نیز کالوس حاصل از برگ نارس، وجود فلاونوئیدها، فنولیک‌ها، آلکالوئیدها، استروئیدها، تانن‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه را نشان داده است (Balian *et al.*, 2006). عملکرد میوه خارمریم و سیلیمارین بسته به شرایط محیطی، ژنوتیپ‌ها، تاریخ کاشت و برداشت، فاصله بین و داخل ردیف‌ها و شیوه‌های مختلف کشاورزی متفاوت است (Karkanis *et al.*, 2011). گزارش شده است که غلظت متابولیت‌های ثانویه گیاهان عمدتاً ترکیبات فلاونوئید و فنولیک تحت شرایط تنش افزایش می‌یابد (Kleinwächter, 2013) و Selmar and خارمریم بالا می‌برد (Zahir *et al.*, 2014). تحقیقات نشان داده است که تحت تنش خشکی در گیاه خارمریم، میزان کلروفیل برگ، اسکوربیک اسید و گلوکاتیون کاهش ولی میزان پراکسید هیدروژن، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، اسکوربات پراکسیداز و گلوکاتیون رادوکتاز افزایش یافته است (Elsayed *et al.*, 2019). تأثیر تنش خشکی متوسط و شدید (بر اساس کاهش رطوبت خاک) در میزان سیلیمارین و ترکیبات آن در گیاه خارمریم در شرایط مزرعه نشان داد که تنش خشکی میزان سیلیمارین را در بذور گیاه افزایش داده، بطوری‌که میزان سیلیمارین در تنش متوسط و شدید به ترتیب ۴ تا ۱۷ درصد بیشتر از شرایط نرمال بود (Keshavarz Afshar *et al.*, 2015).

تأثیر تنش خشکی بر روی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه *Maclura pomifera* نشان داد که با افزایش تنش میزان کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافته اما در شرایط تنش شدید (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان آن کاهش یافت. میزان پرولین و مانیتول در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال افزایش یافت.

(Abenavoli and Milic, 2017). با این حال، سایر فعالیت‌ها و عملکردهای بیولوژیکی بر اساس تداخل گیرنده‌های خاص با سیلی‌مارین در سال‌های اخیر به اثبات رسیده است. فعالیت‌های ضد سرطانی، محافظ قلب، هیپوکلسترولمی و محافظ عصبی از جمله فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه خارمریم در نظر گرفته می‌شود و کاربردهایی نیز در خصوص اثرات شیمی‌درمانی، ضد سرطان و محافظتی مشاهده شده است (Dheeraj *et al.*, 2018; Vilahur *et al.*, 2018). کاربرد درمانی خارمریم در درمان بیماری‌های قلبی عروقی در بزرگ‌ترین کتاب پزشکی رسمی در چین، Taiping Shenghui Fang، قبل از قرن دهم پس از میلاد توضیح داده شده است (Zhao *et al.*, 2019). سیلیبین توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) به عنوان یک گیاه دارویی برای بیماری‌های کبد تأیید شده است (Takke and Shende, 2019).

تنش‌های محیطی با تأثیر بر مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه تولید و غلظت مواد فعال در گیاهان را تغییر می‌دهند (Bohnert *et al.*, 1995). متابولیت‌های ثانویه نقش مهمی در مکانیزم‌های دفاعی بازی کرده و نیز یک منبع مهم از ترکیبات زیست‌فعال بوده که فعالیت‌های دارویی بر علیه بیماری‌های انسان دارند. با این وجود فلاونوئیدها نه تنها فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق آزادسازی رادیکال‌های آزاد داشته بلکه همچنین مسیرهای پیام‌دهی سلولی را در دفاع گیاهان در برابر تنش‌های محیطی تنظیم می‌کنند. گزارش شده است که تنش کمبود آب رفتار گیاهی را از طریق تأثیر بر متابولیسم گیاهی تغییر داده و تأثیر زیادی در تولیدات گیاهان دارد. لذا در معرض قرار دادن گیاهان در برابر تنش کمبود آب یک روش مفید برای بهبود تولید این سازنده‌های فعال می‌باشد (Bettaieb *et al.*, 2008). اگرچه، تنش خشکی باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS^1) شده که اثرات منفی در سطح سلول: صدمه به غشاء، DNA، لیپید و آمینواسیدها داشته و فعالیت آنزیم‌های متعددی را محدود می‌کند (Maurino and Flügge, 2008). به‌منظور به حداقل رساندن این صدمات، گیاهان سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی شامل هر دو نوع آنزیمی و غیرآنزیمی را فعال می‌کنند. آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی شامل سوپراکسیددسموتاز (Alscher

1. reactive oxygen species

فاکتور B در نظر گرفته شد. گلدان‌ها به طور نرمال آبیاری و هر دو روز یکبار محلول غذایی هوگلند به آن‌ها داده شد. چهار هفته بعد از کشت رژیم آبیاری تغییر کرده و تیمارهای مختلف آبیاری اعمال شد. جهت اعمال تنش خشکی از روش وزنی (با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم) استفاده شد؛ بدین‌صورت که پس از اختلاط خاک و اضافه نمودن آن به گلدان‌ها، گلدان‌ها به‌صورت کامل اشباع شده و سپس روی گلدان‌ها جهت جلوگیری از تبخیر آب پوشانده شد. خروج آب ثقلی از انتهای گلدان در بازه‌های زمانی مشخص تا زمانی که خروج آب ثقلی متوقف شود، اندازه‌گیری شد. وزن گلدان در این حالت به‌عنوان وزن در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. کلیه گلدان‌ها تا زمان استقرار گیاه به‌صورت کامل (چهار هفته بعد از کاشت) تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. سپس گلدان‌ها هر هفته توزین شدند. کمبود آب در هر گلدان تا حد رطوبت زراعی گیاه (براساس تغییرات وزن گلدان‌ها) محاسبه شد و حجم آب محاسبه شده در اختیار گیاه قرار می‌گرفت. برای اعمال تنش‌های ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، حجم آب به‌دست آمده در این گلدان‌ها داده شد. سپس ۶ هفته پس از کاشت و ۱۳ هفته پس از کاشت از همه تیمارها و نیز تیمار کنترل نمونه جمع‌آوری و به دو قسمت تقسیم شدند. یک قسمت برای محاسبه وزن تر و وزن خشک مورد استفاده قرار گرفته و قسمت دیگر در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد برای ارزیابی‌های بعدی قرار گرفت.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی

وزن تر و خشک گیاه: برای اندازه‌گیری وزن تر گیاه، کل اندام هوایی و ریشه گیاه به‌طور کامل از خاک جدا و بعد از حذف خاک از ریشه، گیاه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها بر روی کاغذ صافی قرار گرفته و در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خشک و با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد.

میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کاروتنوئیدها: مقدار نیم گرم از ماده تر گیاهی را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع آن را خرد کرده تا بخوبی پودر شود. ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به نمونه اضافه و با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. فاز بالایی به بالن شیشه‌ای منتقل و مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت

میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز تحت تأثیر تنش قرار گرفته و نسبت به شرایط کنترل افزایش یافت (Khaleghi et al., 2019).

مکانیزم‌های مقابله با تنش خشکی در گیاهان دارویی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، به شناسایی این مکانیزم‌ها کمک خواهد کرد. شناسایی آنزیم‌های دخیل در تحمل به تنش در دست‌کاری ژنتیکی این گیاه در جهت افزایش بیان ژن‌های رمزکننده این آنزیم‌ها مؤثر خواهد بود. همچنین با شناسایی میزان مقاومت این گیاه به تنش‌ها، می‌توان با کاربرد انواع تنش‌ها از جمله خشکی، میزان ترکیبات مؤثره در این گیاه را افزایش داده و از خصوصیات مفید آن‌ها بهره‌جست. بنابراین تحقیق حاضر تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری را در سطح فیزیولوژی و بیوشیمیایی بر روی این گیاه بررسی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مؤثر در این تنش را بررسی کرده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و اعمال تنش

بذور گیاه خارمریم از شرکت تولید بذر و نهال پاکان بذر تهیه شده و سپس در محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۲ دقیقه غوطه‌ور و بعد از شستشوی سطحی با الکل ۷۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی شده و مجدداً با آب مقطر استریل شستشو داده شد. سپس به منظور جوانه‌زنی به پتری دیش محتوی کاغذ صافی منتقل و در ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. آزمایش در شهرستان هیرمند، روستای شندل در تیر ماه ۱۳۹۹ به صورت زیر انجام شد:

گلدان‌های با اندازه یکسان انتخاب و حدود یک‌سوم گلدان‌ها با شن و بقیه گلدان‌ها با خاک سبک گلدان محتوی کود گرانول پر شده و بذور جوانه زده شده به گلدان‌ها منتقل و در گلخانه تحت دما و رطوبت کنترل شده (دمای ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ تا ۶۵ درصد) قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. زمان‌های مختلف برداشت (۶ هفته بعد از کاشت و ۱۳ هفته بعد از کاشت) فاکتور A و تیمارهای مختلف آبیاری شامل: شامل ۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی برای جبران کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی خاک به عنوان

(Yoshimura *et al.*, 2000)، پلی فنل اکسیداز در طول موج ۴۲۰ نانومتر (Janovitz-Klapp *et al.*, 1990) و سوپراکسید دسموتاز در طول موج ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه گیری شد (Giannopolities and Ries, 1977).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا داده‌ها در نرم افزار Minitab نسخه ۱۸ از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت، بدین صورت که ابتدا تست نرمالیتی داده‌ها با استفاده از روش کولموگراف اسمیرنوف انجام و پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، خطاها نیز از نظر نرمال بودن بررسی شدند. سپس تجزیه واریانس کلیه صفات و آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد با نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد (SAS 2010). نمودار مقایسه میانگین صفات با نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۷ رسم شد.

نتایج و بحث

وزن تر و وزن خشک

نتایج تجزیه واریانس برای صفت وزن تر و وزن خشک برای فاکتور زمان برداشت و تیمارهای آبیاری معنی دار شد. میزان وزن تر و وزن خشک در مراحل مختلف برداشت اختلاف معنی دار نشان داد. بین تیمارهای مختلف آبیاری برای صفت وزن تر اختلاف معنی داری مشاهده نشد ولی برای صفت وزن خشک اختلاف بسیار معنی دار مشاهده شد (جدول ۱). با افزایش شدت تنش میزان این دو صفت شروع به کاهش کرده بطوری که در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی کمترین میزان وزن تر و وزن خشک در شرایط صد درصد نیاز آبی بیشترین میزان وزن تر و وزن خشک مشاهده شد (شکل ۱، الف و ب). تنش خشکی از طریق کاهش پتانسیل آب گیاه باعث کاهش رشد می شود. در شرایط تنش کاهش ماده خشک می تواند به دلیل کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به ویژه کلروفیل باشد (Lowlor and Cornic, 2002).

اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کارتنوئیدها مقدار جذب قرائت گردید.

در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کارتنوئیدها بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست می آید.

$$a = [(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times V / 1000 \times W \quad (1)$$

$$b = [(22.9 \times A_{645}) - (4.69 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W \quad (2)$$

$$\text{کلروفیل کل} = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W \quad (3)$$

$$\text{کارتنوئید} = \{ [1000(A_{470}) - 1.8(chla) - 85.02(chlb)] / 198 \} \times V / 1000 \times W \quad (4)$$

در این روابط A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد بر حسب میلی لیتر و W اندازه برگ بر حسب گرم می باشد (Lichtenthaler, 1987).

اندازه گیری پرولین و پروتئین برگ: میزان پرولین توسط دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری و با استفاده منحنی استاندارد و بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973). میزان پروتئین کل استخراج و در طول موج ۵۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه گردید (Bradford *et al.*, 1976).

اندازه گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی

به منظور استخراج عصاره آنزیمی، ۲۰۰ میلی گرم بافت سبز برگ با ۴ میلی لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار با pH=7 در هاون چینی ساییده شده و پس از عبور از کاغذ صافی، با سرعت ۱۶ هزار دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ انجام شد. سپس فاز رویی جهت سنجش میزان فعالیت آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر بر حسب واحد فعالیت (U) که برابر با میکرومول تجزیه پراکسید هیدروژن است اندازه گیری شد (Beers and Sizer, 1952). آنزیم گایاکول پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد (Fielding and Hall 1978). اسکوربات پراکسیداز در طول موج ۲۹۰ نانومتر

Table 1- Results of analysis of variance of morpho- physiological traits of milk thistle under different irrigation treatments

| منابع تغییرات S.O. V | درجه آزادی d.f | میانگین مربعات Mean of square | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|
| | | وزن تر Wet weight | وزن خشک Dry weight | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کاروتنوئیدها Carotenoid | پروتئین Protein | پرولین Proline |
| زمان Time | 1 | 6.266** | 0.0376** | 116.215** | 943.15** | 0.262* | 157.81** | 11.46** |
| تیمارهای آبیاری Irrigation treatment | 3 | 1.36 ^{ns} | 0.0016** | 2.79* | 0.674 ^{ns} | 0.834** | 0.352** | 3.55** |
| زمان × تیمارهای آبیاری Time × irrigation treatment | 3 | 0.276 ^{ns} | 0.0003 ^{ns} | 1.21 ^{ns} | 0.574 ^{ns} | 0.372 ^{ns} | 0.313** | 2.74** |
| خطا Error | 16 | 0.553 | 0.0001 | 0.694 | 2.26 | 0.602 | 0.623 | 0.569 |
| ضریب تغییرات CV(%) | - | 28 | 13.34 | 14.7 | 19.54 | 25.67 | 10.03 | 5.67 |

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد

ns, * and **, non-significant, significant at 5% level, significant at 1% level respectively

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید

میزان کلروفیل a و کلروفیل b تحت تأثیر زمان برداشت و تیمارهای آبیاری قرار گرفت. میزان کاروتنوئید در مراحل مختلف برداشت اختلاف چندانی نشان نداده ولی با افزایش شدت تنش در هر دو مرحله برداشت میزان آن شروع به کاهش کرده بطوری‌که در تنش ۲۵ درصد نیاز آبی به حداقل مقدار خود رسید. میزان کلروفیل a در زمان برداشت ۶ هفته پس از کاشت، کمتر از ۱۳ هفته پس از کاشت بود ولی در هر دو مرحله برداشت، با افزایش تنش میزان آن کاهش پیدا کرد؛ بطوری‌که در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی) به کمترین مقدار در مقابل ۱۰۰ درصد نیاز آبی رسید (شکل ۱، ج). میزان کلروفیل b فقط تحت تأثیر زمان برداشت قرار گرفته و مقدار آن در ۶ هفته پس از کاشت، به مراتب کمتر از ۱۳ هفته پس از کاشت بود ولی شدت تنش تأثیر چندانی روی این صفت نداشت. طیف جذبی کلروفیل a و کلروفیل b به طور قابل ملاحظه‌ای با هم متفاوت است. می‌توان کلروفیل a را به عنوان رنگیزه مرکزی فتوسنتز در نظر گرفت. همچنین کلروفیل b کارایی گیاه را برای استفاده از انرژی نورانی خورشید ارتقا می‌دهد. فتوسنتز به مصرف آب متکی است. هنگام کمبود آب گیاهان با بسته نگه داشتن کامل یا

نسبی روزنه‌های خود، از خروج آب از گیاه جلوگیری می‌کنند که این خود سبب توقف و یا کاهش شدید آسمیلاسیون دی‌اکسیدکربن می‌شود (Abbasi *et al.*, 2010). کلروفیل a نسبت به کلروفیل b حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشته (Mafakheri *et al.*, 2010)، به همین دلیل میزان تغییرات کلروفیل a در شرایط تنش بیشتر از کلروفیل b می‌باشد. کاهش در میزان کلروفیل a و یا عدم تغییر در میزان کلروفیل b در سایر تحقیقات نیز مشاهده شده است (Basu and Chaturvedi, 2004; Hanci and Cebei, 2014). در شرایط تنش مولکول کلروفیل تخریب شده و به دلیل کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی رنگدانه‌های a و b که محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی هستند، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست، رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و نیز حضور آنزیم کلروفیلاز، رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Egert and Tevini, 2002). با توجه به اینکه کلروفیل a رنگیزه مرکزی فتوسنتز است، شدت تنش بر روی میزان آن تأثیر بیشتری خواهد داشت. در مطالعات توسط دیگر محققین صفات وزن تر، وزن خشک و میزان کلروفیل برگ تحت تأثیر شدت تنش قرار

میزان پروتئین و پرولین کل

میزان پروتئین و پرولین تحت تأثیر مرحله برداشت، شدت تنش و اثر متقابل زمان برداشت و شدت تنش قرار گرفت (جدول ۱). میزان پروتئین کل در ۶ هفته پس از کاشت بیشتر از ۱۳ هفته پس از کاشت بوده ولی در هر دو مرحله برداشت با افزایش تنش، میزان آن افزایش یافت (شکل ۱، ۵). متابولیسم نیتروژن و پروتئین تا حد زیادی تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد. کاهش سنتز پروتئین و رشد و ممانعت از سنتز پروتئین در شرایط تنش ملایم وجود داشته ولی میزان اسیدآمین در شرایط تنش خفیف افزایش می‌یابد (Lowlor and Cornic, 2002). در مراحل اولیه کاشت (۶ هفته) به نظر می‌رسد تنش تأثیر زیادی بر متابولیسم پروتئین نداشته لذا میزان آن بیشتر از زمان ۱۳ هفته پس از کاشت می‌باشد، به تدریج با افزایش شدت تنش در هر دو مرحله برداشت، گیاه برای سازگاری و پاسخ به تنش غلظت پروتئین را در برگ افزایش خواهد داد.

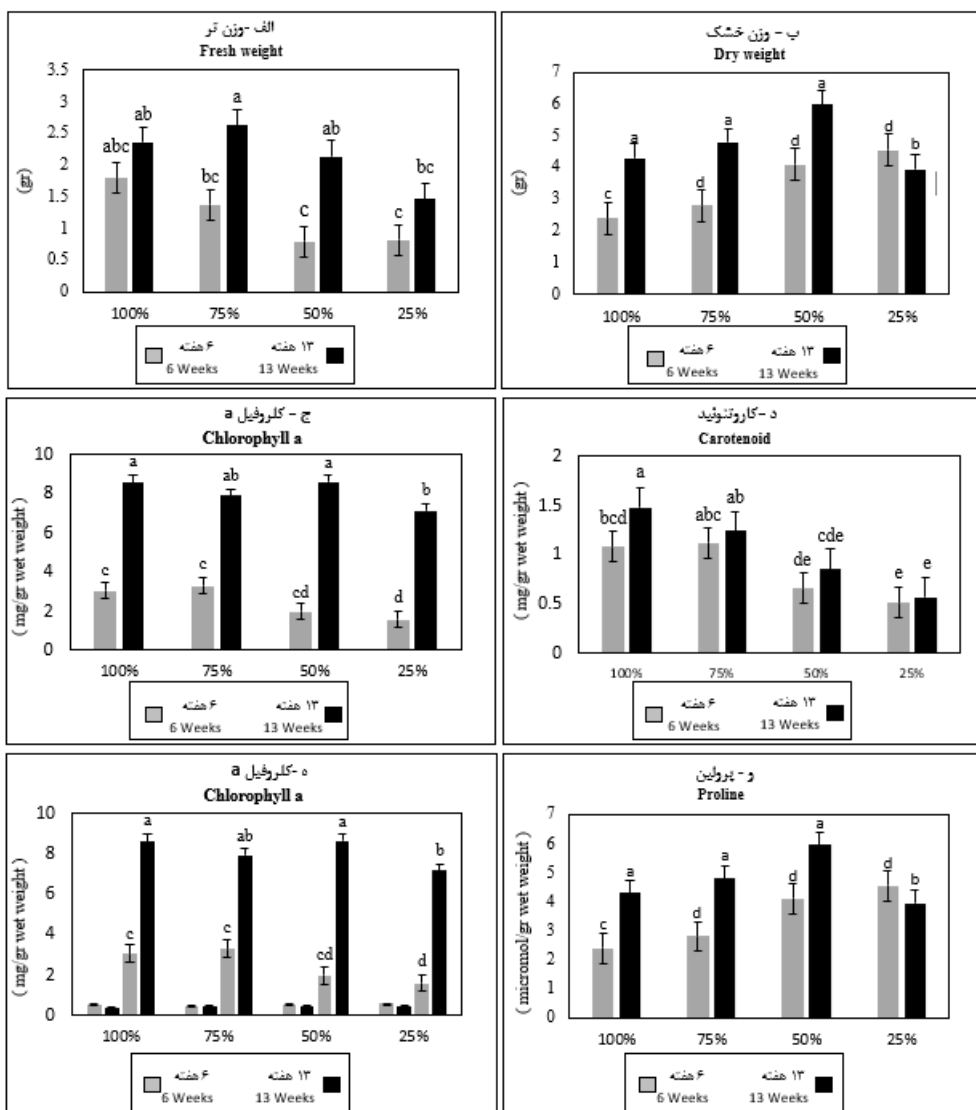
میزان پروتئین محلول در برگ سویا با افزایش تنش، کاهش یافت (Bahrololoumi *et al.*, 2018). در گیاه دارویی کدو پوست کاغذی نیز با افزایش شدت تنش میزان پروتئین کاهش یافت (Naemi *et al.*, 2012) که در تضاد با نتایج این تحقیق می‌باشد. در تطابق با نتایج این تحقیق، در بررسی تنش خشکی بر روی سویای رقم گرگان میزان پروتئین برگ در شرایط تنش ملایم و شدید افزایش یافته بود (Ghorbani and Niakan, 2005). میزان پرولین در مراحل اولیه برداشت (۶ هفته‌ای) کمتر از مرحله ۱۳ هفته پس از کاشت بود و با افزایش شدت تنش در هر دو مرحله برداشت، میزان آن افزایش پیدا کرد ولی این افزایش تا ۵۰ درصد نیاز آبی تداوم داشت و در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) میزان آن کمتر از ۵۰ درصد نیاز آبی بود (شکل ۱، ۵). گلوتامات پیش‌ساز پرولین است که در شرایط کم‌آبی به دلیل تحریک رونویسی و ترجمه ژن‌های آنزیم‌های دخیل در سنتز آن (مانند ۱- Δ -پیرولین-۵-کربوکسیلاز ردوکتاز) سرعت سنتز آن افزایش و مقدار آن تجمع می‌یابد. تجمع احتمالاً برای سازگاری طولانی‌مدت و به عنوان یک اسمولیت محافظ، خنثی و املاح سازگار مهم‌تر است (DeLauney and Verma, 1993). اگرچه از آنجایی که پرولین عمدتاً در تنش بسیار شدید تجمع می‌یابد، نقش آن به عنوان یک محافظ مبهم است. در رابطه با متابولیسم فتوسنتزی، تجمع

گرفت، بطوری که در تنش ۵۰ درصد نیاز آبی به کمترین مقدار رسید (Elsayed *et al.*, 2019). همسو با نتایج این تحقیق، محققین دیگری با کاربرد غلظت‌های مختلف شوری در گیاه خارمریم مشاهده کردند که غلظت‌های پایین شوری تأثیری در میزان کلروفیل a، b و کل نداشته ولی با افزایش غلظت شوری به ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس میزان آن کاهش یافته بطوری که در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس به کمترین مقدار خود رسیدند (Safikhan *et al.*, 2018).

گیرنده‌ها در گیاهان شامل تعداد زیادی مولکول‌های کلروفیل متصل به پروتئین هستند که فوتون‌ها را جذب و انرژی حاصل از آن را به مرکز واکنش منتقل می‌کنند. در یک برگ تنها چند هزار مولکول کلروفیل اجزای اصلی مرکز واکنش هستند. علاوه بر رنگیزه‌های اصلی، گیرنده‌ها دارای رنگیزه کمکی نیز هستند که فوتون‌های طول موج‌های مختلف را برای فتوسنتز قابل استفاده می‌کنند. در گیاهان عالی این رنگیزه‌ها کاروتنوئیدها، بیشتر گزارتوفیل و همچنین کاروتن‌ها هستند (Abbasi *et al.*, 2010). مقدار کاروتنوئید با افزایش شدت تنش در مراحل مختلف برداشت گیاه کاهش پیدا کرد. کاهش این رنگدانه فتوسنتزی را می‌توان عموماً به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با اکسیژن یکتایی و اختلالات هورمونی نسبت داد (Naghavi *et al.*, 2015). تخریب مولکولی کلروفیل به علت جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر ROS و یا آنزیم کلروفیل‌لاز صورت می‌گیرد (Severino and Auld, 2013). لذا می‌توان گفت که کاهش در مقادیر کلروفیل بخصوص کلروفیل a با افزایش شدت تنش به علت تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز آن است. کمبود خفیف آب باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها می‌شود، درحالی که کمبود شدید آب موجب کم شدن میزان کاروتنوئیدها می‌شود (Munné-Bosch and Alegre, 2004). در این مطالعه نیز میزان کاروتنوئید در شرایط صد درصد نیاز آبی و ۷۵ درصد نیاز آبی دارای بیشترین مقدار بوده ولی با شدت تنش به تدریج میزان آن کاهش یافت، بطوری که در شرایط تنش ۲۵ درصد نیاز آبی کاهش چشم‌گیری نسبت به شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نشان داد (شکل ۱، ۵). لذا این مشاهدات دلالت بر وجود تنش اکسیداتیو در شرایط تنش دارد.

کاهش یافت. علت آن احتمالاً کاهش بیان ژن‌های آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین و یا برگشت به تعادل جریان الکترون فتوسنتزی باشد. در شرایط تنش شوری نیز با افزایش غلظت شوری میزان پرولین برگ افزایش یافته بود بطوری که در غلظت ۱۲ دسی‌زیمنس بیشترین افزایش را نشان داده بود (Safikhan *et al.*, 2018). در مطالعه تنش خشکی بر روی گندم نیز، مشاهده شده بود که با افزایش شدت تنش خشکی میزان پرولین، قند محلول و میزان پروتئین کل در برگ گندم افزایش یافته بود (Ghaderi *et al.*, 2019).

پرولین و سایر اسیدهای آمینه احتمالاً نتیجه عدم تعادل بین ادامه جریان الکترون فتوسنتزی، حفظ فعالیت میتوکندری و تغییر تنظیم تحت شرایط سلولی شدید (ATP) کم است. بنابراین، تجمع ممکن است به عنوان یک نتیجه از متابولیسم سلولی تغییر یافته در نظر گرفته شود تا یک پاسخ محافظ اولیه (Lawlor and Cornic, 2002). میزان پرولین در شرایط تنش ۵۰ درصد نیاز آبی در مرحله رشدی ۱۸ هفته‌ای در گیاه خار مریم افزایش یافته بود (Elsayed *et al.*, 2019) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد ولی در این تحقیق با افزایش تنش از ۵۰ درصد نیاز آبی به ۲۵ درصد نیاز آبی میزان پرولین مقداری



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف خشکی بر روی الف: وزن تر، ب: وزن خشک، ج: کلروفیل a، د: کاروتنوئید، ه: پروتئین، و: پرولین در مراحل مختلف برداشت ۶ هفته و ۱۳ هفته در گیاه خارمریم

Figure 1- The effect of different drought treatments on a: wet weight, b: dry weight, c: chlorophyll a, d: carotenoids, e: protein, and f: proline, at different harvest stages: 6 weeks and 13 weeks in milk thistle

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

کشت و شدت‌های مختلف تنش اندازه‌گیری و مشاهده شد که فعالیت این آنزیم‌ها تحت تأثیر زمان برداشت و شدت تنش قرار می‌گیرد (جدول ۲).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل: کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، سوپراکسیددسموتاز و اسکوربات‌پراکسیداز از برگ‌های گیاه خارمریم در مراحل مختلف

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی گیاه خار مریم تحت تیمارهای مختلف آبیاری

Table 2- Results of analysis of variance of biochemical traits of milk thistle under different irrigation treatments

| منابع تغییرات S.O. V | درجه آزادی d.f | میانگین مربعات Mean of square | | | | |
|---|----------------------|--|---|--|----------------------|---|
| | | گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase | آسکوربات پراکسیداز Ascorbate Peroxidase | پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase | کاتالاز Catalase | سوپراکسیددسموتاز Superoxide dismutase |
| زمان Time | 1 | 0.748** | 0.087 ^{ns} | 0.0088** | 0.0007 ^{ns} | 0.103** |
| تیمارهای آبیاری Irrigation treatment | 3 | 0.0161** | 0.195* | 0.0036** | 0.0523** | 0.297** |
| زمان × تیمارهای آبیاری Time × irrigation treatment | 3 | 0.0001 ^{ns} | 0.165 ^{ns} | 0.0001** | 0.0012 ^{ns} | 0.139** |
| خطا Error | 16 | 0.0015 | 0.065 | 0.00002 | 0.0027 | 0.0125 |
| ضریب تغییرات CV(%) | - | 5.89 | 11.2 | 6.11 | 7.5 | 14.18 |

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد

ns, * and **, non-significant, significant at 5% level, significant at 1% level respectively

از شرایط ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بود (شکل ۲، ب). روند تغییر در آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز با بقیه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی متفاوت بوده بطوری‌که میزان آن در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در هر دو مرحله رشدی بالا بوده ولی با شدت تنش میزان آن کم می‌شود بطوری‌که در شرایط تنش ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه میزان آن کاهش می‌یابد ولی در شرایط تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) مجدداً میزان آن افزایش یافت (شکل ۲، ج). در سایر مطالعات نیز میزان آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در تمام مراحل رشدی با افزایش شدت تنش در مقایسه با شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش یافته بود بطوری‌که در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی بیشترین مقدار را نسبت به شرایط کنترل داشت (Elsayed *et al.*, 2019) که در مقایسه با نتایج این تحقیق در تناقض می‌باشد؛ زیرا در این

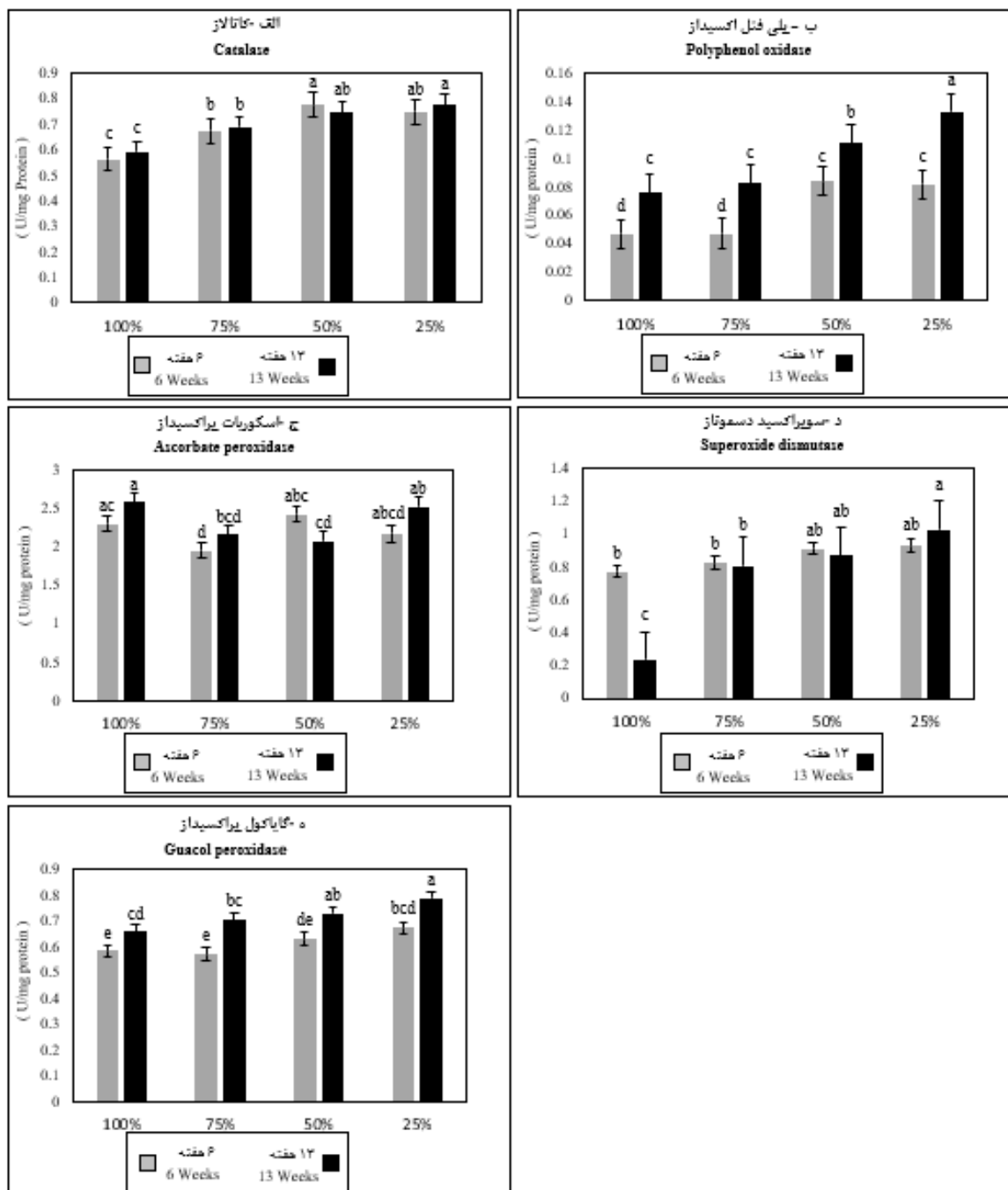
میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو مرحله برداشت (۶ هفته و ۱۳ هفته پس از کاشت) بتدریج با شدت تنش رو به افزایش بود بطوری‌که در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کمترین مقدار و در تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) به حداکثر مقدار رسید (شکل ۲، الف). در مطالعات قبلی فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش ۵۰ درصد ظرفیت آبی در هفته ششم کشت کاهش ولی در هفته دوازدهم و هجدهم کشت میزان آن در مقایسه با شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش یافته بود (Elsayed *et al.*, 2019). آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز تحت تأثیر مرحله برداشت و شدت تنش قرار گرفت (جدول ۲)؛ بطوری‌که میزان آن در شش هفته پس از کاشت کمتر از مراحل ۱۳ هفته پس از کاشت بود ولی در هر دو مرحله برداشت، با افزایش تنش میزان آن افزایش و در تنش ۵۰ درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه مقدار آن بیشتر

مقدار آن کاهش می‌یابد. ولی در شدت تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) میزان آن دوباره افزایش می‌یابد و این افزایش می‌تواند نوعی سازگاری محسوب شود؛ یعنی به منظور جبران خسارت و حفظ حالت تعادل ROS میزان این آنزیم در شرایط تنش شدید مجدداً افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که تحت شرایط تنش خشکی تولید ROS به شدت، مدت زمان تنش، گونه و ژنوتیپ گیاهی و نیز مرحله نمو گیاه در معرض تنش وابسته است، به همین دلیل در مطالعات مختلف تفاوت در نتایج به صورت کاهش یا افزایش فعالیت آنزیم‌ها مشاهده می‌شود (Chaitanya *et al.*, 2002).

میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز نیز تحت تأثیر زمان برداشت، شدت تنش و اثر متقابل زمان برداشت در شدت تنش (زمان در تنش) قرار گرفت (جدول ۲). میزان این آنزیم در مرحله ۶ هفته پس از کاشت کمتر از مرحله ۱۳ هفته پس از کاشت بوده ولی در هر دو مرحله با افزایش شدت تنش میزان آن افزایش یافت به طوری که در شرایط تنش ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و مرحله ۱۳ هفته پس از کاشت، میزان آن بیشترین و در شرایط ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه و مرحله ۶ هفته پس از کاشت کمترین مقدار را دارا بود (شکل ۲، د). تأثیر تنش خشکی در برگ‌های گیاه *Fargesia denudate* در مرحله گیاهچه‌ای بررسی و مشاهده شده بود که با شدت تنش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتینون ردوکتاز افزایش یافته و در بین این آنزیم‌ها، افزایش سوپراکسید دسموتاز بیشتر از بقیه آنزیم‌ها بود (Liua *et al.*, 2014). در مطالعه حاضر نیز آنزیم سوپراکسید دسموتاز در مرحله ۱۳ هفته پس از کاشت، افزایش چشم‌گیری نسبت به شرایط صد درصد نیاز آبی گیاه داشته که نشان می‌دهد سوپراکسید دسموتاز دفاع حساس‌تر و مؤثرتری برای پاک‌سازی سموم افزایش یافته در شرایط تنش شدید در گیاه خار مریم ارائه می‌دهد. تحت تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به طور قابل توجهی در برگ *J. curcas*، یک گونه درخت وحشی، افزایش یافت (Pompelli *et al.*, 2010).

میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز نیز تحت تأثیر مرحله برداشت و شدت تنش قرار گرفت (جدول ۲).

تحقیق در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) میزان این آنزیم حداکثر بود. اثر تنش خشکی بر روی اندام‌های مختلف گیاه زردچوبه بررسی و مشاهده شده بود که میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در برگ نسبت به سایر اندام‌ها در شرایط تنش بیشتر بوده است (Zamani *et al.*, 2011). کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز آنزیم اصلی حذف پراکسید هیدروژن می‌باشند که هر کدام تمایل متفاوتی به این نوع ROS دارند. آنزیم آسکوربات پراکسیداز در بیشتر محفظه‌های سلولی وجود دارد در حالی که کاتالاز تنها در پراکسی‌زوم یافت می‌شود. لذا پیشنهاد شده است که آسکوربات پراکسیداز به عنوان یک تنظیم‌کننده و کنترل‌کننده داخل سلولی خوب برای حفظ حالت تعادل ROS معرفی شود (Mittler, 2002). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بر روی فسکیوی بلند مشاهده شده بود که فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در تنش خشکی شدید نسبت به حالت شاهد و تنش خشکی متوسط کاهش می‌یابد (Pirnajmodin *et al.*, 2013). برخی محققان افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در واکنش به تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Jagtap and Bharagava, 1995). در مطالعه دیگری بر روی ذرت مشاهده شد که در شرایط تنش متوسط و شدید خشکی، پراکسیداسیون چربی‌ها افزایش یافته و تنش خشکی شدید، منجر به کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز شد (Li-Ping *et al.*, 2006). تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر روی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر روی ارقام حساس و متحمل گندم بررسی و مشاهده گردید که میزان اسیداسکوربیک در رقم متحمل در شرایط تنش شدید افزایش یافته و در بقیه سطوح تنش (۵۰ درصد و ۷۰ درصد ظرفیت آبی) و نیز رقم حساس گندم میزان این متابولیت تغییری نشان نداده و نیز تنش خشکی شدید منجر به افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد (Rahimi *et al.*, 2018). در مورد تغییر در آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در تحقیقات مختلف نتایج ضد و نقیضی گزارش شده است. در این تحقیق با توجه به اینکه میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز به طور طبیعی در برگ گیاه خار مریم وجود دارد، در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی میزان این آنزیم زیاد بوده ولی به تدریج با شدت تنش



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف خشکی بر روی فعالیت آنزیم‌های اکسیدانی شامل الف: کاتالاز، ب: پلی فنل اکسیداز، ج: آسکوربات پراکسیداز، د: سوپراکسیددسموتاز ه: گایاکول پراکسیداز در مراحل مختلف برداشت: ۶ هفته و ۱۳ هفته در گیاه خارمریم

Figure 2- The effect of different drought treatments on the activity of oxidative enzymes including a: catalase, b: polyphenol oxidase, c: ascorbate peroxidase, d: superoxide dismutase e: guaiacol peroxidase at different stages of harvest: 6 weeks and 13 weeks in milk thistle

تأثیر ورمی کومپست و قارچ مایکوریزا بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، پلی‌فنل‌اکسیداز، سوپراکسیددسموتاز و نیز میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در گیاه خارمریم بررسی و مشاهده شده بود که کاربرد ترکیبی این دو ماده سبب افزایش میزان کلروفیل a،

میزان آن در مرحله ۶ هفته پس از کاشت کمتر از ۱۳ هفته پس از کاشت بوده ولی در هر دو مرحله برداشت با افزایش شدت تنش میزان آن افزایش یافت و در مرحله ۱۳ هفته‌ای و تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) بیشترین مقدار را نسبت به شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه دارا بود (شکل ۲، ه).

کلروفیل b تغییر زیادی مشاهده نشد زیرا کلروفیل a نسبت به کلروفیل b حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشته به همین دلیل میزان تغییرات کلروفیل a در شرایط تنش بیشتر از کلروفیل b می‌باشد. میزان کاروتنوئید با افزایش شدت تنش در هر دو مرحله برداشت میزان آن شروع به کاهش کرده بطوری‌که در تنش ۲۵ درصد نیاز آبی به حداقل مقدار خود رسید. کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی را می‌توان عموماً به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با اکسیژن یکتایی و اختلالات هورمونی نسبت داد. در ارتباط با تأثیر تنش بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز اکثر آنزیم‌ها مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسیددسموتاز تحت تأثیر شدت تنش مقدار آن‌ها افزایش یافت. با توجه به این نتایج می‌توان گفت گیاه خارمریم برای مقابله با تنش خشکی از مکانیزم‌های مختلفی مانند افزایش پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده کرده که در این میان نقش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به عنوان آنزیم‌های مهم در پاسخ به تنش می‌تواند در تحقیقات آینده به منظور شناسایی ژن‌های رمزکننده این آنزیم‌ها و تغییر در بیان آن‌ها به منظور مقابله با تنش تعیین‌کننده باشد. همچنین با توجه به اینکه با افزایش تنش خشکی، میزان متابولیت‌ها در این گیاه افزایش می‌یابد، می‌توان با تعیین آستانه تحمل به تنش این گیاه، اقدام به کشت گیاه در سطح وسیع و اعمال تنش به منظور افزایش متابولیت‌های ثانویه نمود.

کلروفیل b و کاروتنوئید و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شده بود (Nikkah Naeni et al., 2017).
تأثیر تنش خشکی در شرایط کشت بافت با کاربرد پلی‌اتیلن‌گلیکول (صفر، ۳، ۶، ۱۲ و ۱۵ درصد) بر روی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دو رقم لیمو حساس به خشکی و مقاوم به خشکی بررسی و مشاهده شده بود در شرایط تنش شدید (۱۵ درصد پلی‌اتیلن‌گلیکول) میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در رقم مقاوم به مراتب بیشتر از رقم حساس است (Rahimi et al., 2016). در این تحقیق با توجه به اینکه اکثر آنزیم‌های آکسیدانی در شرایط تنش افزایش یافته بودند، می‌توان گفت در این گیاه آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز، گایاکول پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز می‌توانند با همکاری یکدیگر ROS را در برگ‌های گیاه تحت تنش شدید حذف کنند و این نوعی سازگاری به تنش محسوب می‌شود. به عبارتی گیاه برای مقابله با تنش از مکانیزم‌های مختلفی از جمله کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش پروتئین و پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده نموده تا بتواند صدمات ناشی از ROS را جبران نماید.

نتیجه‌گیری کلی

اکثر صفات تحت تأثیر مرحله رشدی و شدت تنش قرار گرفتند. میزان پروتئین و پرولین با شدت تنش افزایش یافت به طوری‌که در تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی گیاه) نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه افزایش قابل توجهی داشت. میزان کلروفیل a تحت تأثیر شدت تنش قرار گرفت ولی در میزان

References

- Abenavoli, L. and Milic, N.** 2017. Silymarin for liver disease. In: Muriel, P. (Ed.), *Liver Pathophysiology: Therapies and Antioxidants*. Academic Press, 621-631.
- Bahrololoumi, S.M.J., Raeini Sarjaz, M. and Pirdashti, H.** 2019. The effect of drought stress on the activity of enzymatic antioxidants, malondialdehyde levels, soluble protein and total nitrogen of soybean leaf (*Glycine max.* L). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 12(1): 12-28.
- Balian, S., Ahmad, S. and Zafar, R.** 2006. Antiinflammatory activity of leaf and leaf callus of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *Indian Journal of Pharmacology*, 38(3): 213-214.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D.** 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Basu, A.M. and Chaturvedi, S.K.** 2004. Adaptation of photosynthetic components of chickpea to water stress. *4th international crop science congress*. Brisbane Australia, 26th Sep.-10th October.

- Chaitanya, K.V., Sundar, D., Masilamani, S. and Reddy, A.R.C.** 2002. Variation in heat stress induced antioxidant enzyme activities among three Mulberry cultivars. *Plant Growth Regulation*, 36: 175-180.
- Delauney, A.J. and Verma, D.P.S.** 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal*, 4: 215-223.
- Dheeraj, A., Tailor, D., Singh, S.P. and Singh, R.P.** 2018. Anticancer attributes of silibinin: chemo- and radiosensitization of cancer. In: Bharti, A.C., Aggarwal, B.B. (Eds.), *Cancer Sensitizing Agents for Chemotherapy, Role of Nutraceuticals in Cancer Chemosensitization*, 2: 199-220.
- Egert, M. and Tevini, M.** 2002. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*, 48: 43-49.
- 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): 611-625.
- Giannopolities, C.N. and Ries, S.K.** 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59: 309-314.
- Ghorbanli, M. and Niakan, M.** 2006. Evaluation of the effect of drought stress on soluble sugars, protein, proline, phenolic compounds and nitrate reductase enzyme activity of soybean cultivar 3. *Journal of Teacher Training University*, 5(1): 537-550.
- 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: 1499-1504.
- Jagtap, V. and Bharagava, S.** 1995. Variation in antioxidant metabolism of drought tolerant and susceptible varieties of *Sorghum bicolor* L. *Agricultural and Biological Chemistry*, 65: 445-454.
- Janovitz-Klapp, A.H., Richard, F.C., Goupy, P.M. and Nicolas, J.J.** 1990. Inhibition studies on apple polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 38: 926-931.
- Karkanis, A., Bilalis, D. and Efthimiadou, A.** 2011. Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.), a medicinal weed. *Industrial Crop Production*, 34: 825-830.
- Khaleghi, A., Naderi, A., Brunetti, C., Maserti, B.A., Salami, S.A. and Babalar, M.** 2019. Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific Reporters*, 9: 1-12.
- Li-Ping, B., Fang-Gang, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L. and Guang-Sheng, Z.** 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzyme antioxidant system of maize. *Pedosphere*, 16: 326-332.
- Lichtenthaler, H.K.** 1978. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in Enzymology*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 148: 350-352.
- Liua, C., Wang, Y., Pana, K., Lia, W., Zhanga, L., Shena, B., Liua, L. and Denga, M.** 2014. Responses of the antioxidant defense system to drought stress in the leaves of *Fargesia denudata* seedlings, the staple food of the Giant Panda. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61(3): 374-383.
- Lowlor, D.W. and Cornic, G.** 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell and Environment*, 25: 275-294.
- 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): 580-585.

- Mehdi, M., Kordrostami, M., Maleki, M. and ModaresKia, M.** 2016. Investigating the effect of drought stress on expression of WRKY1 and EREBP1 genes and antioxidant enzyme activities in lemon balm (*Melissa Officinalis* L.). *Biotechnology*, 6(99): 1-8.
- Mittler, R.** 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.
- Munné-Bosch, S. and Alegre, L.** 2004. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31(3): 203-216.
- Naeemi, M., Ali Akbari, G., Shirani Rad, A.H., Hassanloo, T. and Akbari, G.** 2012. Effect of zeolite application and selenium spraying on water relations traits and antioxidant enzymes in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 14(1): 67-81. (In Persian).
- Naghavi, M.R., Toorchi, M., Moghaddam, M. and Shakiba, M.R.** 2015. Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. *Notulae Scientia Biologicae*, 7(3): 349-351.
- Nikkah Naeeni, F., Ladan Moghadam, A.R., Moradi, P., Rezaei, M. and Abdoosi, V.** 2017. Effect of vermicompost and mycorrhiza fungi on yield and growth of milk thistle and antioxidant system activity. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 7(3): 2063-2074.
- Pirnajmoddin, F., Majidi, M.M., Gheysari, M. and Radan, Z.** 2013. Selection for drought stress tolerance based on root system and antioxidant enzymes in long fescue. *Iranian Crop Science*, 46(1): 157-168. (In Persian).
- Pompelli, M.F., BarataLuís, R., Vitorino, H.S., Gonçalves, E.R., Rolim, E.V., Santos, M.G., Almeida Cortez, J.S., Ferreira, V.M., Lemos, E.E. and Endres, L.** 2010. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery, *Biomass Bioenergy*, 34: 12-22.
- Rahimi, Z., Panahi, F. and Siosemardeh, A.** 2019. Investigation of the effects of drought stress levels on the activity of antioxidant enzymes and some physiological traits in susceptible and drought tolerant wheat cultivars. (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Wheat Research*, 2(1): 69-86.
- Severino, L.S. and Auld, D.L.** 2013. Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. *Industrial Crops and Products*, 49: 52-60.
- Safikhani, S., Khoshbakht, K., Chaichi, M.R., Amini, A. and Motesharezadeh, B.** 2018. Role of chitosan on the growth, physiological parameters and enzymatic activity of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) in a pot experiment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10: 49-58.
- Selmar, D. and Kleinwachter, M.** 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. *Industrial Crops and Product*, 42: 558-566.
- Takke, A. and Shende, P.** 2019. Nanotherapeutic silibinin: an insight of phytomedicine in healthcare reformation. *Nanomedicin: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 21: 1-10.
- Vilahur, G., Casaní, L., Peñna, E., Crespo, J., Juan-Babot, O., Ben-Aicha, S., Mendieta, G., B'ejar, M.T., Borrell, M. and Badimon, L.** 2018. Silybum marianum provides cardioprotection and limits adverse remodeling post-myocardial infarction by mitigating oxidative stress and reactive fibrosis. *International Journal of Cardiology*, 270: 28-35.
- Zamani, Z., Mostajeran, A. and Asghari, Gh.** 2011. Effect of drought stress on growth and activity of antioxidant enzymes catalase and ascorbate peroxidase in turmeric (*Curcuma longa* L). *Plant Environmental Physiology (Iranian Plant Ecophysiology Research)*, 7(3): 31-37. (In Persian).
- Zhao, Z., Hodge, J., Wang, D. and Liu, Q.** 2019. New light shed on the old herb - *Silybum marianum*. *International Journal of Cardiology*, 288: 123-131.

The effect of various irrigation methods on physiology and biochemical traits of milk thistle (*Silybum marianum*)

Mostafa Sarani¹, Maryam Allahdou^{2*}, Leila Mehravaran², Halimeh Piri³

¹ M.Sc. Graduated of Agriculture 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 Department of Water Engineering, College of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: Maryam.allahdou@uoz.ac.ir

Received: 7 March 2021

Accepted: 28 April 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.322452.1175

Abstract

Introduction: Milk thistle contains flavonolignan silymarin in its fruits, making it one of the most important medicinal plants for protecting the liver and treating a variety of liver diseases, such as hepatitis and liver diseases containing toxins. The drought resistance mechanisms of medicinal plants, such as milk thistle, are of critical importance. The investigation of the effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes will aid in the identification of these mechanisms. Water stress modifies plant behavior via its effect on plant metabolism and consequently has a substantial effect on plant production. The biosynthesis pathway of secondary metabolites is altered by environmental stresses, altering the production and concentration of active substances in plants. In addition to playing a crucial role in defense mechanisms, secondary metabolites are an important source of bioactive compounds. However, flavonoids not only have antioxidant activity via the release of free radicals, but they also regulate cellular pathways in the defense of plants against environmental stresses, alter plant metabolism, and have a significant impact on plant production.

Materials and method: In order to determine the effect of drought stress on the physiological and biochemical characteristics of milk thistle, treatments of 100%, 75%, 50%, and 25% water requirement were applied in a greenhouse in the village of Shandel, city of Hirmand. There were multiple harvesting stages, including 6 and 13 weeks after planting. Measurements included dry weight, fresh weight, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, proteins, proline levels, and antioxidant enzyme activity. First, the data were examined for normality in Minitab software version 18, using the Smearnof Columnograph method to determine data normality, and then the errors were examined for normality to confirm data normality. Then, analysis of variance of all traits and comparison test of Duncan were performed at 5% level with SAS software version 9.2 (SAS 2010).

Results and discussion: The analysis of variance revealed significant differences in harvest time, irrigation level, and the interaction between harvest time and irrigation level. In both harvest stages, the concentration of carotenoids began to decrease as the level of stress increased. The amount of chlorophyll a at the stage 6 weeks after planting was less than at the stage 13 weeks after planting, but its amount decreased with increasing stress at both stages. The levels of protein and proline also increased as the level of stress increased. The activity of antioxidant enzymes also increased as the intensity of stress increased, to the point where 100% of water requirements reached the minimum value and 25% reached the maximum value. Due to the fact that most oxidative enzymes in this study increased in response to stress, it can be concluded that catalase, superoxide dismutase, guaiacol peroxidase, polyphenol oxidase, and ascorbate peroxidase can eliminate ROS in this plant. Therefore, milk thistle has a good adaptation to drought stress, which is likely due to the reduction of oxidative damage caused by the activation of the antioxidant system and the accumulation of osmolytes such as proline and protein. These modifications are a form of adaptation to stress conditions.

Conclusion: The majority of traits were affected by growth stage and stress level. The levels of protein and proline increased with increasing stress intensity. Most antioxidant enzymes, including

catalase, ascorbate peroxidase, and superoxide dismutase, increased in activity under the influence of stress. According to these findings, milk thistle responds to drought stress by increasing proteins and amino acids, decreasing photosynthetic pigments, and increasing the activity of antioxidant enzymes, among other mechanisms. Also, because the amount of metabolites in this plant increases with increasing drought stress, it is possible to determine the stress tolerance threshold of this plant, cultivate it on a large scale, and apply stress to increase secondary metabolites.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Catalase, Enzyme, Photosynthetic pigments, Stress

واکنش عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا به تنش کم آبیاری و سطوح کود نیتروژن

محسن کریمی‌آذر^۱، ناصر مجنون حسینی^{۲*}، محمدرضا بی‌همتا^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- اساتید گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: mhoseini@ut.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320744.1171

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر تنش کم آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه لوبیا، دو آزمایش جداگانه (آبیاری نرمال و کم آبیاری) در قالب طرح فاکتوریل بر مبنای بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری (آبیاری نرمال و ۵۰٪ نرمال)، پنج سطح ژنوتیپ لوبیا (پاک، درسا، گلی، صدری، D81083) و سه سطح کود نیتروژن (بدون کود، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ کود مورد نیاز) بودند. نتایج آزمایش تجزیه مرکب هر دو آزمایش نشان داد که اثر تنش کم آبیاری و اثر نوع ژنوتیپ بر تمامی صفات مورد بررسی لوبیا معنی‌دار شد. همچنین اعمال سطوح مختلف کود نیتروژن بر تمامی صفات به غیر از شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف، معنی‌دار بود. اثر متقابل نیتروژن × ژنوتیپ، آبیاری × نیتروژن، آبیاری × ژنوتیپ بر وزن صدانه معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل سه گانه آبیاری، نیتروژن و ژنوتیپ بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود و لوبیا قرمز گلی در آبیاری کامل و هر سه سطح کودی بیشترین تعداد دانه در غلاف را داشت. تنش کم آبیاری باعث کاهش میزان تمامی صفات عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا شد. همچنین با افزایش مصرف کود نیتروژن، مقادیر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن صدانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری نرمال، تنش خشکی، شاخص برداشت، لوبیا قرمز گلی.

مقدمه

حبوبات به عنوان دومین محصول کشاورزی مهم پس از غلات، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی برعهده دارند (Akibode and Maredia, 2012). حبوبات به عنوان تغذیه انسان و دام، سرشار از پروتئین بوده (Majnoun Hosseini, 2008)، در صورت تناوب با غلات و یا به عنوان محصولات پوششی، تأثیرات مثبتی بر عملکرد دیگر محصولات زراعی دارند. حبوبات می‌توانند میزان کربن و نیتروژن خاک را بهبود بخشند (Sainju et al., 2005).

تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه تأثیرگذار است (Farooq et al., 2009) به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تحت تأثیر خشک‌سالی‌های آخر فصل قرار دارند (Daryanto et al., 2015). خشک‌سالی می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد از عملکرد حبوبات را کاهش دهد (Rao, 2014). گزارش شده است که نیتروژن می‌تواند در تخفیف اثرات مخرب تنش خشکی بر روی گیاه ذرت (Ghobadi et al., 2015) تأثیرگذار باشد. مشاهده شده است که تنش خشکی تأثیر

با افزایش جمعیت جهان در سال‌های آینده، کمبود مواد غذایی قابل تصور است، به طوری که طبق پیش‌بینی سازمان ملل تولید مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰ باید دو برابر شود. در این میان بخش کشاورزی با چالشی جدی برای افزایش تولید مواد غذایی مواجه است (Price and Howitt, 2014). پیش‌بینی می‌شود در آینده با افزایش دما و افزایش ناهنجاری‌های آب و هوایی هم‌چون خشک‌سالی و موج گرما روبرو خواهیم بود (IPCC, 2013) که تأثیر منفی بر تولید و دسترسی به غذا خواهد داشت (McClellan et al., 2011). گیاهان به دلیل عدم امکان جابجایی، در مواجه با شرایط نامساعد، نیازمند سازگاری و تنظیم فیزیولوژی و رشد و نمو خود هستند (Kraiser et al., 2011). یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان، نیتروژن است (Shah, 2008). عملکرد یک محصول کشاورزی به شدت تحت تأثیر مواد مغذی معدنی، به ویژه نیتروژن (Sawan, 2006) قرار دارد.

نرمال در قسمت جنوب واقع شده بود و فاصله بین دو کرت اصلی برابر با دو متر بود.

آماده سازی زمین از جمله شخم عمیق پاییزه و سطحی بهاره، دیسک و تسطیح زمین و نهایتاً ایجاد فارور با فاصله ۵۰ سانتی‌متر در دو قطعه زمین مجاور محل آزمایش انجام گرفت. عملیات کاشت بذر به روش خشکه کاری در اواسط خرداد و به صورت دستی روی پشته‌ها با فاصله تقریبی ۱۰-۷ سانتی‌متر بین بوته‌ها انجام گرفت. جهت انجام آزمایش خاک، ۵ نمونه از نقاط مختلف مزرعه برداشت شد و به صورت نمونه مرکب به آزمایشگاه خاکشناسی پردیس کشاورزی کرج ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. براساس آزمون خاک، میزان ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مورد نیاز در هر کرت ۴ مترمربعی معادل ۱۵۰ گرم کود اوره محاسبه گردید که در دو نوبت (۵۰٪ در هنگام کاشت و ۵۰٪ به صورت سرک و به روش جای‌گذاری در مرحله رشد رویشی و قبل از گل‌دهی)، بجز در کرت شاهد مصرف شد. همچنین به میزان ۶۰ گرم کود فسفوری از منبع سوپر فسفات تریپل به صورت پایه در تمام کرت‌ها اعمال شد. آبیاری به روش تیپ (قطره‌ای) انجام گرفت و دور آبیاری نرمال هر ۷-۵ روز یکبار انجام شد. در قطعه زمینی که جهت اعمال تنش کم آبیاری کشت شده بود بعد از استقرار بوته ها در مرحله ۷۳ (مرحله ۴ برگه‌ای)، اعمال تنش کم‌آبی با دور آبیاری هر ۱۴-۱۲ روز یکبار انجام شد. عملیات وجین مزرعه به صورت دستی پیش از آغاز گل‌دهی طی دو مرحله به فاصله هر ۳ هفته و مبارزه با آفات با توجه به عرف منطقه صورت گرفت. نمونه‌برداری‌ها برای سنجش صفات مورد بررسی در چند مرحله از مساحت نیم مترمربع از ردیف میانی هر کرت و با انتخاب ۳ تا ۵ بوته انجام شد. برداشت محصول دو آزمایش در مهر ماه انجام پذیرفت.

صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا، مانند میانگین تعداد غلاف در ۵ بوته، میانگین دانه در ۵۰ غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به دست آمد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب هر دو آزمایش، مقایسه میانگین‌ها و رسم نمودار از نرم‌افزار SAS 9.4 و Excel 2016 استفاده شد. هم‌چنین برای بررسی همگنی واریانس خطا از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

متفاوتی بر عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف عدس داشته است (Vafaei *et al.*, 2019). همچنین با اعمال تیمارهای کودی در ارقام مختلف نخود بهبود عملکرد گزارش شده است (Kahrizy and Sepehri, 2019). تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه در ارقام مختلف لوبیا چیتی (Assadi and Asterki, 2015) و دیگر انواع ژنوتیپ‌های لوبیا (Ghanbari *et al.*, 2013) شده است.

لوبیا معمولی با وجود داشتن رتبه سوم در بین حبوبات از نظر تولید و رتبه دوم از نظر تجارت جهانی، حساسیت بالایی نسبت به خشک‌سالی داشته و در مواجهه با آن، بهره‌وری پایینی از خود نشان می‌دهد (Daryanto *et al.*, 2015). شصت درصد از تولید جهانی لوبیا تحت تأثیر انواع تنش خشکی قرار دارد (Beebe *et al.*, 2008). برخی محققان گزارش کرده‌اند که خشک‌سالی انتهای فصل یک مشکل عمده در تولید لوبیا بوده و بر عملکرد بذر تأثیر می‌گذارد (Rosales *et al.*, 2013).

همواره توسعه ارقام گیاهی مقاوم به تنش به عنوان یک استراتژی موفق برای مقابله با اثرات سوء حاصل از تنش، مطرح بوده است (Araujo *et al.*, 2015). از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش کم آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا انجام گردید.

مواد و روش‌ها

با در نظر گرفتن تیمار آبیاری، دو آزمایش طراحی شد. در آزمایش اول، آبیاری به روش نرمال منطقه (دور آبیاری ۷-۵ روز) صورت گرفت و در آزمایش دوم، آبیاری با ۵۰٪ ظرفیت آبیاری نرمال منطقه (دور آبیاری ۱۴-۱۲ روز) انجام شد. تیمارهای هر آزمایش شامل پنج سطح ارقام یا ژنوتیپ‌های لوبیا (پاک، درس، گلی، صدری، D81083) و سه سطح نیتروژن (بدون مصرف کود (شاهد)، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ کود مورد نیاز براساس آزمون خاک) در نظر گرفته شد که به صورت فاکتوریل به کرت‌های فرعی اختصاص یافتند. تعداد تیمارها در هر آزمایش (آبیاری نرمال و کم آبیاری) برابر با ۴۵ کرت فرعی بود. موقعیت قرارگیری دو کرت اصلی آزمایش (آبیاری نرمال و کم آبیاری) به گونه‌ای بود که کرت کم آبیاری در قسمت شمال و کرت آبیاری

جدول ۱- مشخصات نمونه خاک آزمایشی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Characteristics of soil sample (0-30 cm depth)

| پتاسیم | فسفر | سیلت | رس | شن | نیتروژن کل | کربن آلی | آهک کل | هدایت الکتریکی | اسیدیته | بافت خاک |
|-----------|------------|------|------|--------------|----------------|----------------|------------|-------------------------|---------|-----------------------|
| Potassium | Phosphorus | Silt | Clay | Sand | Total Nitrogen | Organic carbon | Total lime | EC (dSm ⁻¹) | pH | Soil texture |
| (mg/kg) | | | | (Percentage) | | | | | | |
| 159 | 7.55 | 41 | 33 | 26 | 0.071 | 0.55 | 7.7 | 0.82 | 8.5 | لوم رسی Clay loamy |

نتایج و بحث

معنی‌دار بود. هم‌چنین اعمال سطوح مختلف کود نیتروژنی بر تمامی صفات به غیر از شاخص برداشت و تعداد دانه در غلاف، معنی‌دار بود. این نتایج با یافته‌های (Mohammadzadeh *et al.*, 2013) بر روی ارقام لوبیا قرمز مطابقت داشت. اثر متقابل دوگانه تیمارها، هم‌چنین اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، نیتروژن و ژنوتیپ بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود.

پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب، همگنی واریانس خطای آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که فرض همگنی واریانس خطا در هیچ یک از آزمایش‌ها (در سطح یک درصد) رد نشد. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات (جدول ۲)، نشان داد که اثر تنش کم آبیاری و ژنوتیپ‌های لوبیا بر تمامی صفات مورد بررسی

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف ژنوتیپ‌های لوبیا تحت تأثیر شرایط آبیاری نرمال و کم آبیاری و کود نیتروژنی

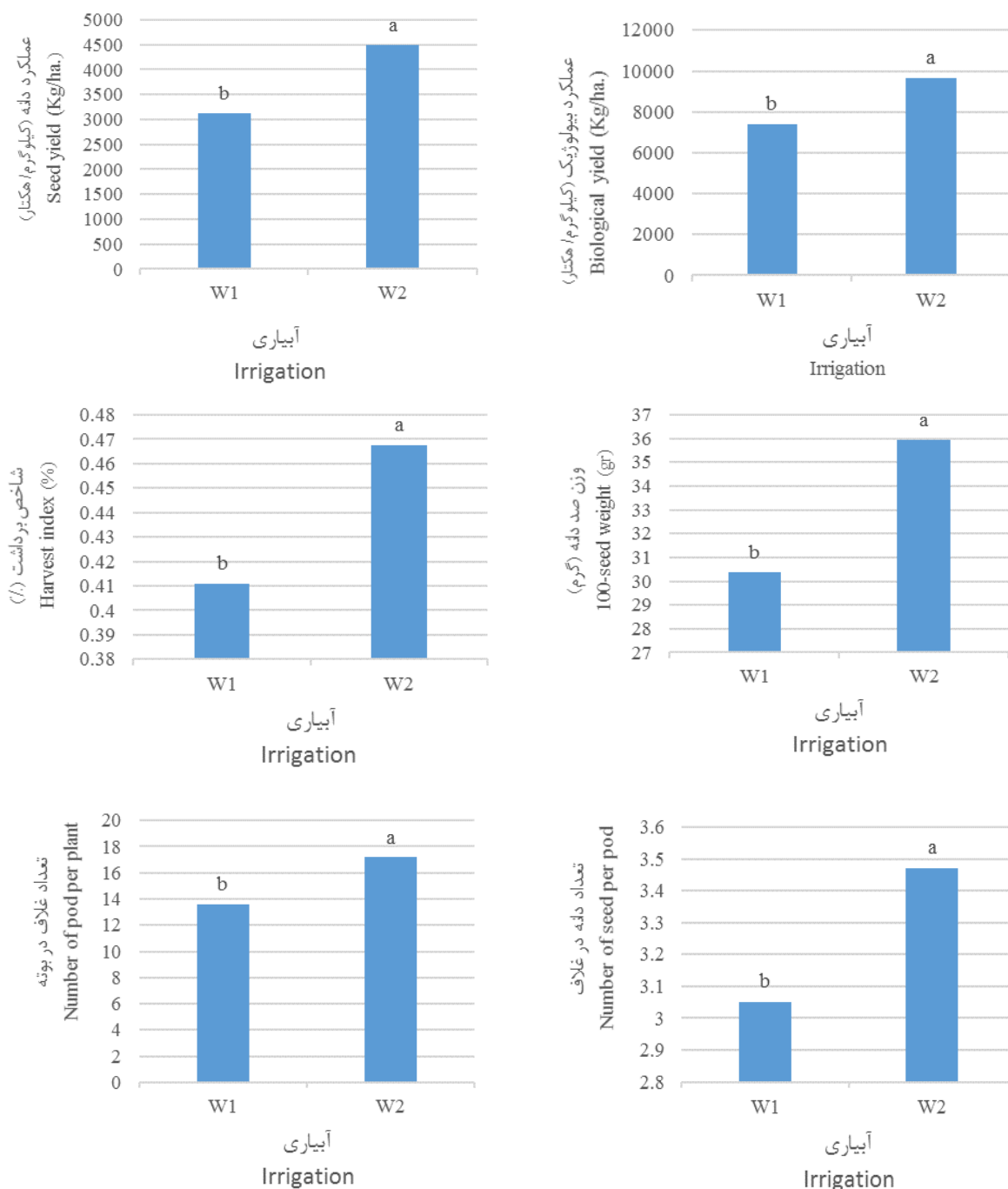
Table 2- Combined analysis of variance for different traits of bean genotypes in normal and low water deficit and nitrogen fertilizer levels

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی d.f. | میانگین مربعات Mean Square | | | | | |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | | عملکرد دانه Seed yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield | شاخص برداشت Harvest index | وزن صد دانه 100-Seed weight | تعداد دانه در غلاف Seed per pod | تعداد غلاف در بوته Pod per plant |
| آبیاری I | 1 | 34461835** | 107611302** | 0.0724769** | 293.908551** | 4.05344444* | 704.032871** |
| Error a | 4 | 1044762.72 | 1683558.2 | 0.0014 | 13.083 | 0.210 | 18.166 |
| خطای تنش F | 4 | 1044762.72 | 1683558.2 | 0.0014 | 13.083 | 0.210 | 18.166 |
| نیتروژن G | 2 | 9688809.6** | 46986592** | 0.0026665 ^{ns} | 107.268381** | 0.2982633 ^{ns} | 75.097671** |
| ژنوتیپ F*G | 4 | 8263169.6** | 46385542.1** | 0.0188556** | 243.161370** | 2.484835** | 594.055224** |
| نیتروژن*ژنوتیپ W*F | 8 | 884687.77 ^{ns} | 1125350.3 ^{ns} | 0.0048011 ^{ns} | 13.8161714 ^{ns} | 0.3600466 ^{ns} | 24.839624* |
| آبیاری*نیتروژن I*G | 2 | 901166.18 ^{ns} | 171600 ^{ns} | 0.0051911 ^{ns} | 10.8871078 ^{ns} | 0.2734011 ^{ns} | 39.909564* |
| آبیاری*ژنوتیپ I*F*G | 4 | 669818.95 ^{ns} | 2935898.5 ^{ns} | 0.0037722 ^{ns} | 23.5276483 ^{ns} | 0.4676305 ^{ns} | 50.811791** |
| آبیاری*نیتروژن*ژنوتیپ | 8 | 1355443.0 ^{ns} | 4281294.9 ^{ns} | 0.0063383 ^{ns} | 17.4051092 ^{ns} | 0.6958538** | 13.054301 ^{ns} |
| خطا Error b | 56 | 741008.40 | 3041284.1 | 0.0037 | 13.220 | 0.198 | 10.319 |
| ضریب تغییرات CV (%) | | 23.64 | 13.64 | 9.69 | 13.85 | 20.49 | 22.43 |

دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی به ترتیب به میزان ۳۰/۵، ۲۳ و ۱۲ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل بود (شکل ۱) که نشان از اهمیت بالای اثرات تنش خشکی بر روی عملکرد گیاه لوبیا داشت. با توجه به شرایط آب و هوایی ایران، لزوم توجه به راه کارهای مؤثر جهت مبارزه با اثرات مخرب تنش خشکی مهم به نظر می‌رسد.

عملکرد دانه و اجزاء عملکرد

مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری، نشان داد که با اعمال تنش کم آبیاری، مقادیر تمامی صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا کاهش یافت (شکل ۱). در آزمایشی بر روی دو رقم لوبیا قرمز نتایج مشابهی گزارش شده است (Bayati *et al.*, 2018). آنچه حائز اهمیت می‌باشد، کاهش معنی‌دار عملکرد

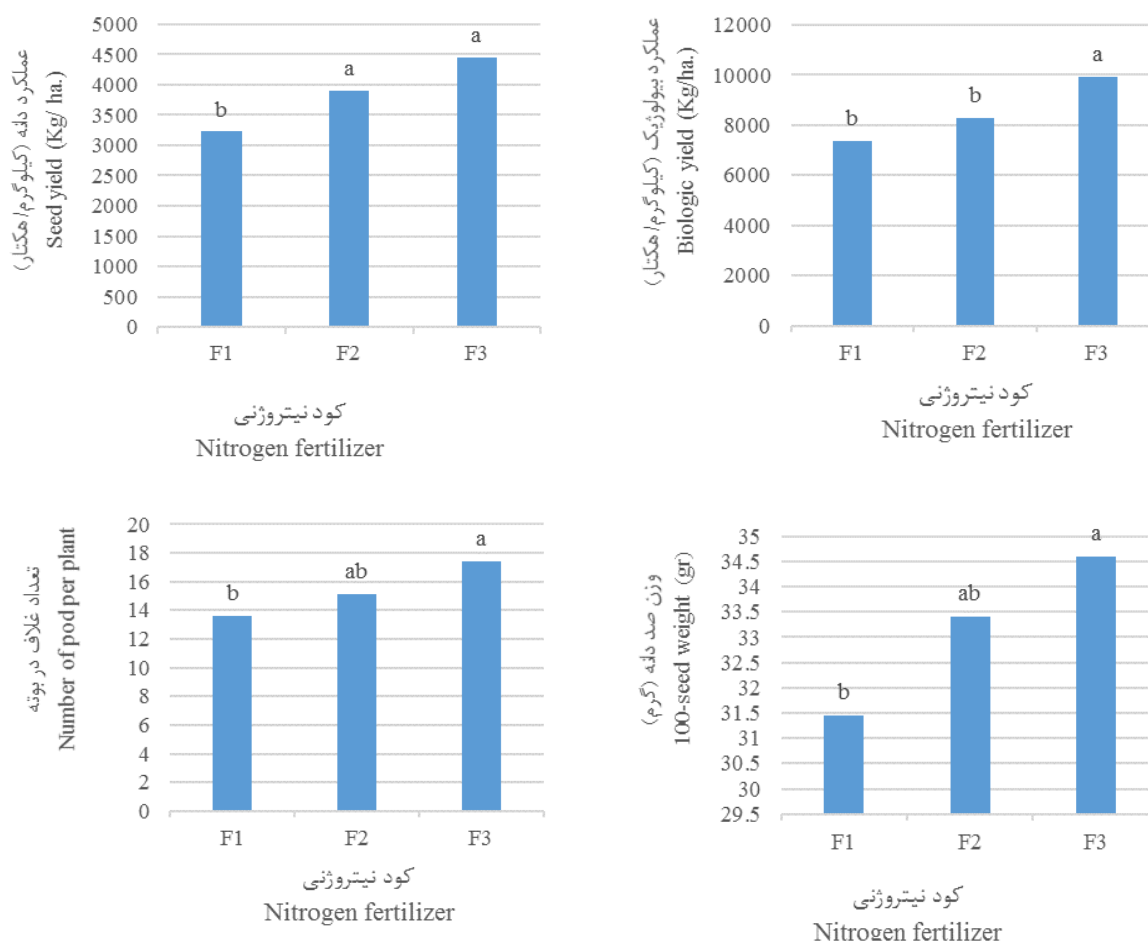


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا (W1 = کم آبیاری، W2 = آبیاری نرمال)

Figure 1- Mean comparison of irrigation treatments on bean yield and yield components (W1 = low irrigation, W2 = normal irrigation)

دادند که بین مصرف کود نیتروژن و عملکرد لوبیا در شرایط تنش خشکی، رابطه مثبتی برقرار است. از این رو می‌توان استفاده از کودهای شیمیایی را به عنوان یکی از راه‌کارهای مؤثر در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی پیشنهاد کرد (Nouralinezhad *et al.*, 2019; Saberali *et al.*, 2020).

با کاربرد مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) به ترتیب میزان عملکرد دانه (۲۱ و ۳۸ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۱۲ و ۳۵ درصد)، وزن صد دانه (۶ و ۹ درصد) و تعداد غلاف در بوته (۱۰ و ۲۷ درصد) به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۲). برخی محققان گزارش



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود نیتروژنی بر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا (F1 = بدون کود، F2 = ۵۰٪ کود نیتروژن، F3 = ۱۰۰٪ کود نیتروژن)

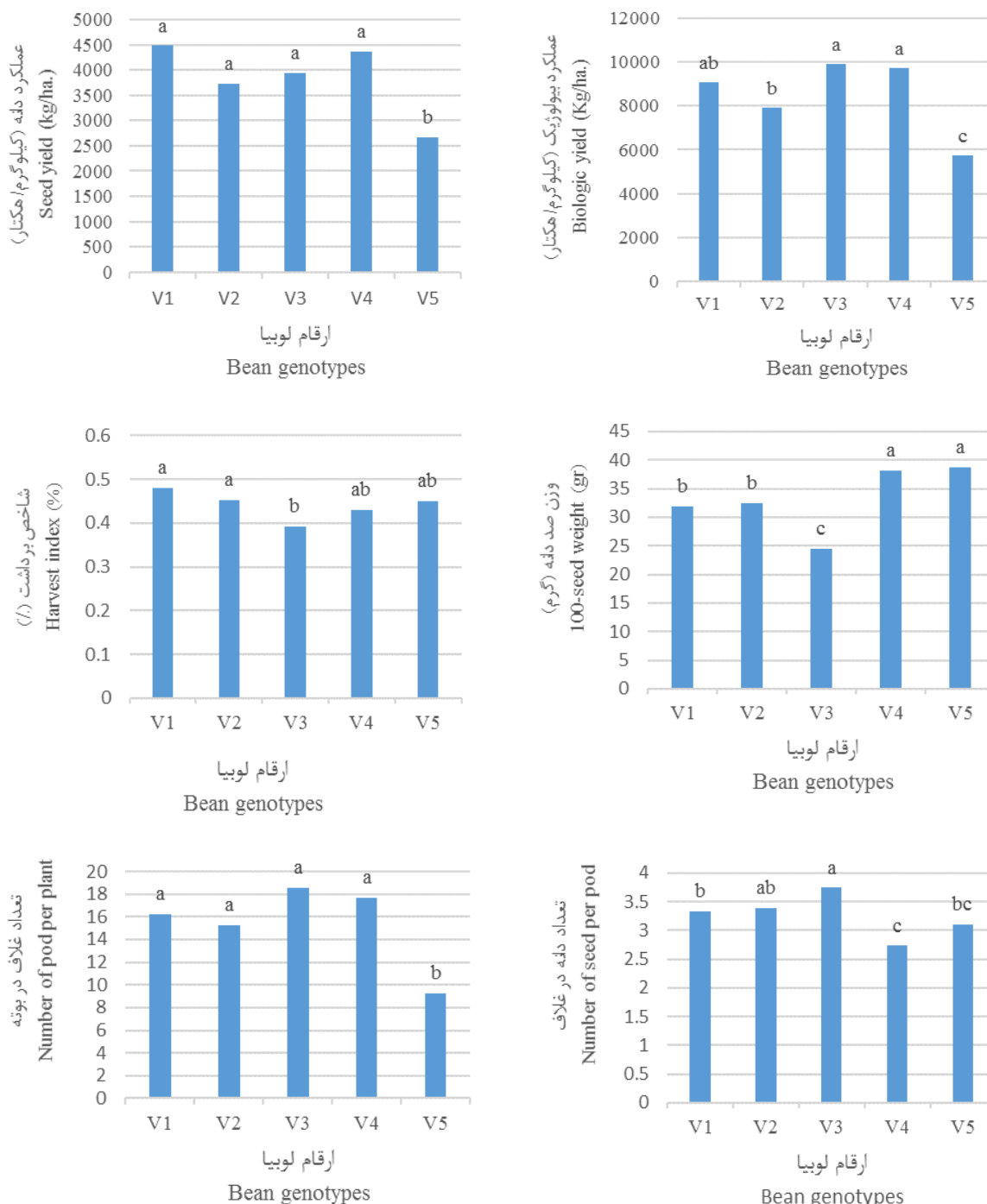
Figure 2- Mean comparison of nitrogen effects on bean yield and yield components (F1 = no fertilizer, F2 = 50% of nitrogen fertilizer, F3 = 100% of nitrogen fertilizer)

بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم گلی (۹۹۱۹ کیلوگرم/هکتار) و کمترین آن مربوط به رقم D81083 (۵۷۶۵ کیلوگرم/هکتار) بود (شکل ۳). شاید بتوان علت این اختلاف عملکرد بیولوژیک (حدود ۴۲ درصد) بین رقم گلی (تیپ رشدی نامحدود (Type III) و رقم تیپ ایستاده D81083 (Type I) به تیپ رشدی آن‌ها نسبت داد. ارقام لوبیا رونده ناز نسبت به رقم ایستاده درخشان دارای میانگین عملکرد بالاتری بوده‌اند (Torabi *et al.*, 2005). در بررسی اثر تاریخ کاشت بر صفات

مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های لوبیا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم پاک (۴۴۸۱ کیلوگرم/هکتار) و کمترین آن مربوط به رقم D81083 (۲۶۶۵ کیلوگرم/هکتار) بود که حدود ۴۰ درصد اختلاف را نشان می‌دهد (شکل ۳). علت پائین بودن عملکرد دانه در رقم D81083 ناهمگنی رسیدن غلاف‌ها و ریزش دانه هنگام برداشت بود که این ویژگی‌های نامطلوب زراعی در سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده نشد.

بخش 21193 k.s با تیپ رشدی ایستاده نامحدود حاصل شد که با بررسی حاضر تطابق دارد (Sadeh *et al.*, 2014).

مورفولوژیک و عملکرد سه تیپ رشدی لوبیا چیتی (شامل لاین I- cos.16- تیپ I؛ لاین 21193 k.s- تیپ II؛ و لاین k.s 21191- تیپ III) بیشترین عملکرد بیولوژیک از لاین امید



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزاء عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا (D81083 = V5، صدری، V4 = V4، گلی، V3 = V3، درسا، V2 = V2، پاک، V1 = V1)

Figure 3- Mean comparison of bean genotypes yield and yield components (V1 = Pak, V2 = Dorsa, V3 = Goli, V4 = Sadri V5 = D81083)

صد دانه) قابل مقایسه با لوبیا قرمز گلی (تیپ رشدی III) بودند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که ارقام رشد نامحدود پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به ارقام رشد محدود دارند (Beizaii, 1999).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که اعمال تنش خشکی و کود نیتروژنی، به طور معنی‌داری بر روی عملکرد و اجزای عملکرد، در تمامی ژنوتیپ‌های لوبیا تأثیرگذار است؛ به‌گونه‌ای که با اعمال تنش کم آبیاری حدود ۳۰ درصد کاهش عملکرد دانه مشاهده گردید؛ اما مصرف کود نیتروژنی باعث مقاومت نسبی ژنوتیپ‌های لوبیا به تنش کم آبیاری شد، به طوری که با کاربرد تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژن، در بین پنج ژنوتیپ مورد بررسی، بالاترین عملکرد دانه به لوبیا سفید پاک (۴۴۸۱ کیلوگرم/هکتار)، لوبیا چیتی صدری (۴۳۷۳ کیلوگرم/هکتار) و لوبیا قرمز گلی (۳۹۳۶ کیلوگرم/هکتار) تعلق داشت. در بین اجزاء عملکرد نیز بیشترین تأثیری پذیری از اعمال تنش کم آبیاری و مصرف کود نیتروژنی مربوط به وزن صد دانه ارقام بود. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که با انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب لوبیا و اعمال سطوح مناسب کود نیتروژنی، می‌توان تا حدودی اثرات مخرب حاصل از تنش کم آبیاری یا خشکی بر عملکرد دانه لوبیا را کاهش داد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از کمک مالی قطب علمی حبوبات کشور، وزارت عتف در به انجام رسیدن این پژوهش سپاس‌گزاری می‌نمایند.

بیشترین شاخص برداشت مربوط به رقم پاک (۴۵ درصد) و کمترین آن مربوط به رقم گلی (۳۹ درصد) بود (شکل ۳). بیشترین وزن صد دانه مربوط به رقم D81083 (۳۸/۷ گرم) و کمترین آن مربوط به رقم گلی (۲۴/۵ گرم) بود (شکل ۳). رقم گلی با وجود داشتن بالاترین بیولوژیک، ولی به دلیل داشتن دانه‌های کوچک بالاترین عملکرد دانه را نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها تولید نکرد (شکل ۳). بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به رقم گلی (۳/۷ دانه) و کمترین آن مربوط به رقم صدری (۲/۷ دانه) بود. همچنین، بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به رقم گلی (۱۸/۵ غلاف) و کمترین آن مربوط به رقم D81083 (۹/۲ غلاف) بود (شکل ۳).

در بررسی واکنش متقابل ژنوتیپ‌های لوبیا به سطوح مختلف آبیاری و کاربرد کود نیتروژن مشاهده شد (جدول ۲) که رقم لوبیا قرمز D81083 (۴۳/۸ گرم) و لوبیا چیتی صدری (۴۲/۳ گرم) بیشترین وزن صد دانه را در تیمارهای آبیاری نرمال و اعمال ۱۰۰ درصد کود نیتروژن داشتند. همچنین، بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۷/۶ غلاف) و دانه در غلاف (۴/۲ دانه) در آبیاری نرمال و ۱۰۰ درصد کود نیتروژن در رقم گلی بدست آمد.

در مجموع، می‌توان این‌گونه اظهار کرد که رقم گلی با تیپ رشدی نامحدود به دلیل عملکرد دانه و بیولوژیک بالاتر و تعداد غلاف‌ها و دانه‌های بیشتر در بوته نسبت به رقم تیپ ایستاده D81083 برتری نشان داده است. دو ژنوتیپ لوبیا سفید (پاک و درسا) با تیپ رشدی II، به لحاظ عملکرد دانه و بیولوژیک و سایر صفات زراعی (شاخص برداشت، تعداد غلاف و دانه در بوته و وزن

References

- Akibode, C.S. and Maredia, M.K. 2012. Global and regional trends in production, trade and consumption of food legume crops. Report of Michigan State University, Department of Agricultural, Food, and Resource Economics. 89 pp.
- Araujo, S.S., Beebe, S., Crespi, M., Delbreil, B., Gonzalez, E.M., Gruber, V., Lejeune-Henaut, I., Link, W., Monteros, M.J. and Prats, E. 2015. Abiotic stress responses in legumes: strategies used to cope with environmental challenges. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3): 237-280.
- Assadi, B. and Asterki, H. 2015. Response of chitti bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines to drought stress based on tolerance indices. *Seed and Plant Journal*, 31(2): 233-248. (In Persian).

- Bayati, K., Majnoun Hosseini, N., Moghadam, H. and Basiri, R.** 2018. Effects of drought stress and nitrogen on grain yield and some agronomic traits of red kidney bean cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4): 1069-1081. (In Persian).
- Beebe, S.E., Rao, I.M., Cajiao, C. and Grajales, M.** 2008. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*, 48(2): 582-592.
- Beizaii, A.** 1999. Project final report and compare the yield of white, red and pinto beans. Central Agriculture Research Center of Markazi Province. (In Persian).
- Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P.A.** 2015. Global synthesis of drought effects on food legume production. *PloS one*, 10(6): e0127401.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A.** 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1): 185-212.
- Ghanbari, A.A., Mousavi, S.H., Mousapour Gorji, A. and Idupulapati, R.** 2013. Effects of water stress on leaves and seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 18(1): 73-77.
- Ghobadi, R., Shirkhani, A. and Jalilian, A.** 2015. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) cv. SC. 704. *Applied Field Crops Research*, 28(106): 79-87. (In Persian).
- IPCC.** 2013. Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge university press*, pp. 1535.
- Kahrizy, S. and Sepehri, A.** 2019. Effect of vermicompost, nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under terminal drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1): 67-83. (In Persian).
- Kraiser, T., Gras, D.E., Gutiérrez, A.G., González, B. and Gutiérrez, R.A.** 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(4): 1455-1466.
- Majnoun Hosseini, N.** 2008. Grain Legume Production. *Jihad-Daneshgahi University of Tehran*, pp. 1-3. (In Persian).
- McClellan, P.E., Burrige, J., Beebe, S., Rao, I.M. and Porch, T.G.** 2011. Crop improvement in the era of climate change: an integrated, multi-disciplinary approach for common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Functional Plant Biology*, 38(12): 927-933.
- Mohammadzadeh, A., Majnoun Hosseini, N., Moghaddam, H. and Akbari, M.** 2013. Effect of different levels of drought stress and nitrogen on yield and yield components of two genotypes of Bean. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(1): 29-38. (In Persian).
- Nouralinezhad, A.R., Amiri, E. and Sedghi, H.** 2019. The yield evaluation and water productivity on common bean and cowpea in irrigation management condition and nitrogen fertilizer. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(4): 1010-1026. (In Persian).
- Price, G.D. and Howitt, S.M.** 2014. Towards turbocharged photosynthesis. *Nature*, 513(7519): 497-498.
- Rao, I.M.** 2014. Advances in improving adaptation of common bean and brachiaria forage grasses to abiotic stress in the tropics. *CRC Press*, Taylor and Francis Group, pp. 847-889.
- Rosales, M.A., Cuellar-Ortiz, S.M., de la Paz Arrieta-Montiel, M., Acosta-Gallegos, J. and Covarrubias, A.A.** 2013. Physiological traits related to terminal drought resistance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2): 324-331.
- Saberli, S.F., Yosefi-fard, M. and Sadat Asilan, K.** 2020. Effect of different level of irrigation regimes and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal Pulses Research*, 11(2): 137-149. (In Persian).
- Sainju, U.M., Whitehead, W.F. and Singh, B.P.** 2005. Biculture legume-cereal cover crops for enhanced biomass yield, carbon, and nitrogen. *Agronomy Journal*, 97(5): 1403-1412.

- Sawan, Z.M.** 2006. Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.) yield as affected by nitrogen fertilisation and foliar application of potassium and mepiquat chloride. *Communications in Biometry and Crop Science*, 1(2): 99-105.
- Shah, S.H.** 2008. Effects of nitrogen fertilization on nitrate reductase activity, protein, and oil yields of *Nigella sativa* L. as affected by foliar GA3 application. *Turkish Journal of Botany*, 32(2): 165-170.
- Torabi Jafroodi, A., Fayaz Moghadam, E. and Hassanzadeh Ghorttappaeh, A.** 2005. Study the effect of plant density and different sowing pattern on seed yield and protein content in red skin common bean varieties. *Abstract Book of the 1st Iranian Pulse Symposium*, Mashhad-Iran, p. 238. (In Persian).
- Vafaei, M.H., Parsa, M., Nezami, A., Ganjeali, A. and Sharaf, A.** 2019. Effect of drought stress on leaf chlorophyll fluorescence, yield, yield components and economic water use efficiency of selected lentil genotypes. *Journal of Crops Improvement*, 21(2): 131-148. (In Persian).
- Yousef Sadeh, Y., Majnoun Hosseini, N. and Zeinali, H.** 2014. Effects of sowing date and growth habit on morphological characters and seed yield at advanced lines of pinto bean (*Phaseolous vulgaris* L.). Master Thesis, University of Tehran. (In Persian).

Yield response of bean genotypes to irrigation stress and nitrogen fertilizer levels

Mohsen Karimi Azar¹, Nasser Majnoun Hosseini^{2*}, Mohammad Reza Bihamta²

¹ M.Sc. student of Agrotechnology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

² Professors, Department of Agriculture and Plant Breeding, School of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding Author: mhoseini@ut.ac.ir

Received: 20 December 2021 Accepted: 12 January 2022 DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320744.1171

Abstract

Introduction: Legume crops as human and animal feed are high in protein and have a positive effect on the yield of other crops when grown in rotation with cereals or as cover crops. However, drought can reduce pulse grain yield by 10 to 100 percent. It has been observed that drought stress has different effects on the yield of various genotypes of lentils; additionally, drought stress reduces grain yield in various cultivars of pinto beans and other genotypes of beans. According to reports, nitrogen can effectively mitigate the damaging effects of drought stress on maize. It has also been reported that the application of fertilizer treatments to various chickpea cultivars increases yield. The creation of stress-resistant plant cultivars has always been regarded as an effective method for mitigating the negative effects of stress. Consequently, the purpose of this study was to examine the impact of irrigation stress and varying nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of bean genotypes.

Materials and Methods: In 2020, two separate experiments (normal irrigation and low irrigation) were conducted on the research field of the school of Agriculture and Natural Resources at the University of Tehran in order to evaluate the effect of low irrigation stress and different levels of nitrogen fertilizer on bean plant yield and yield components. The experiment was designed with a factorial layout based on a completely randomized block with three replications. The experimental treatments included two levels of irrigation (normal irrigation and 50% normal), five levels of bean genotype (Pak, Dorsa, Goli, Sadri, D81083), and three levels of nitrogen fertilizer (no nitrogen fertilizer, 50% nitrogen fertilizer, and 100% nitrogen fertilizer). SAS 9.4 and Excel 2016 were utilized for data analysis, combined analysis of variance of both experiments, comparison of means, and graphing. Also, Minitab was utilized to examine the homogeneity of error variance.

Results and Discussion: Prior to the combined analysis of variance, the homogeneity of variance of the experiments was examined, and it was determined that the homogeneity of variance of error in none of the experiments (at the one percent level) was rejected. The results of a combined analysis of variance indicated that irrigation stress and bean genotypes had a significant effect on all investigated traits. In addition, the application of different nitrogen fertilizer levels had a significant effect on all traits except harvest index and number of grains per pod. The dual interaction of treatments and the triple interaction of irrigation, nitrogen, and genotype on the number of seeds per pod. A comparison of the means of different levels of irrigation revealed that the values of all yield traits and yield components of beans decreased when low irrigation stress was applied. Significant reduction in grain yield, biological yield, and harvest index percentage under drought stress conditions were 30.5, 23 and 12 percent, respectively, when compared to the fully irrigated treatment, demonstrating the significance of drought stress effects on bean crop yield.

Conclusion: The findings of this study indicate that drought stress and nitrogen fertilizer have a significant effect on yield and yield components for all bean genotypes. In such a way that a 30% reduction in grain yield is observed with low irrigation stress. Nevertheless, application of nitrogen fertilizer caused relative resistance of bean genotypes to low irrigation stress, so that using 100%

nitrogen fertilizer treatment, the highest grain yield was obtained for white beans (4481 kg / ha), pinto beans Sadri (4373 kg / ha), and red bean (3936 kg / ha), among the five genotypes. In general, the findings of this study indicated that the destructive effects of low irrigation stress or drought on bean grain yield could be mitigated to some extent by selecting suitable bean genotypes and applying appropriate nitrogen fertilizer levels.

Keywords: Drought stress, Harvest index, Red bean Goli cv., Normal irrigation

عملکرد و اجزای عملکرد، ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی (*Helianthus tuberosus*) در مراحل مختلف رشد

لیلا طاهرآبادی^{۱*}، فرخ کفیلزاده^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: Taherabadi.le@razi.ac.ir

DOI: 10.22034/csrar.2022.318270.1163

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۶

چکیده

به منظور بررسی پتانسیل تولید بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی به عنوان علوفه در تغذیه دام که با هدف تولید غده آن کشت می‌شود؛ مطالعه‌ای در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. در طول دوره رویشی تا گل‌دهی کامل، عملکرد و اجزای عملکرد تولید بخش هوایی در ۷ مرحله و ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم در ۵ مرحله اندازه‌گیری شد. عملکرد ماده خشک تولیدی در سال اول در دو مرحله‌ی قبل از شروع گل‌دهی و گل‌دهی کامل به ترتیب ۲۹/۱ و ۳۰/۴ تن در هکتار و در سال دوم به ترتیب ۲۴/۰ و ۲۵/۳ تن در هکتار بود. افزایش ماده آلی طی مراحل رشد با افزایش اجزاء دیواره سلولی و کربوهیدرات‌های محلول در آب و کاهش پروتئین خام همراه بود. در طی دوره رشد ماده آلی، اجزاء دیواره سلولی و کربوهیدرات‌های محلول ساقه بالاتر و پروتئین خام در برگ بالاتر بود. قابلیت هضم ماده آلی بخش هوایی با رشد گیاه تا مرحله گل‌دهی کامل از ۶۴/۰ به ۵۶/۶ درصد کاهش یافت. افزایش عملکرد ماده آلی قابل هضم در هکتار در طول دوره رشد با عدم تغییر آن از مرحله قبل از شروع گل‌دهی تا گل‌دهی کامل همراه بود. نتایج این مطالعه نشان داد که اگرچه حداکثر عملکرد ماده خشک تولیدی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در مرحله گل‌دهی کامل صورت گرفت؛ اما، عملکرد ماده آلی قابل هضم در هکتار قبل از شروع گل‌دهی تا گل‌دهی کامل بدون تغییر بود.

واژه‌های کلیدی: آرتیشو اورشلیم، ارزش غذایی، زمان برداشت، علوفه

مقدمه

سیب زمینی ترشی *Helianthus tuberosus* L. گیاهی چند ساله و از خانواده آفتابگردان (*Asteraceae*) است که به دلیل شباهت زیاد آن به گیاه آفتابگردان به آن "آفتابگردان وحشی" می‌گویند (Matías et al., 2013). هم‌چنین، این گیاه با نام آرتیشو اورشلیم^۱ در اکثر کشورها به منظور استفاده از محصول غده آن جهت مصارف خوراکی، صنعتی و دامی کشت می‌شود (Cabral et al., 2018; Cardellina, 2015; Zhang et al., 2016). علاوه بر ویژگی‌های مذکور، قابلیت سازگاری با شرایط بسیار متنوع به همراه مقاومت به آفات و بیماری‌ها باعث کاهش هزینه‌های کاشت آن شده است (Gao et al., 2020). نکته جالب توجه در رابطه با گیاه این است که قبل از سال ۱۹۷۲ در تغذیه دام مورد استفاده قرار گرفته است (Becker and Nehring, 1969). پتانسیل استفاده از این گیاه که برای مدت‌ها به دست

تأمین منابع پروتئینی مورد نیاز جامعه، مستلزم تأمین منابع خوراکی دام می‌باشد. علوفه، عمده‌ترین بخش از خوراک دام را تشکیل می‌دهد. لذا مطالعه در خصوص منابع علوفه‌ای جدید با هدف ایجاد تنوع در این ماده خوراکی به منظور استفاده از علوفه‌ها در تأمین هر چه بیشتر مواد مغذی مورد نیاز دام‌ها ضروری به نظر می‌رسد (Ørskov, 1998). از سوی دیگر، استفاده از پتانسیل تولید علوفه به عنوان یک محصول جانبی از گیاهانی که با هدف تولید محصولات برای انسان کشت می‌شوند، می‌تواند یک راهکار مهم در استفاده بهینه از منابع آبی کشور و کمک به بخش کشاورزی باشد. یکی از این گیاهان با پتانسیل بالای تولید علوفه سبز گیاه سیب زمینی ترشی است (Gunnarsson et al., 2014).

رشد بود که به صورت طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. بدین منظور قبل از کاشت عملیات تکمیلی آماده‌سازی زمینی که در پاییز شخم زده شده بود صورت گرفت و هیچ کودی استفاده نشد. جهت انجام مطالعه، غده‌های گیاه سیب زمینی ترشی مربوط به پاییز سال قبل از موسسه تحقیقاتی علوم دامی کشور واقع در استان البرز (Papi, 2015) تهیه شد. سپس، غده‌ها با دو یا سه جوانه در ۱۲ فروردین ماه سال ۱۳۹۷ در یک قطعه زمین شامل ۲۸ کرت در ۴ بلوک (۷ کرت در هر بلوک) با فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر با دست و با تراکم ۸۰۰۰۰ در هکتار کشت شد. ابعاد هر کرت (۵ × ۴) ۲۰ متر مربع و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر بود. غده‌های تولید شده از سال قبل در سال دوم در ۱۶ فروردین ماه ۱۳۹۸ مشابه سال قبل کشت شد. عملیات زراعی مطابق روش مرسوم گیاهان بهاره و مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد. آبیاری پس از سبز شدن گیاه تا پایان بهار هر ۱۰ روز یکبار و پس از آن هر هفته یکبار به روش بارانی صورت گرفت. محلول‌پاشی کود (۲۰-۲۰-۲۰) NPK (شرکت گلپهاران اصفهان) در سال اول در ۷۴ و ۱۰۳ روز بعد از کاشت و در سال دوم ۷۳ و ۹۵ روز بعد از کاشت و مطابق توصیه ذکر شده دو کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. علی‌رغم درگیر شدن مزارع دانشکده کشاورزی به آفات، به دلیل مقاوم بودن گیاه سیب زمینی ترشی ضرورت استفاده از سموم آفت‌کش در هیچ یک از سال‌ها مشاهده نشد.

به منظور تعیین عملکرد و کیفیت علوفه، برداشت بخش هوایی سیب زمینی ترشی در مراحل مختلف رشد در سال اول در روزهای ۷۱، ۸۵، ۹۹، ۱۲۰، ۱۳۴، ۱۴۸ (قبل از شروع گل‌دهی) و ۱۶۲ (گل‌دهی کامل) بعد از کاشت و در سال دوم در روزهای ۶۷، ۷۹، ۹۳، ۱۲۱، ۱۳۵، ۱۴۹ (قبل از شروع گل‌دهی) و ۱۵۹ (گل‌دهی کامل) پس از کاشت از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری سطح زمین با دست صورت گرفت. تعیین عملکرد کل بخش هوایی به صورت تر، پس از برداشت کامل هر کرت در هر یک از مراحل رشد صورت گرفت. تعداد چهار نمونه از هر کرت برای تعیین نسبت برگ و ساقه و اندازه‌گیری ماده خشک کل گیاه، برگ و ساقه استفاده شد. ماده خشک نمونه‌ها در آون دارای جریان هوا در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته‌ها با استفاده از متر نواری از سطح زمین تا بالاترین برگ در ساقه اصلی اندازه‌گیری شد.

فراموشی سپرده شده بود، اخیراً و مجدداً در کشورهای مختلف مورد توجه قرار گرفته است. در کشور ما نیز استفاده از این گیاه به عنوان یک منبع علوفه‌ای به یک دهه پیش برمی‌گردد (Fazaeli *et al.*, 2009). با این وجود، بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در صنعت جهت تولید بیوگاز و در تغذیه دام به صورت خشک شده و سیلو شده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rossini *et al.*, 2019; Papi *et al.*, 2017 and 2019).

عملکرد تولیدی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی ۱۰۰-۷۰ تن علوفه تر و ۳۵-۱۵ تن ماده خشک در هکتار گزارش شده است که در مقابل ذرت علوفه‌ای با تولید ۱۰۰-۶۰ تن علوفه تر و ۳۰-۲۰ تن ماده خشک در هکتار قابل توجه است (Gunnarsson *et al.*, 2014; Assefa *et al.*, 2017). هم‌چنین، در مطالعات صورت گرفته در استان البرز عملکرد علوفه تر و خشک آن در شروع گل‌دهی به ترتیب ۶۴ و ۱۹ تن در هکتار گزارش شد (Papi *et al.*, 2015). علی‌رغم کشت این گیاه در برخی از مناطق ایران جهت تهیه غده، مطالعات بسیار محدودی در رابطه با بخش هوایی این گیاه در ایران صورت گرفته است (Papi *et al.*, 2015; Farzinmehr *et al.*, 2020; Mohammadi *et al.*, 2019). این چند مطالعه نیز از یک سو منحصر به پژوهش‌هایی است که این گیاه در موسسه تحقیقات علوم دامی کشور در استان البرز کشت شده است و از سوی دیگر اطلاعات فوق مبتنی بر بررسی گیاه در مراحل محدودی از رشد بوده و تغییرات ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم برگ و ساقه نیز در مراحل مختلف رشد در آن‌ها گزارش نشده است.

بنابراین، مطالعه حاضر با هدف تعیین عملکرد، ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم کل بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی و اجزای آن طی مراحل مختلف رشد تا گل‌دهی کامل جهت تغذیه دام در دو سال زراعی متوالی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی واقع در استان کرمانشاه اجرا شد. شرایط آب و هوایی منطقه در طول دوره آزمایش در جدول ۱ گزارش شده است. صفات مورد مطالعه در این پژوهش شامل ارزیابی رشد و عملکرد بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در ۷ مرحله و ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم آن در ۵ مرحله از

جدول ۱- شرایط آب و هوایی در طول مراحل رشد گیاه سیب زمینی ترشی

Table 1- Climate conditions during the growth stages of Jerusalem artichoke

| ماه Month | بارندگی Precipitation (mm) | | حداقل دما Temperature minimum (°C) | | حداکثر دما Temperature maximum (°C) | |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------|--|------|---|------|
| | ۱۳۹۷ | ۱۳۹۸ | ۱۳۹۷ | ۱۳۹۸ | ۱۳۹۷ | ۱۳۹۸ |
| | 2018 | 2019 | 2018 | 2019 | 2018 | 2019 |
| فروردین 21 March- 20 April | 63.4 | 194.8 | 6.3 | 4.7 | 22 | 16.2 |
| اردیبهشت 21 April- 21 May | 169.0 | 17.5 | 9.2 | 6.6 | 21.2 | 24.4 |
| خرداد 22 May- 21 June | 5.2 | 0 | 12.5 | 13.0 | 31.7 | 34.0 |
| تیر 22 June-22 July | 0 | 0 | 17.8 | 16.6 | 39.6 | 38.7 |
| مرداد 23 July- 22 August | 0 | 0 | 19.0 | 18.6 | 40.5 | 39.5 |
| شهریور 23 August- 22 September | 0 | 0 | 14.6 | 14.4 | 36.7 | 35.3 |

شد. برای هر پاسخ متغیر معادله خطی، درجه دو، سه و چهار در نظر گرفته شد و انتخاب مناسب‌ترین مدل با ($P < 0.05$) و بیشترین ضریب تبیین (R^2) صورت گرفت.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + e_{ij} \quad \text{مدل (۱)}$$

در این مدل Y_{ij} مشاهده؛ μ ، اثر میانگین؛ T_i ، اثر زمان؛ R_j ، اثر بلوک و e_{ij} ، خطای آزمایشی هستند.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به عملکرد تولید و رشد بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در جدول ۲ گزارش شده است. در طول دوره رشد گیاه، بیشترین عملکرد تر و ماده خشک بخش هوایی در مرحله-ی گل‌دهی کامل مشاهده شد. عملکرد ماده خشک تولیدی در دو مرحله‌ی قبل از شروع گل‌دهی و گل‌دهی کامل در سال اول به ترتیب ۲۹/۱ و ۳۰/۴ تن در هکتار و در سال دوم به ترتیب ۲۴/۰ و ۲۵/۳ تن در هکتار بود. عملکرد تر بخش هوایی گیاه در سال اول قبل از شروع گل‌دهی ۹۹/۰ تن در هکتار و در سال دوم ۸۵/۴ تن در هکتار بود. افزایش عملکرد تولیدی در این مرحله با افزایش ارتفاع بخش هوایی تا ۲۴۵/۱ و ۲۱۶/۷ سانتی‌متر در سال اول و دوم همراه بود. در طول دوره رشد تا زمان قبل از شروع گل‌دهی، کاهش نسبت ماده برگ به ساقه از ۱/۶۲ به ۰/۴۸ و از ۱/۵۰ به ۰/۶۱ به ترتیب در سال اول و دوم مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر با گزارشی در رابطه با تولید علوفه تر بیش از ۹۰ تن در هکتار هم‌خوانی داشت (Swanton

تعیین ترکیبات شیمیایی و قابلیت هضم بخش هوایی و اجزای آن در سال اول در روزهای ۷۱، ۹۹، ۱۲۰، ۱۴۸ و ۱۶۲ پس از کاشت و در سال دوم در ۶۷، ۹۳، ۱۳۵، ۱۴۹ و ۱۵۹ روز پس از کاشت انجام شد. بعد از آسیاب شدن نمونه‌های خشک شده با الک یک میلی‌متری اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی اجزاء دیواره سلولی فاقد خاکستر (الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و لیگنین) (Van Soest *et al.*, 1991 پروتئین خام به روش میکروکجلدال و ماده آلی (AOAC, 2000) و کربوهیدرات‌های محلول در آب (Dubois *et al.*, 1956) انجام شد. قابلیت هضم نمونه‌هایی که ترکیبات شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شده بود به روش برون‌تنی شامل مرحله هضم بی‌هوایی و مرحله هضم پیپسین اسیدی تعیین شد (Tilley and Terry, 1963). شیرابه شکمبه مورد نیاز جهت انجام آزمایشات قابلیت هضم از سه راس گوسفند نر فیستوله‌گذاری شده نژاد سنجابی، قبل از خوارک‌دهی وعده صبح جمع-آوری و با بافر McDougall (1984) استفاده شد.

میانگین داده‌های مربوط به عملکرد گیاه و انحراف استاندارد آن‌ها با استفاده از رویه MEANS نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) تعیین شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم نمونه‌ها مطابق مدل (۱) با رویه GLM و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. پاسخ متغیر ماده آلی قابل هضم به دوره رشد با استفاده از رویه REG انجام

می‌دهد که با افزایش سن گیاه، مواد فتوسنتزی بیشتری به ساقه اختصاص داده می‌شود. این پدیده می‌تواند به دلیل نیاز افزایش استحکام بخش هوایی به همراه افزایش ارتفاع گیاه باشد؛ به طوری که در مراحل اولیه رشد با مقادیر کمتر ماده خشک سهم بیشتری به برگ اختصاص می‌یابد (Karimi and Siddique, 1991).

(et al., 1992). دیگر گزارشات، افزایش عملکرد بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی را با افزایش سن گیاه نشان دادند (Hay and Offer, 1992; Li et al., 2017). با این وجود، تولید علوفه تر و خشک در مطالعه حاضر افزایشی معادل ۳۰ و ۴۰ درصد نسبت به عملکرد گزارش شده در استان البرز را نشان داد (Papi et al., 2015). توزیع ماده خشک بین برگ و ساقه نشان

جدول ۲- عملکرد و اجزای عملکرد بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی طی مراحل مختلف رشد در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (میانگین \pm انحراف استاندارد)

Table 2- Yield and yield components of the aerial part of Jerusalem artichoke plant during different growth stages in 2018 and 2019 years (Mean \pm Standard deviation)

| سال Year | روزهای پس از کاشت Days after planting | عملکرد بخش هوایی Aerial part yield (kg ha ⁻¹) | | درصد از کل تولید (برحسب ماده خشک) Yield percentage (on DM basis) | | نسبت برگ به ساقه (برحسب ماده خشک) Leaf to stem ratio (on DM basis) | ارتفاع بوته Plant height (cm) | |
|--------------|--|---|------------------------|---|----------------|---|--|------------------|
| | | تر Fresh | ماده خشک Dry matter | ماده خشک %DM | برگ Leaf | | | ساقه Stem |
| ۱۳۹۷ 2018 | 71 | 23255 \pm 3871 | 3203 \pm 359 | 13.7 \pm 0.7 | 61.7 \pm 2.8 | 38.3 \pm 2.8 | 1.62 \pm 0.19 | 84.9 \pm 5.1 |
| | 85 | 35444 \pm 4201 | 6073 \pm 1026 | 17.1 \pm 1.6 | 51.9 \pm 4.3 | 48.1 \pm 4.1 | 1.08 \pm 0.19 | 126.9 \pm 7.0 |
| | 99 | 45105 \pm 7659 | 9605 \pm 1513 | 21.2 \pm 1.2 | 47.5 \pm 1.9 | 52.5 \pm 8.2 | 0.90 \pm 0.16 | 153.5 \pm 10.0 |
| | 120 | 71926 \pm 8298 | 19295 \pm 2224 | 26.8 \pm 1.7 | 38.7 \pm 0.7 | 61.3 \pm 1.9 | 0.63 \pm 0.03 | 196.6 \pm 6.9 |
| | 134 | 92465 \pm 8655 | 25216 \pm 145 | 27.2 \pm 1.2 | 32.5 \pm 2.7 | 67.5 \pm 2.7 | 0.48 \pm 0.06 | 221.4 \pm 16.5 |
| | 148 | 99012 \pm 11503 | 29102 \pm 2781 | 29.3 \pm 1.0 | 32.7 \pm 1.6 | 67.3 \pm 1.6 | 0.48 \pm 0.03 | 245.1 \pm 10.8 |
| ۱۳۹۸ 2019 | 162 | 98128 \pm 11438 | 30466 \pm 2502 | 31.0 \pm 1.2 | 29.1 \pm 0.7 | 70.9 \pm 0.8 | 0.41 \pm 0.01 | 253.6 \pm 7.5 |
| | 67 | 14013 \pm 2618 | 2554 \pm 425 | 18.2 \pm 0.9 | 60.0 \pm 1.2 | 40.0 \pm 1.2 | 1.50 \pm 0.08 | 72.8 \pm 7.3 |
| | 79 | 20595 \pm 1589 | 4551 \pm 190 | 22.0 \pm 1.6 | 60.3 \pm 1.1 | 39.7 \pm 1.1 | 1.52 \pm 0.06 | 107.2 \pm 9.5 |
| | 93 | 35970 \pm 5881 | 8240 \pm 1382 | 22.9 \pm 0.4 | 53.4 \pm 2.3 | 46.6 \pm 2.3 | 1.15 \pm 0.10 | 127.5 \pm 9.8 |
| | 121 | 68469 \pm 4661 | 16715 \pm 1327 | 24.4 \pm 1.3 | 44.6 \pm 1.5 | 55.4 \pm 1.5 | 0.81 \pm 0.05 | 187.1 \pm 7.8 |
| | 135 | 77893 \pm 4971 | 20697 \pm 1632 | 26.5 \pm 1.2 | 43.0 \pm 4.0 | 57.0 \pm 4.0 | 0.75 \pm 0.12 | 204.1 \pm 6.2 |
| | 149 | 85412 \pm 6793 | 24082 \pm 2432 | 28.1 \pm 2.9 | 38.0 \pm 1.7 | 62.0 \pm 1.7 | 0.61 \pm 0.04 | 216.7 \pm 13.5 |
| | 159 | 83913 \pm 5012 | 25310 \pm 1387 | 30.1 \pm 0.9 | 37.8 \pm 3.0 | 62.2 \pm 3.0 | 0.61 \pm 0.07 | 218.4 \pm 15.9 |

در کیلوگرم ماده خشک بود. با ادامه روند رشد بخش هوایی افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول و کاهش پروتئین مشاهده شد و در زمان قبل از شروع گل‌دهی به ترتیب به مقدار ۲۲۵/۰ و ۹۲/۴ گرم در کیلوگرم ماده خشک رسید. ترکیب شیمیایی گیاه به دلیل انتقال و جایابی زیاد مواد مغذی مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و عناصر معدنی در طول دوره رشد و با زمان بلوغ بین بخش‌های مختلف متغیر است (Denoroy, 1996). این تغییرات در طول دوره رشد متأثر از عوامل مختلف محیطی مانند دما و نور و عوامل دیگری از قبیل دفعات و زمان آبیاری، کوددهی قرار می‌گیرد (Gunnarsson et al., 2014).

ترکیب شیمیایی کل بخش هوایی، برگ و ساقه گیاه سیب زمینی ترشی در طی دو سال در جداول ۳ و ۴ گزارش شده است. نتایج نشان داد که افزایش معنی‌دار ماده آلی طی مراحل رشد با افزایش اجزاء دیواره سلولی و کربوهیدرات‌های محلول همراه بود و مقدار این ترکیبات در ساقه بالاتر از برگ بود. مقدار پروتئین خام با افزایش سن گیاه کاهش معنی‌داری را نشان داد و غلظت آن در طول دوره رشد در برگ بالاتر از ساقه بود. همچنین، در طی دو سال متوالی میزان ماده آلی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و شوینده اسیدی و لیگنین بخش هوایی قبل از شروع گل‌دهی به ترتیب ۸۹۵/۳، ۴۱۸/۷، ۳۱۰/۶ و ۸۵/۳ گرم

جدول ۳- اجزاء دیواره سلولزی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی طی مراحل مختلف رشد در سال های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
Table 3- Cell wall components of the aerial part of Jerusalem artichoke plant during different growth stages in 2018 and 2019 years

| سال Year | روزهای پس از کاشت Days after planting | الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (g kgDM ⁻¹) | | | الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (g kgDM ⁻¹) | | | لیگنین Lignin (g kgDM ⁻¹) | | |
|-------------|--|---|---------------------|--------------------|---|---------------------|---------------------|--|-------------------|--------------------|
| | | کل بخش هوایی Total aerial part | برگ Leaf | ساقه Stem | کل بخش هوایی Total aerial part | برگ Leaf | ساقه Stem | کل بخش هوایی Total aerial part | برگ Leaf | ساقه Stem |
| ۱۳۹۷ | 71 | 402.4 ^b | 300.5 ^c | 444.5 ^b | 270.7 ^c | 231.5 ^c | 301.0 ^b | 39.6 ^c | 31.0 ^c | 56.5 ^c |
| 2018 | 99 | 375.8 ^c | 332.8 ^{bc} | 397.5 ^c | 269.8 ^c | 242.0 ^c | 279.7 ^b | 40.6 ^c | 22.8 ^c | 67.7 ^c |
| | 120 | 381.2 ^c | 358.3 ^{ab} | 406.7 ^c | 299.1 ^b | 259.9 ^{bc} | 283.9 ^b | 71.2 ^b | 53.2 ^b | 87.7 ^b |
| | 148 | 428.8 ^a | 374.5 ^a | 445.8 ^b | 325.1 ^a | 291.0 ^a | 353.0 ^a | 88.5 ^a | 74.5 ^a | 113.8 ^a |
| | 162 | 418.9 ^b | 365.2 ^{ab} | 465.2 ^a | 336.7 ^a | 285.0 ^{ab} | 367.9 ^a | 94.1 ^a | 83.2 ^a | 120.2 ^a |
| | | 5.6 | 9.8 | 4.6 | 4.9 | 7.9 | 8.7 | 3.2 | 4.2 | 4.3 |
| | | خطای استاندارد میانگین SEM | | | | | | | | |
| | | سطح معنی داری P-value | | | | | | | | |
| | | زمان Time | | | | | | | | |
| | | بلوک Block | | | | | | | | |
| ۱۳۹۸ | 67 | 383.2 ^c | 309.2 ^c | 398.5 ^b | 239.3 ^c | 195.5 ^c | 256.9 ^b | 43.2 ^c | 34.7 ^b | 46.4 ^c |
| 2019 | 93 | 364.0 ^d | 303.0 ^c | 382.6 ^b | 224.0 ^c | 193.5 ^c | 260.0 ^b | 35.0 ^c | 27.0 ^b | 53.0 ^c |
| | 135 | 404.0 ^b | 345.2 ^b | 433.7 ^a | 276.0 ^b | 250.0 ^b | 311.4 ^{ab} | 63.3 ^b | 55.2 ^a | 81.2 ^b |
| | 149 | 408.6 ^{ab} | 380.6 ^a | 431.3 ^a | 296.1 ^{ab} | 276.2 ^a | 322.6 ^a | 76.5 ^a | 61.7 ^a | 88.7 ^{ab} |
| | 159 | 423.8 ^a | 381.9 ^a | 454.0 ^a | 309.9 ^a | 283.1 ^a | 338.0 ^a | 84.6 ^a | 61.3 ^a | 97.0 ^a |
| | | 4.4 | 6.8 | 8.4 | 8.9 | 7.2 | 14.7 | 3.7 | 3.4 | 2.9 |
| | | خطای استاندارد میانگین SEM | | | | | | | | |
| | | سطح معنی داری P-value | | | | | | | | |
| | | زمان Time | | | | | | | | |
| | | بلوک Block | | | | | | | | |

اعداد با حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر سال دارای اختلاف معنی دار (P<0.05) نمی باشند.
Numbers with the same letters for each column for each year are not significantly different (P<0.05).
SEM: Standard error means

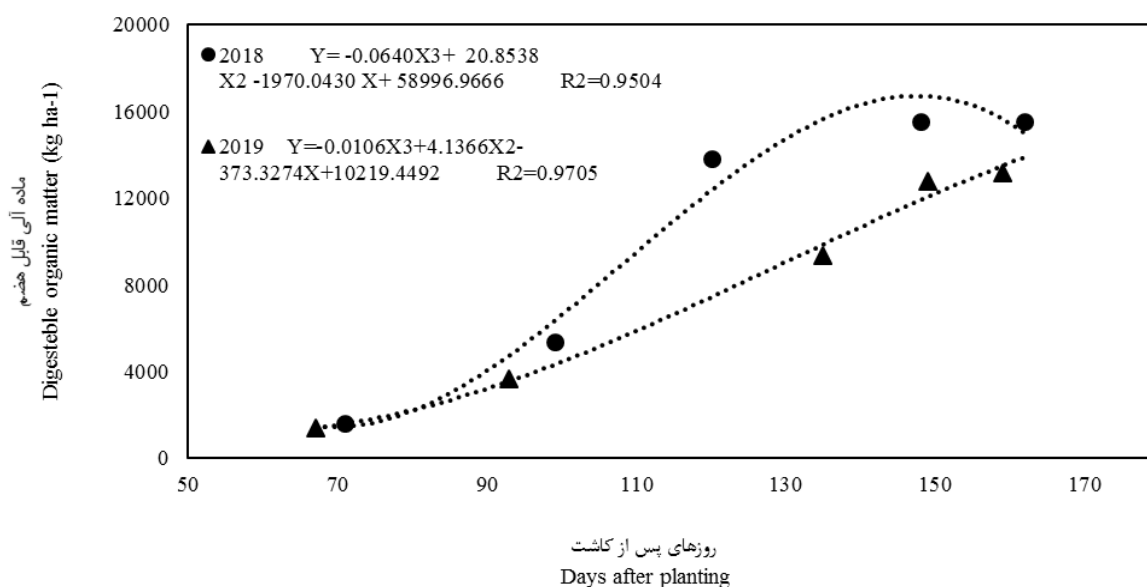
جدول ۴- ترکیب شیمیایی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی طی مراحل مختلف رشد در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
 Table 4- Chemical composition of the aerial part of Jerusalem artichoke plant during different growth stages in 2018 and 2019 years

| سال Year | روزهای پس از کاشت Days after planting | ماده آلی Organic matter (g kgDM ⁻¹) | | | کربوهیدرات‌های محلول در آب Water soluble carbohydrate (g kgDM ⁻¹) | | | پروتئین خام Crude protein (g kgDM ⁻¹) | | |
|-------------|--|--|---------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|--|--------------------|--------------------|
| | | کل بخش هوایی Total aerial part | برگ Leaf | ساقه Stem | کل بخش هوایی Total aerial part | برگ Leaf | ساقه Stem | کل بخش هوایی Total aerial part | برگ Leaf | ساقه Stem |
| ۱۳۹۷ | 71 | 807.9 ^c | 782.0 ^c | 858.6 ^c | 94.9 ^c | 86.8 ^b | 122.7 ^c | 112.9 ^a | 137.5 ^a | 81.4 ^a |
| 2018 | 99 | 884.6 ^b | 817.9 ^a | 927.3 ^b | 212.2 ^b | 94.0 ^b | 264.5 ^b | 96.2 ^{ab} | 128.7 ^b | 61.0 ^{bc} |
| | 120 | 893.3 ^b | 816.6 ^{ab} | 930.2 ^b | 200.7 ^b | 105.1 ^a | 253.7 ^b | 84.7 ^{bc} | 130.0 ^b | 63.8 ^b |
| | 148 | 909.3 ^a | 806.0 ^b | 957.6 ^a | 234.5 ^a | 92.3 ^b | 293.0 ^a | 85.6 ^{bc} | 123.2 ^c | 57.5 ^{bc} |
| | 162 | 921.9 ^a | 784.5 ^c | 957.3 ^a | 247.5 ^a | 104.7 ^a | 273.8 ^{ab} | 76.7 ^c | 110.1 ^d | 55.2 ^c |
| | | خطای استاندارد میانگین SEM | 4.5 | 7.03 | 3.8 | 2.9 | 7.6 | 4.9 | 1.5 | 2.2 |
| | | سطح معنی داری P-value | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.005 | <0.001 | 0.006 | <0.001 | <0.001 |
| | | زمان Time | 0.08 | 0.01 | 0.69 | 0.03 | 0.44 | 0.74 | <0.001 | 0.65 |
| | | بلوک Block | | | | | | | | |
| ۱۳۹۸ | 67 | 835.0 ^c | 826.1 ^a | 841.0 ^c | 76.0 ^c | 69.2 ^c | 83.5 ^d | 126.2 ^a | 178.8 | 65.7 ^a |
| 2019 | 93 | 891.7 ^a | 805.2 ^b | 932.1 ^b | 173.5 ^b | 97.6 ^b | 224.5 ^c | 103.5 ^{bc} | 163.7 | 58.4 ^a |
| | 135 | 893.2 ^a | 814.3 ^{ab} | 935.3 ^{ab} | 211.1 ^a | 109.6 ^a | 248.2 ^b | 107.5 ^b | 171.2 | 64.8 ^a |
| | 149 | 881.3 ^b | 794.2 ^{bc} | 934.2 ^b | 215.6 ^a | 102.0 ^{ab} | 272.0 ^a | 99.2 ^c | 166.5 | 44.6 ^b |
| | 159 | 897.2 ^a | 790.9 ^c | 946.9 ^a | 217.2 ^a | 97.6 ^b | 258.8 ^{ab} | 87.0 ^d | 166 | 32.9 ^c |
| | | خطای استاندارد میانگین SEM | 2.8 | 3.5 | 3 | 3.9 | 4.9 | 2.2 | 4.8 | 2.7 |
| | | سطح معنی داری P-value | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.33 | <0.001 |
| | | زمان Time | 0.1 | 0.59 | 0.54 | 0.79 | 0.5 | 0.28 | 0.94 | 0.26 |
| | | بلوک Block | | | | | | | | |

اعداد با حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر سال دارای اختلاف معنی دار (P<0.05) نمی‌باشند.
 Numbers with the same letters for each column for each year are not significantly different (P<0.05).
 SEM: Standard error means

گیاه سیب زمینی ترشی گزارش شده است (Malmberg and Theander, 1986). در رابطه با تغییرات میزان اجزاء دیواره سلولی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در طول فصل رشد، نتایج متفاوتی گزارش شده است (Hay and Offer, 1992; Papi et al., 2015). این اختلافات به دلیل جابجایی مواد مغذی بین بخش‌های مختلف گیاه و تبدیل آن‌ها به مواد دیگر در طول دوره رشد می‌باشد (Denoroy, 1996). با این حال، در مطالعه حاضر مقدار اجزاء دیواره سلولی ساقه در تمامی مراحل رشد بالاتر از برگ بود و بیشترین مقادیر آن در مراحل انتهایی رشد مشاهده شد. مطابق با نتایج مطالعه حاضر در گزارشی تغییرات الیاف نامحلول در شوینده خنثی با افزایش سن گیاه با لیگنینی شدن همراه بود (Stauffer et al., 1980).

گزارشی از تغییرات ترکیبات شیمیایی برگ و ساقه بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در کشور گزارش نشده است. همچنین، اطلاعات مربوط به ترکیب شیمیایی گیاه در خارج از کشور نیز محدود است. مطالعه حاضر طی دو سال نشان داد که افزایش میزان ماده آلی با افزایش سن گیاه ناشی از افزایش عملکرد ساقه به همراه افزایش مواد آلی آن بود. ماده آلی ساقه از زمان قبل از شروع گل‌دهی تا گل‌دهی کامل به ترتیب ۹۴۵/۹ و ۹۵۲/۱ گرم در کیلوگرم ماده خشک بود که نسبت به برگ با میزان ماده آلی ۸۰۰/۱ و ۷۸۷/۷ گرم در کیلوگرم ماده خشک به ترتیب در هر یک از مراحل بالاتر بود. این موضوع نشان‌دهنده انتقال و ذخیره بیشتر مواد آلی فتوسنتز شده از برگ به ساقه می‌باشد (Kays and Nottingham, 2007). مشابه با نتایج مطالعه حاضر، مقدار خاکستر بیشتری در برگ نسبت به ساقه



شکل ۱- تغییرات ماده آلی قابل هضم بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی به ترتیب از ۷۱ و ۶۷ روز پس از کاشت تا گل‌دهی کامل در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
Figure 1- Changes in digestible organic matter of aerial part of Jerusalem artichoke plant from 71 and 67 days after planting to full flowering in 2018 and 2019, respectively

خشک نشان دادند که مقدار آن نیز با توجه به بلوغ و گل‌دهی متغیر بود (Prabhu and Robert, 1985). به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب با افزایش سن گیاه، به شدت تحت تأثیر افزایش مقادیر آن در ساقه قرار گرفته باشد. نتایج مطالعات درخصوص افزایش تقریباً ۵۰ درصدی غلظت کربوهیدرات محلول ساقه در زمان قبل از گل‌دهی نسبت به برگ با نتایج این مطالعه هم‌خوانی داشت (McGrath, 1988; Li et al., 2017). با

یکی از عوامل مهم در تعیین کیفیت علوفه جهت تغذیه دام، مقدار پروتئین خام است. مرحله رشد گیاه مهم‌ترین فاکتور مؤثر در میزان پروتئین خام است. اگرچه، پروتئین خام گیاه تحت تأثیر عوامل دیگری مانند میزان و سطح کوددهی قرار می‌گیرد (McDonald et al., 1991). در مطالعه حاضر کاهش پروتئین خام گیاه با بلوغ می‌تواند به دلیل کاهش نسبت برگ به ساقه باشد. نتایج گزارشات غلظت پروتئین خام این گیاه را بین ۵ تا ۱۶ درصد در ماده

ترشی عمدتاً به واسطه افزایش در میزان فروکتان‌ها می‌باشد؛ زیرا با افزایش بلوغ و مرحله پر شدن غده‌ها کربوهیدرات بیشتری به شکل اینولین به غده منتقل می‌شود (Gao *et al.*, 2020). به نظر می‌رسد، دمای محیط از طریق تأثیر بر غلظت کربوهیدرات‌های محلول مانند فروکتان‌ها بر توزیع اندازه این ترکیبات نیز مؤثر است (McDonald *et al.*, 2011).

این وجود، غلظت کربوهیدرات‌های محلول بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی کشت شده در استان البرز در محدوده (Papi *et al.*, 2015) این مطالعه و نتایج گزارشی دیگر کمتر (Mohammadi *et al.*, 2019) از مطالعه حاضر بود. تفاوت در نتایج مطالعات صورت گرفته می‌تواند به دلیل تأثیر محیط و تفاوت‌های مدیریتی اعمال شده در مطالعات باشد. افزایش در کربوهیدرات‌های محلول در آب بخش هوایی گیاه سیب زمینی

جدول ۵- قابلیت هضم بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی طی مراحل مختلف رشد در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 5- Digestibility of the aerial part of Jerusalem artichoke plant during different growth stages in 2018 and 2019 years

| سال Year | روزهای پس از کاشت Days after planting | قابلیت هضم ماده آلی Organic matter digestibility (%) | | | قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility (%) | | |
|---------------|--|---|---------------------|---------------------|---|--------------------|---------------------|
| | | کل بخش Total aerial part | | | کل بخش Total aerial part | | |
| | | هوایی Aerial | برگ Leaf | ساقه Stem | هوایی Aerial | برگ Leaf | ساقه Stem |
| ۱۳۹۷ 2018 | 71 | 63.2 ^a | 63.0 | 61.5 ^a | 63.6 ^a | 65.5 ^{ab} | 60.7 ^a |
| | 99 | 62.8 ^a | 65.1 | 58.6 ^{ab} | 64.7 ^a | 65.8 ^{ab} | 59.2 ^{ab} |
| | 120 | 61.3 ^{ab} | 63.7 | 59.8 ^{ab} | 64.1 ^a | 67.8 ^a | 59.9 ^{ab} |
| | 148 | 58.7 ^b | 61.7 | 55.7 ^{bc} | 60.2 ^b | 65.2 ^{ab} | 57.2 ^{bc} |
| | 162 | 55.3 ^c | 60.3 | 52.0 ^c | 58.8 ^c | 63.2 ^b | 55.3 ^c |
| | خطای استاندارد میانگین | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| | SEM | | | | | | |
| | سطح معنی داری | | | | | | |
| | P-value | | | | | | |
| | زمان Time | 0.003 | 0.07 | 0.002 | 0.002 | 0.03 | 0.009 |
| بلوک Block | 0.9 | 0.26 | 0.31 | 0.92 | 0.51 | 0.31 | |
| ۱۳۹۸ 2019 | 67 | 64.9 ^a | 66.8 ^a | 59.8 ^a | 67.5 ^a | 68.1 ^a | 61.0 ^a |
| | 93 | 66.2 ^a | 66.5 ^{ab} | 57.7 ^{abc} | 67.3 ^a | 68.2 ^a | 57.6 ^{bc} |
| | 135 | 62.5 ^b | 65.3 ^{abc} | 58.7 ^{ab} | 66.7 ^{ab} | 67.7 ^a | 60.3 ^{ab} |
| | 149 | 60.3 ^b | 62.8 ^{bc} | 56.8 ^{bc} | 63.4 ^{bc} | 64.0 ^b | 58.9 ^{abc} |
| | 159 | 57.9 ^c | 62.0 ^c | 52.8 ^c | 60.3 ^c | 62.8 ^b | 55.0 ^c |
| | خطای استاندارد میانگین | 0.8 | 1.0 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 0.6 |
| | SEM | | | | | | |
| | سطح معنی داری | | | | | | |
| | P-value | | | | | | |
| | زمان Time | 0.002 | 0.04 | 0.03 | 0.007 | 0.001 | 0.02 |
| بلوک Block | 0.44 | 0.84 | 0.14 | 0.53 | 0.58 | 0.07 | |

اعداد با حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر سال دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

Numbers with the same letters for each column for each year are not significantly different ($P < 0.05$).

SEM: Standard error means

نیاز حیوان نیز صورت می‌گیرد. قابلیت هضم علوفه یکی از فاکتورهای مهم تعیین کیفیت علوفه در تغذیه دام است که تحت

انتخاب منابع علوفه‌ای در تغذیه دام علاوه بر در نظر گرفتن عملکرد تولیدی در واحد سطح با فراهمی غلظت مواد مغذی مورد

مطالعه حاضر در مراحل مختلف رشد در این دامنه قرار داشت. کاهش قابلیت هضم در اکثر علوفه‌ها به همراه تغییرات بافت‌های ساختمانی گیاه مشاهده شده است (McDonald *et al.*, 2011). احتمال می‌رود که در مطالعه حاضر با پیشرفت بلوغ افزایش درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و شوینده اسیدی و لیگنین در گیاه به خصوص در ساقه باعث کاهش قابلیت هضم ماده خشک این گیاه شده است. هم‌چنین، اگرچه عملکرد ماده خشک قبل از شروع گل‌دهی تا گل‌دهی کامل طی دو سال از ۲۶/۵ به ۲۷/۸ تن در هکتار افزایش یافت؛ اما به دلیل کاهش قابلیت هضم ماده آلی طی این دو مرحله تغییری در عملکرد ماده آلی قابل هضم در هکتار مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر طی دو سال زراعی متوالی نشان داد که اگرچه حداکثر عملکرد ماده خشک تولیدی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در مرحله گل‌دهی کامل صورت گرفت؛ اما، عملکرد ماده آلی قابل هضم در هکتار از مرحله قبل از گل‌دهی تا گل‌دهی بدون تغییر بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه رازی جهت حمایت در هزینه‌های انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نماید.

تأثیر ترکیب شیمیایی و نسبت برگ به ساقه گیاه قرار دارد. نتایج مطالعه حاضر در دو سال زراعی کاهش معنی‌دار قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی را به ترتیب از ۶۵/۵ تا ۵۹/۵ درصد و از ۶۴/۰ تا ۵۶/۶ درصد از مرحله رویشی تا گل‌دهی کامل نشان داد. با این حال، در طول دوره رشد قابلیت هضم برگ بالاتر از ساقه بود و کاهش معنی‌دار قابلیت هضم ساقه با افزایش سن گیاه در هر دو سال مشاهده شد. عملکرد ماده آلی قابل هضم قبل از شروع گل‌دهی تا گل‌دهی کامل به ترتیب ۱۴/۱ و ۱۴/۳ تن در هکتار بود. این تغییرات در هر دو سال از معادله درجه سه تبعیت کرد و ضریب تبیین آن در سال اول و دوم به ترتیب ۰/۹۵۰۴ و ۰/۹۷۰۵ بود (شکل ۱).

قابلیت هضم گیاه سیب زمینی ترشی مانند سایر گیاهان متأثر از ترکیبات شیمیایی برگ و ساقه و نسبت آن‌ها می‌باشد (Hay and Offer, 1992). مشابه نتایج آزمایش حاضر، کاهش قابلیت هضم بخش هوایی ۱۰ رقم سیب زمینی ترشی با افزایش سن گیاه از مرحله رویشی تا گل‌دهی و بلوغ مشاهده شد (Seiler, 1988). در مطالعه دیگر تغییری در قابلیت هضم گیاه در مراحل مختلف رشد و شروع گل‌دهی مشاهده نشد و علت این موضوع به دلیل عدم تغییر اجزاء دیواره سلولی با افزایش سن در زمان‌های نمونه‌برداری گزارش شد (Papi *et al.*, 2015).

با این حال، میزان قابلیت هضم مطلوب علوفه جهت تغذیه دام در آزمایشات برون تنی بین ۵۰ تا ۸۰ درصد گزارش شده است که قابلیت هضم بخش هوایی گیاه سیب زمینی ترشی در

References

- AOAC, 2000. Official methods of analysis, 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Assefa, Y., Prasad, P.V., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R. and Ciampitti, I.A. 2017. A new insight into corn yield: Trends from 1987 through 2015. *Crop Science*, 57(5): 2799-2811.
- Becker, M. and Nehring, K. 1969. Handbook of Feedstuffs (in German). Paul Parey Verlag. Hamburg and Berlin (Germany). Vol. 1.
- Cabral, M.R., Nakanishi, E.Y., Mármol, G., Palacios, J., Godbout, S., Lagacé, R. and Fiorelli, J. 2018. Potential of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) stalks to produce cement-bonded particleboards. *Industrial Crops and Products*, 122: 214-222.
- Cardellina, J.H. 2015. Review of biology and chemistry of Jerusalem Artichoke, *Helianthus tuberosus* L. *National Product*, 78(12): 3083-3092.
- Denoroy, P. 1996. The crop physiology of *Helianthus tuberosus* L.: a model oriented view. *Biomass and Bioenergy*, 11(1): 11-32.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.T. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for

- determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3): 350-356.
- Farzinmehr, S., Rezaei, J.H. and Fazaeli, H.** 2020. Effect of harvesting frequency and maturity stage of Jerusalem artichoke forage on yield, chemical composition and in vitro fermentation of the tubers and forage. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 18(2): 12-24.
- Fazaeli, H., Karkodi, K. and Mirhadi, A.** 2009. In vitro and in vivo analysis of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) and alfalfa nutritive value. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(48): 163-173. (In Persian).
- Gao, K., Zhang, Z., Zhu, T. and Coulter, J.A.** 2020. The influence of flower removal on tuber yield and biomass characteristics of *Helianthus tuberosus* L. in a semi-arid area. *Industrial Crops and Products*, 150: 112374-112380.
- Gunnarsson, I.B., Svensson, S.E., Johansson, E., Karakashev, D. and Angelidaki, I.** 2014. Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop. *Industrial Crops and Products*, 56: 231-240.
- Hay, R.K.M. and Offer, N.W.** 1992. *Helianthus tuberosus* as an alternative forage crop for cool maritime regions: a preliminary study of the yield and nutritional quality of shoot tissues from perennial stands. *Science of Food and Agriculture*, 60(2): 213-221.
- Kays, S.J. and Nottingham, S.F.** 2007. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke: *Helianthus tuberosus* L. CRC press.
- Karimi, M.M. and Siddique, H.M.** 1991. Crop growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42(1): 13-20.
- Li, L., Shao, T., Yang, H., Chen, M., Gao, X., Long, X. and Rengel, Z.** 2017. The endogenous plant hormones and ratios regulate sugar and dry matter accumulation in Jerusalem artichoke in salt-soil. *Science of the Total Environment*, 578: 40-46.
- Malmberg, A. and Theander, O.** 1986. Differences in chemical composition of leaves and stem in Jerusalem artichoke and changes in low-molecular sugar and fructan content with time of harvest. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 16(1): 7-12.
- Matías, J., González, J., Cabanillas, J. and Royano, L.** 2013. Influence of NPK fertilization and harvest date on agronomic performance of Jerusalem artichoke crop in the Guadiana Basin (Southwestern Spain). *Industrial Crops and Products*, 48: 191-197.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. and Wilkinson, R.G.** 2011. *Animal Nutrition* (7th ed). Harlow, UK: Pearson Education Limited.
- McDonald, P., Henderson, A.R. and Heron, S.J.E.** 1991. *The biochemistry of silage*. Chalcombe publications.
- McDougall, E.I.** 1948. The composition and output of sheep's saliva. *The Biochemical Journal*, 43(1): 99-109.
- McGrath, D.** 1988. Seasonal variation in the water-soluble carbohydrates of perennial and Italian ryegrass under cutting conditions. *Irish Journal of Agricultural Research*, 1: 131-139.
- Mohammadi, V., Mokhtassi, B.A. and Fazaeli, H.** 2019. Yield and forage properties of Jerusalem artichoke at different harvest intervals. *Crop Improve*, 12(2): 209-219. (In Persian).
- Ørskov, E.R.** 1998. Feed evaluation with emphasis on fibrous roughages and fluctuating supply of nutrients: a review. *Small Ruminant Research*, 28(1): 1-8.
- Papi, N., Kafilzadeh, F. and Fazaeli, H.** 2015. Yield, composition and digestibility of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) at different harvesting stages. *Animal Production*, 17(2): 335-345. (In Persian).
- Papi, N., Kafilzadeh, F. and Fazaeli, H.** 2017. Effects of incremental substitution of maize silage with Jerusalem artichoke silage on performance of fat-tailed lambs. *Small Ruminant Research*, 147: 56-62.
- Papi, N., Kafilzadeh, F. and Fazaeli, H.** 2019. Use of Jerusalem artichoke aerial parts as forage in fat-tailed sheep diet. *Small Ruminant Research*, 174: 1-6.

- Papi, N.** 2015. Potential use of dried and ensiled Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) in livestock feeding. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Razi. (In Persian).
- Prabhu, D.R. and Robert, M.H.** 1985. Extraction of a high-protein isolate from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) tops and evaluation of its nutrition potential. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 33: 31-33.
- Rossini, F., Provenzano, M.E., Kuzmanović, L. and Ruggeri, R.** 2019. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): a versatile and sustainable crop for renewable energy production in Europe. *Agronomy*, 9(9): 528-568.
- Seiler, G.J.** 1988. Nitrogen and mineral content of selected wild and cultivated genotypes of Jerusalem artichoke. *Agronomy Journal*, 80(4): 681-687.
- Stauffer, M.D., Chubey, B.B. and Dorrell, D.G.** 1980. Growth, yield and compositional characteristics of Jerusalem artichoke as it relates to biomass production. Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem., Prepr; (United States), 25 (CONF-800814-P3).
- Swanton, C.J., Clements, D.R., Moore, M.J. and Cavers, P.B.** 1992. The biology of Canadian weeds. 101. *Helianthus tuberosus* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 72(4): 1367-1382.
- Tilley, J.M.A. and Terry, D.R.** 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, 18(2): 104-111.
- Van Soest, P.Y., Robertson, J. and Lewis, B.** 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- Zhang, X., Xu, H., Fu, R., Jin, L., Zhao, H., Wang, L. and Liang, M.** 2016. Bioethanol production by heterologous expression of two individual 1-FEH genes from *Helianthus tuberosus* in *Saccharomyces cerevisiae* 6525. *Bio Energy Research*, 9(3): 884-893.

Yield and yield components, chemical composition and digestibility of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) aerial part at various growth stages

Leila Taherabadi^{1*}, Farokh Kafilzadeh²

¹ Ph.D. Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

² Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding Author: Taherabadi.le@razi.ac.ir

Received: 7 December 2021

Accepted: 1 February 2022

DOI: 10.22034/csrar.2022.318270.1163

Abstract

Introduction: Due to the increasing demand for animal protein resources on the one hand and the lack of available water resources on the other, it is crucial to investigate the forage potential of plants for animal nutrition. The Jerusalem artichoke, which is primarily grown for its tubers, produces a substantial amount of forage-worthy aerial parts. However, few studies on the aerial portion of this plant have been conducted in Iran, and those that do exist were conducted at the Research Institute of Animal Sciences in Alborz province. Consequently, the present study was conducted to determine the variations in yield, chemical composition, and digestibility of the Jerusalem artichoke aerial part and its constituents at various growth stages over two consecutive years.

Materials and Methods: To examine the variations in yield and quality of the aerial portion of Jerusalem artichoke, a randomized complete block experiment with 4 replications was conducted in the Agricultural Research Station of Razi University over the course of two consecutive years, 2018 and 2019. From the vegetative stage to full flowering, the yield and yield components (at 7 stages) and chemical composition and digestibility (at 5 stages) of the aerial part of the plant were determined. The chemical composition was determined includes organic matter, ash-free cell wall fibers, water-soluble carbohydrates, and crude protein. In addition, the digestibility of samples whose chemical compositions were measured was determined invitro using two stages of anaerobic digestion and acidic pepsin digestion.

Results and Discussion: In the first and second years, the dry matter yield of Jerusalem artichoke aerial part at two stages of just before flowering and full flowering was 29.1 and 30.4 tons per hectare and 24.0 and 25.3 tons per hectare, respectively. Increased dry matter accumulation in the stem was associated with increased yield during growth stages. These alterations were associated with an increase in height and a decrease in leaf: stem ratio. The ratio of leaf to stem decreased from 1.62 to 0.41 in the first year and from 1.50 to 0.61 in the second year between the vegetative stage and full flowering. In the present study, the increase in aerial organic matter with increasing plant age was due to an increase in stem yield and an increase in its organic matter. During the growth stages, the stem contained more organic matter, insoluble fibers in neutral detergent, and soluble carbohydrates, while the leaf contained more crude protein. Organic matter, insoluble fibers in neutral detergent and acid detergent content, and lignin in the aerial part just before flowering were, respectively, 895.3, 418.7, 310.6, and 85.3 g/kg dry matter over the course of two years of study. With the continuation of the growth period, the water-soluble carbohydrate content increased and the crude protein content decreased to 225 and 92.4 g/kg dry matter, respectively, just prior to flowering. In the aerial portion of the plant, the digestibility of organic matter and dry matter decreased significantly from the vegetative stage to full flowering in the first and second years, respectively, from 64 to 56 and 65 to 59. An increase in cell wall fibers and an increase in the dry matter yield of Jerusalem artichoke aerial part as the plant matured and reached full flowering reduced the digestibility of the forage. However, the yield of digestible organic matter per hectare remained unchanged between the pre-flowering and flowering stages.

Conclusion: The highest dry matter yield of Jerusalem artichoke aerial part was obtained at the full flowering stage, but the digestible organic matter yield per hectare remained unchanged from just before flowering to the full flowering stage.

Keywords: Forage, Harvesting time, Jerusalem artichoke, Nutritive value

اثر کاربرد سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و

بیوشیمیایی دو رقم ماش (*Vigna radiata* L.) در سیستانمسعود برجاس^۱، لیلا مهرآوران^{۲*}، مریم اله دو^۲، صالحه گنجعلی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژنتیک و به نژادی گیاهی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

* مسئول مکاتبه: Imehravaran@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.309460.1139

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

چکیده

تنظیم‌کننده‌های رشد مانند سالیسیلیک اسید، با کاهش اثرات نامطلوب تنش، نقش مهمی در تحمل گیاه به خشکی دارند. جهت بررسی اثر کاربرد سالیسیلیک اسید تحت تنش خشکی بر ارقام ماش، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در تابستان ۱۳۹۹ در شهرستان هیرمند انجام شد. تنش خشکی به عنوان عامل اصلی در سه سطح (آبیاری پس از ۷۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، رقم محلی سیستان و پرتو به عنوان عامل فرعی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سه سطح صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به عنوان عامل فرعی فرعی بود. صفات مورد بررسی شامل عملکرد و اجزای آن، میزان پرولین، کلروفیل، کاروتنوئید و RWC بودند. بر اساس نتایج اثر تنش، رقم و سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. تنش خشکی میزان عملکرد و اجزای آن را در هر دو رقم کاهش داد این کاهش عملکرد در رقم پرتو حدوداً ۵٪ کمتر از رقم سیستان بود. تحت تنش خشکی میزان پرولین و کاروتنوئید افزایش پیدا کرد. بیشترین افزایش پرولین (۷۷٪) و کاروتنوئید (۴۸/۵٪) تحت تنش، در رقم پرتو بود. کاربرد سالیسیلیک اسید کلیه صفات از جمله عملکرد دانه را بهبود بخشید به طوری که کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار آن تحت تنش متوسط ۱۳٪ افزایش در عملکرد ایجاد کرد. بین ارقام از نظر مصرف سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بر اساس نتایج، رقم پرتو بهتر از رقم محلی عمل کرده و کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید میزان مقاومت گیاه را به تنش افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پرولین، تنش محیطی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، لگوم

مقدمه

می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه شود (Hasani and Omid Beygi, 2002). گیاهان مختلف به دلیل سازگاری‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مقاومت‌های متفاوتی به تنش نشان می‌دهند. عوامل مورفولوژیکی مانند تغییر سطح برگ، وزن کل بیوماس، ارتفاع و ... می‌توانند بر میزان مقاومت گیاه به تنش خشکی نقش داشته باشند (Thomas and Gausling, 2000; Sodaii zadeh et al., 2016). در طی تنش برخی تغییرات فیزیولوژیکی در گیاهان مقاوم به خشکی مانند تغییر در اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها نیز باعث ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی می‌شوند (Reddy et al., 2004). تنش خشکی، رشد و عملکرد ماش را محدود می‌کند و تأثیر این تنش در مرحله تولید مثل بیشتر از سایر مراحل رشدی است و عملکرد را به شدت کاهش می‌دهد (Sangakkara et al., 2001). با

ماش با نام علمی *Vigna radiata* L. گیاهی دانه سبز از خانواده Leguminosae می‌باشد. ماش نه تنها نقش مهمی در رژیم غذایی انسان و حیوانات بازی می‌کند بلکه نقش حیاتی در بهبود حاصل‌خیزی خاک از طریق تثبیت نیتروژن دارد (Ashraf, 2003). دانه‌های ماش دارای مقادیر بالای پروتئین (۲۸٪)، چربی (۱۳٪)، کربوهیدرات (۶۰/۴٪) و مقادیر قابل قبولی از ویتامین‌ها و ریزمغذی‌های ضروری می‌باشد (Anwar et al., 2007). از آنجا که دانه‌های ماش سرشار از پروتئین‌های مغذی هستند، به راحتی هضم می‌شوند و نفخ‌اندکی ایجاد می‌کنند؛ بنابراین در بین محصولات گیاهی دارای ارزش فراوانی‌اند (Lakhanpaul and Bhat, 2000).

تنش خشکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Aslam et al., 2006) و

در پژوهشی تنش خشکی باعث کاهش برخی صفات مورفوفیزیولوژی از قبیل عملکرد دانه، عملکرد زیستی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته، محتوی نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی در ارقام مورد بررسی ماش (گوهر و مهر) گردید، کاربرد محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث بهبود این صفات شد (Heidari *et al.*, 2019). به طور مشابه در مطالعه‌ای دیگر کاربرد محلول پاشی سالیسیلیک اسید اثر منفی تنش خشکی را بر روی صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز کاهش داد. در این مطالعه کاربرد سالیسیلیک اسید بر اکثر صفات مورد بررسی لوبیا قرمز اثر مثبت داشت (Shoghian and Roozbahani, 2017). در بررسی اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش مشاهده شد که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در تمامی شاخص‌های رشدی بیشترین مقدار را دارا بود به طوری کاربرد آن سبب افزایش ۶/۵۷ درصدی ارتفاع بوته، ۲۵/۰۵ درصدی وزن دانه، ۳۶/۱۹ درصدی عملکرد دانه و ۳۰/۷۶ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شد (Keikha *et al.*, 2017). اثر مثبت محلول پاشی سالیسیلیک اسید روی برخی از شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه خردل تحت تنش خشکی گزارش شده است (Fazeli Kakhki *et al.*, 2014). در پژوهشی اثر تنش کم‌آبی (۷۵، ۶۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و غلظت‌های سالیسیلیک اسید (۰، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بر شاخص‌های رشدی گیاه ماش بررسی و مشخص شد غلظت ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشدی گیاه می‌گردد و این غلظت از سالیسیلیک اسید می‌تواند اثرات تنش کم‌آبی را بر شاخص‌های رشدی گیاه ماش تعدیل نماید (Qasedi and Hadi, 2014).

ماش به دلیل خشک‌سالی و کمبود آب در کشور و منطقه، دارای عملکرد پایینی است؛ بنابراین تلاش در جهت بهینه‌سازی تولید و افزایش عملکرد یکی از اهداف مهم تحقیقاتی در این گیاه می‌باشد. از آنجا که سالیسیلیک اسید به عنوان روشی برای کاهش آسیب‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تنش محسوب می‌شود، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم پرتو و محلی سیستان تحت تنش خشکی می‌باشد. پژوهش

افزایش سطح تنش خشکی، صفات فیزیولوژیکی ارقام ماش مانند میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و عملکرد کاهش پیدا کرد (Shokouhfar and Abofatlehazhad, 2013).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ابزاری قدرتمند و پایدار در کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های زنده و غیر زنده در گیاهان هستند. سالیسیلیک اسید به عنوان یک هورمون گیاهی، اثرات بسیاری روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشدی گیاهان دارد (Khan *et al.*, 2010)؛ بنابراین دارای نقشی اساسی در تحمل برخی از تنش‌های محیطی مانند خشکی، گرما و شوری می‌باشد (El-Tayeb, 2005) و به عنوان یک هورمون درون‌زا با طبیعت فنلی در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، تعرق و تحمل به خشکی نقش ایفا می‌کند (Shakirova *et al.*, 2003). سالیسیلیک اسید با تأثیر بر روی متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، آثار سمی ناشی از تنش را کاهش می‌دهد (Maasoumi *et al.*, 2016). همچنین سالیسیلیک اسید ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش‌های غیر زیستی را تنظیم می‌نماید (Hashempour *et al.*, 2014). سالیسیلیک اسید به عنوان یک مولکول سیگنالینگ مهم در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شده و بنابراین اثر خود را بر فتوسنتز از طریق رنگیزه‌ها، ساختار کلروپلاست و آنزیم‌های دخیل در مراحل فتوسنتز اعمال می‌کند (Shoghian and Roozbahani, 2017).

در تحقیقی کاربرد سالیسیلیک اسید باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تنش خشکی شد (Nezhad *et al.*, 2014). در پژوهشی با محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر روی گیاه ماش، میزان عملکرد این گیاه افزایش پیدا کرد (Singh and Kaur, 1980). کاربرد سالیسیلیک اسید تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن بذر و میزان عملکرد در هکتار را در گیاه ماش افزایش داد (Sujatha, 2001). در مطالعه‌ای دیگر کاربرد ۱۲۵ پی پی ام سالیسیلیک اسید، عملکرد ماش دانه سیاه را افزایش داد (Jeyakumar *et al.*, 2008). همچنین محلول پاشی سالیسیلیک اسید ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش را از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ، تحت تأثیر قرار داد (Maity and Bera, 2009). کاربرد محلول پاشی سالیسیلیک اسید، عملکرد و اجزای عملکرد را در ماش در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش داد (Ali and Mahmoud, 2013).

مقطر (شاهد)، محلول پاشی با ۰/۵ و ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید (Sigma Aldrich, United States) بود. اعمال تنش خشکی از اواسط مرحله رشد رویشی انجام شد. محلول پاشی سالیسیلیک اسید در سه مرحله شامل مرحله رشد رویشی (۲۰ روز پس از کاشت)، ابتدای مرحله گل‌دهی و انتهای مرحله گل‌دهی صورت گرفت.

در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹، زمین مورد آزمایش، ابتدا آبیاری و پس از گاورو شدن، با گاوآهن شخم عمیق زده شد. پس از شکستن کلوخه‌ها توسط دیسک، ایجاد جوی و پشته با فاصله ۵۰ سانتی متر از هم به صورت دستی انجام گرفت. مقادیر مناسبی از کودهای نیتروژن، فسفات و پتاسیم براساس ویژگی‌های خاک (جدول ۱)، در سطح زمین پخش شدند. کرت‌ها با ابعاد ۲ × ۳ متر با فاصله بین کرت نیم متر و فاصله سه متر بین تکرارها ایجاد شدند. در هر کرت ۵ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی متر از هم در نظر گرفته شد. دانه‌های بذر در عمق سه سانتی متری خاک و با فاصله روی ردیف ۱۲ سانتی متر کشت شدند. در طول دوره رشد گیاه، عملیات داشت شامل تنک کردن و وجین علف‌های هرز، ۲ بار در مرحله رشد رویشی و یک بار در مراحل گل‌دهی و بذردهی انجام گرفت.

حاضر می‌تواند به مبارزه با تنش غیر زیستی خشکی بر تولید ماش در منطقه خشک سیستان کمک کند.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در تابستان سال ۱۳۹۹ در مزرعه‌ای در شهرستان هیرمند بخش مرکزی روستای شندل شهرستان زابل، در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه جنوبی و ۶۱ درجه شرقی و ارتفاع ۴۷۵ متری از سطح دریا در ۱۳ کیلومتری شهرستان هیرمند، انجام گرفت. از نظر آب و هوایی، این شهرستان دارای زمستان‌های سرد و خشک و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. میانگین بارش سالیانه منطقه، در سال ۱۳۹۹ به میزان ۳۵/۶ میلی متر و در طول دوره رشد گیاه، میزان بارندگی کمتر از ۱ میلی متر و متوسط دما ۳۹ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل آبیاری پس از ۷۰ (به عنوان شرایط نرمال)، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی متر (به عنوان شرایط تنش) تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A، کرت‌های فرعی شامل دو رقم محلی سیستان و پرتو ماش و کرت‌های فرعی فرعی در سه سطح شامل محلول پاشی با آب

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Soil physiological and chemical properties

| بافت خاک | شن | رس | لای | کربن آلی | سدیم | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | اسیدیته | هدایت الکتریکی |
|--------------|-----------|----------|----------|--------------------|---------------------------|---------|--------------------------|--------------------------|---------|--------------------------|
| Soil texture | Sandy (%) | Clay (%) | Silt (%) | Organic carbon (%) | Na (mg.kg ⁻¹) | N (%) | P (mg.kg ⁻¹) | K (mg.kg ⁻¹) | pH | EC (dS.m ⁻¹) |
| لومی شنی | | | | | | | | | | |
| Sandy loam | 41 | 32 | 27 | 0.47 | 38.7 | 0.05 | 9.2 | 115 | 8.4 | 1.46 |

استخراج و سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی

در ابتدای مرحله زایشی، بالاترین برگ‌های بوته‌ها جهت اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برداشت شدند. ۰/۵ گرم از بافت برگ خشک و آسیاب شده توزین و سپس با استفاده از دو سی سی استون ۸۰٪ حجمی در محیطی تاریک در دمای اطاق روی شیکر به مدت یک ساعت قرار داده شد. سپس عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه در چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. ۳۰۰ ماکرولیتر از سوپرناتانت را

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک

در مهرماه و بعد از رسیدگی کامل گیاه جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد غلاف در متر مربع، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه (گرم)، وزن تر و خشک گیاه (گرم) و میزان عملکرد اقتصادی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، ۱۰ بوته بصورت تصادفی از سطح زمین برداشت و پس از شمارش یا اندازه‌گیری، با میانگین‌گیری داده‌ها ویژگی مورد نظر تعیین گردید.

میلی لیتر از عصاره، دو میلی لیتر معرف ناین هیدرین و دو میلی لیتر اسید استیک گلیسیال خالص اضافه گردید. پس از یک ساعت قرارگیری لوله‌ها در بن‌ماری، مقدار چهار میلی لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌ها اضافه و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. پس از تشکیل دو بخش جداگانه، بخش بالایی رنگی (به رنگ زرد متمایل به قرمز)، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتری با طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان پرولین با استفاده منحنی استاندارد و برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973).

داده‌های پژوهش حاضر، با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای اثرات متقابل معنی‌دار برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Ismeans انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و عملکرد (جدول ۲) نشان داد که بین سطوح تنش خشکی، رقم و کاربرد سالیسیلیک اسید از نظر کلیه صفات اختلافات معنی‌داری وجود دارد. اثرات متقابل تنش خشکی در رقم بر صفات ارتفاع بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ و بر صفات وزن تر و خشک بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار و بر سایر صفات غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر صفات تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، وزن تر و خشک بوته و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار و بر تعداد غلاف در متر مربع معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید به جز بر صفات وزن هزار دانه، وزن تر و خشک بوته بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. اثرات متقابل تنش در رقم در سالیسیلیک اسید نیز به جز بر صفات عملکرد دانه و تعداد غلاف در متر مربع بر سایر صفات اثرات معنی‌داری داشت. به دلیل پیچیدگی اثرات متقابل سه‌گانه به بررسی اثرات متقابل دوگانه معنی‌دار پرداخته می‌شود.

برداشته در هر چاهک پلیت می‌ریزیم. جذب محلول‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Model Gold 54, USA) در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید طبق روابط زیر (۱-۴) بر حسب میلی گرم در گرم وزن خشک محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$a \text{ کلروفیل} = [(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times V / 1000 \times W \quad (1)$$

$$b \text{ کلروفیل} = [(22.9 \times A_{645}) - (4.69 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W \quad (2)$$

$$\text{کلروفیل کل} = [(20.2 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W \quad (3)$$

$$\text{کاروتنوئید} = \{ [1000(A_{470}) - 1.8(\text{chl}a) - 85.02(\text{chl}b)] / 198 \} \times V / 1000 \times W \quad (4)$$

در این روابط A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰٪ برحسب میلی لیتر و W اندازه برگ برحسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC^۱)

برای این منظور، برگ‌های تازه گیاه بلافاصله پس از تهیه، با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند و وزن تر (FW^۲) آن‌ها به دست آمد. در مرحله بعد برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه در دمای تقریباً ۲۲ درجه سانتی‌گراد در آب مقطر قرار داده شدند تا وزن اشباع (TW^۳) آن‌ها به دست آید. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و وزن خشک (DW^۴) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در پایان میزان محتوای آب نسبی برگ با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید (Diaz-Perez *et al.*, 2006).

$$\text{RWC} (\%) = [(WF - WD) / (WT - WD)] \times 100 \quad (5)$$

اندازه‌گیری میزان پرولین

ابتدا مقدار ۰/۱ گرم بافت برگ‌گی با ۱۰ میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳ درصد مخلوط و محلول حاصل پس از صاف کردن با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به دو

1. Relative water content
2. Fresh weight
3. Turgid weight
4. Dry weight

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد ارقام ماش تحت تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance results of effect foliar application of salicylic acid on morphological traits and yield of mung bean varieties under drought stress

| منابع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع بوته | تعداد غلاف در متر مربع | تعداد غلاف در بوته | تعداد دانه در غلاف | وزن هزار دانه | وزن تر بوته | وزن خشک بوته | عملکرد دانه |
|--------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| S.O.V | df | Plant height | No. of pod/m ² | No. of pod/plant | No. of seed/pod | 1000-grain weight | Wet weight of plant | Dry weight of plant | Grain yield |
| بلوک | 2 | 4.53 ^{ns} | 3791.5 ^{**} | 0.293 ^{ns} | 0.237 ^{ns} | 9.2 ^{**} | 1.48 ^{ns} | 0.242 ^{ns} | 1.77 [*] |
| Block | | | | | | | | | |
| تنش خشکی | 2 | 2192.99 ^{**} | 100595.37 ^{**} | 162.41 ^{**} | 24.27 ^{**} | 61.35 ^{**} | 3835.57 ^{**} | 344.96 ^{**} | 129.79 ^{**} |
| Drought stress | | | | | | | | | |
| خطای (a) | 4 | 5.46 | 949.68 | 0.266 | 0.952 | 0.211 | 2.42 | 0.274 | 1.23 |
| Error (a) | | | | | | | | | |
| رقم | 1 | 1360.21 ^{**} | 24850.8 ^{**} | 38.86 ^{**} | 15.19 ^{**} | 55.59 ^{**} | 1406.94 ^{**} | 130.88 ^{**} | 41.27 ^{**} |
| Variety | | | | | | | | | |
| تنش × رقم | 2 | 88.02 ^{**} | 1134.47 ^{ns} | 0.082 ^{ns} | 0.213 ^{ns} | 0.785 ^{ns} | 4.34 [*] | 2.365 [*] | 4.23 ^{**} |
| Drought×Variety | | | | | | | | | |
| خطای (b) | 6 | 22.92 | 663.95 | 0.394 | 0.152 | 0.318 | 2.1 | 0.179 | 0.194 |
| Error (b) | | | | | | | | | |
| سالیسیلیک اسید | 2 | 295.08 ^{**} | 14169.15 ^{**} | 30.19 ^{**} | 9.99 ^{**} | 18.46 ^{**} | 622.58 ^{**} | 59.37 ^{**} | 22.42 ^{**} |
| Salicylic acid | | | | | | | | | |
| تنش × سالیسیلیک اسید | 4 | 18.77 ^{ns} | 1375.84 [*] | 2.76 ^{**} | 0.185 ^{ns} | 2.5 ^{**} | 175.14 ^{**} | 17.64 ^{**} | 4.08 ^{**} |
| Drought×Salicylic acid | | | | | | | | | |
| رقم × سالیسیلیک اسید | 2 | 9.95 ^{ns} | 1353.3 ^{ns} | 0.656 ^{ns} | 1.84 ^{ns} | 3.4 ^{**} | 43.1 ^{**} | 3.86 ^{**} | 0.624 ^{ns} |
| Variety×Salicylic acid | | | | | | | | | |
| تنش × رقم × سالیسیلیک اسید | 4 | 57.42 ^{**} | 751/5 ^{ns} | 2.95 ^{**} | 1.96 ^{ns} | 2.87 ^{**} | 89.23 ^{**} | 7.06 ^{**} | 1.2 ^{ns} |
| Drought×Variety×Salicylic acid | | | | | | | | | |
| خطای (C) | 24 | 12.16 | 460.35 | 0.474 | 0.789 | 0.235 | 4.8 | 0.494 | 0.460 |
| Error (C) | | | | | | | | | |
| ضریب تغییرات | | 5.05 | 11.81 | 4.4 | 8.14 | 2.33 | 5.08 | 5.39 | 15.19 |
| CV (%) | | | | | | | | | |

ns, * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant differences in the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

با اعمال تنش، رقم سیستان بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت و کاهش ارتفاع بیشتری را نشان داد. کاهش در ارتفاع بوته‌های ماش طی تنش (Ziaee et al., Aghdasi et al., 2018) و وجود اختلاف در ارتفاع ارقام ماش، در مطالعات قبلی (2017)؛ نیز گزارش شده است (Aslam et al., 2004). در تحقیقی دیگر نیز رقم پرتو بیشترین ارتفاع را داشت و ارتفاع تحت تأثیر اثر متقابل رقم در تنش قرار گرفت به طوری که بیشترین ارتفاع مربوط به رقم پرتو بود. این تفاوت‌ها احتمالاً به دلیل تأثیر عوامل ژنتیکی در کنار عوامل محیطی بر ارتفاع بوته است (Zarea and Galavi, 2013).

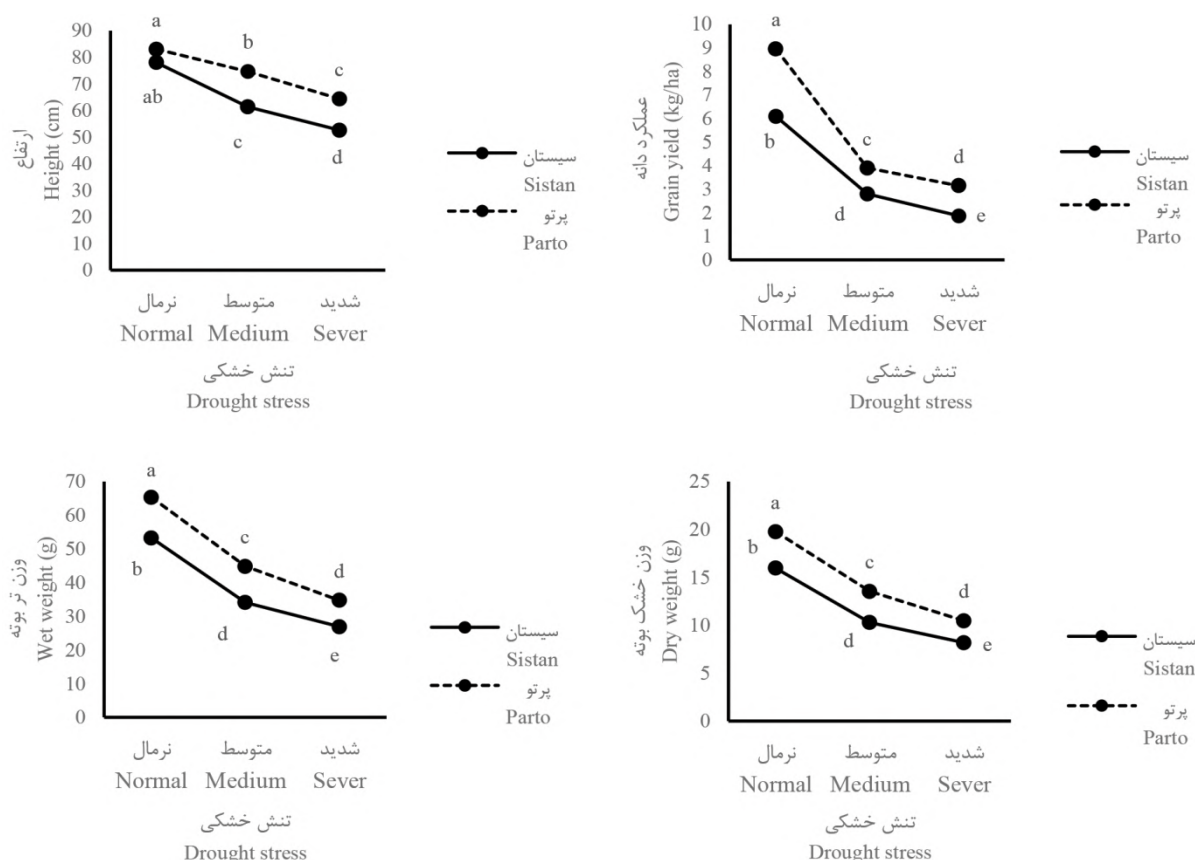
بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. بر اساس این نتایج، بیشترین ارتفاع مربوط به رقم پرتو در شرایط بدون تنش به میزان ۸۲ سانتی‌متر بود. با افزایش شدت تنش میزان ارتفاع در هر دو رقم کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار ارتفاع مربوط به رقم سیستان در شرایط تنش شدید به میزان ۵۲ سانتی‌متر بود. مقدار کاهش ارتفاع در رقم پرتو تحت شرایط تنش شدید نسبت به عدم تنش، به میزان ۲۲٪ بود در حالی که این مقدار در رقم سیستان حدود ۳۳٪ مشاهده شد (شکل ۱). میزان ارتفاع ارقام تحت شرایط آبیاری کامل، با هم تفاوت معنی داری نداشتند ولی

پتانسیل آب گیاه باعث کاهش رشد می‌شود. در شرایط نرمال ارتفاع بوته در رقم پرتو و محلی اختلاف معنی‌داری با هم ندارند اما عملکرد دانه در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی بود. با افزایش تنش، ارتفاع هر دو رقم کاهش پیدا کرد و هم‌زمان با آن عملکرد دانه نیز کم شد که این کاهش عملکرد در رقم محلی بیشتر از رقم پرتو بود. بر اساس نتایج این تحقیق، صفات عملکرد و اجزای عملکرد در رقم پرتو بهتر از رقم محلی سیستان بود. نتایج این مطالعه برخلاف نتایج مطالعات قبلی مبنی بر تأثیر کمتر تنش بر رقم محلی است. در مطالعه‌ای بیشترین میزان عملکرد اقتصادی مربوط به رقم محلی سیستان بود. این تفاوت ممکن است به دلیل تفاوت در زمان و شدت اعمال تنش در دو آزمایش باشد که باعث شده دو رقم پاسخ متفاوتی به تنش نشان دهند. اختلاف در عملکرد ارقام را به ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها می‌توان مربوط دانست (Zarea and Galavi, 2013). احتمالاً وجود برخی ژن‌های برتر مقاومت به تنش در ارقام پرتو باعث بالاتر بودن عملکرد و اجزای آن نسبت به رقم محلی شده است.

وزن تر و خشک تحت تأثیر اثرات متقابل تنش در رقم قرار گرفت. بیشترین میزان وزن تر و خشک مربوط به رقم پرتو در شرایط بدون تنش به ترتیب به میزان ۶۵/۳ و ۱۹/۷۶ گرم بود و با اعمال تنش مقدار این دو صفت کاهش پیدا کرد به طوری که وزن تر رقم پرتو ۴۶/۸٪ و رقم سیستان ۴۹/۵٪ و وزن خشک رقم پرتو ۴۷٪ و رقم سیستان ۴۸/۷٪ نسبت به شرایط عدم تنش، کاهش نشان دادند (شکل ۱).

عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش در رقم قرار گرفت به طوری که بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به رقم پرتو در شرایط عدم تنش و کمترین مقدار مربوط به رقم سیستان در شرایط تنش شدید بود. میزان کاهش عملکرد در رقم پرتو کمتر از رقم سیستان و به میزان حدود ۶۵٪ بود در حالی که در مورد رقم سیستان حدود ۷۰٪ کاهش عملکرد مشاهده شد (شکل ۱).

تنش خشکی اثر منفی بر فرآیندهای فتوسنتز، تغذیه، روابط هورمونی و آبی گیاه دارد؛ همچنین تنش از طریق کاهش



شکل ۱- اثر متقابل تنش در رقم بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 1- Interaction effects of stress × variety on yield and some of morphological traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

تنش، دوره مؤثر پر شدن دانه‌ها کم شده و در نتیجه میزان ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها کاهش می‌یابد. مجموعه این عوامل باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد (Amiri *et al.*, 2011). احتمالاً کاربرد محلول پاشی سالیسیلیک اسید از طریق بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی، باعث افزایش میزان فتوسنتز شده و در نتیجه وزن هزار دانه را افزایش می‌دهد.

مقادیر وزن تر و خشک روند مشابهی داشتند. با افزایش شدت تنش، میزان این دو صفت کاهش پیدا کرد. کاربرد سالیسیلیک اسید میزان این صفات را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین مقدار وزن تر و خشک در شرایط بدون تنش و کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و کمترین مقدار آن‌ها در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. بین مقادیر وزن تر و خشک در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش متوسط و شدید تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۲). در شرایط فراهمی رطوبت گیاهان سطح فتوسنتز و ارتفاع خود را افزایش داده که این امر سبب تولید زیست‌توده بیشتر می‌شوند. کاهش وزن تر و خشک بوته‌ها طی تنش خشکی احتمالاً به دلیل کاهش رشد گیاه می‌باشد. در شرایط تنش، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلول ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و پیروی و ریزش برگ‌ها باشد (Ahmed *et al.*, 2002). همچنین در شرایط تنش به دلیل کاهش مقدار آب در دسترس، میزان فتوسنتز گیاه کاهش پیدا کرده و در نتیجه تولید ماده خشک گیاه نیز کاهش می‌یابد (Yang *et al.*, 2007). به نظر می‌رسد فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ماده در غشای سلولی است. تیمار با سالیسیلیک اسید باعث افزایش مقدار لیگنین در ساختار دیواره سلولی می‌شود (Vafabakhsh *et al.*, 2008) که این خود می‌تواند عاملی در افزایش وزن بیومس گیاهان در معرض تنش خشکی باشد. از طرفی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، باعث بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان فتوسنتز شده و وزن تر و خشک بوته‌ها را افزایش می‌دهد.

محلول پاشی سالیسیلیک اسید میزان عملکرد دانه را افزایش داد. بالاترین میزان عملکرد در شرایط تنش و کاربرد ۱ و ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود. طی تنش میزان عملکرد کاهش پیدا کرد در حالی که کاربرد سالیسیلیک اسید، عملکرد را افزایش

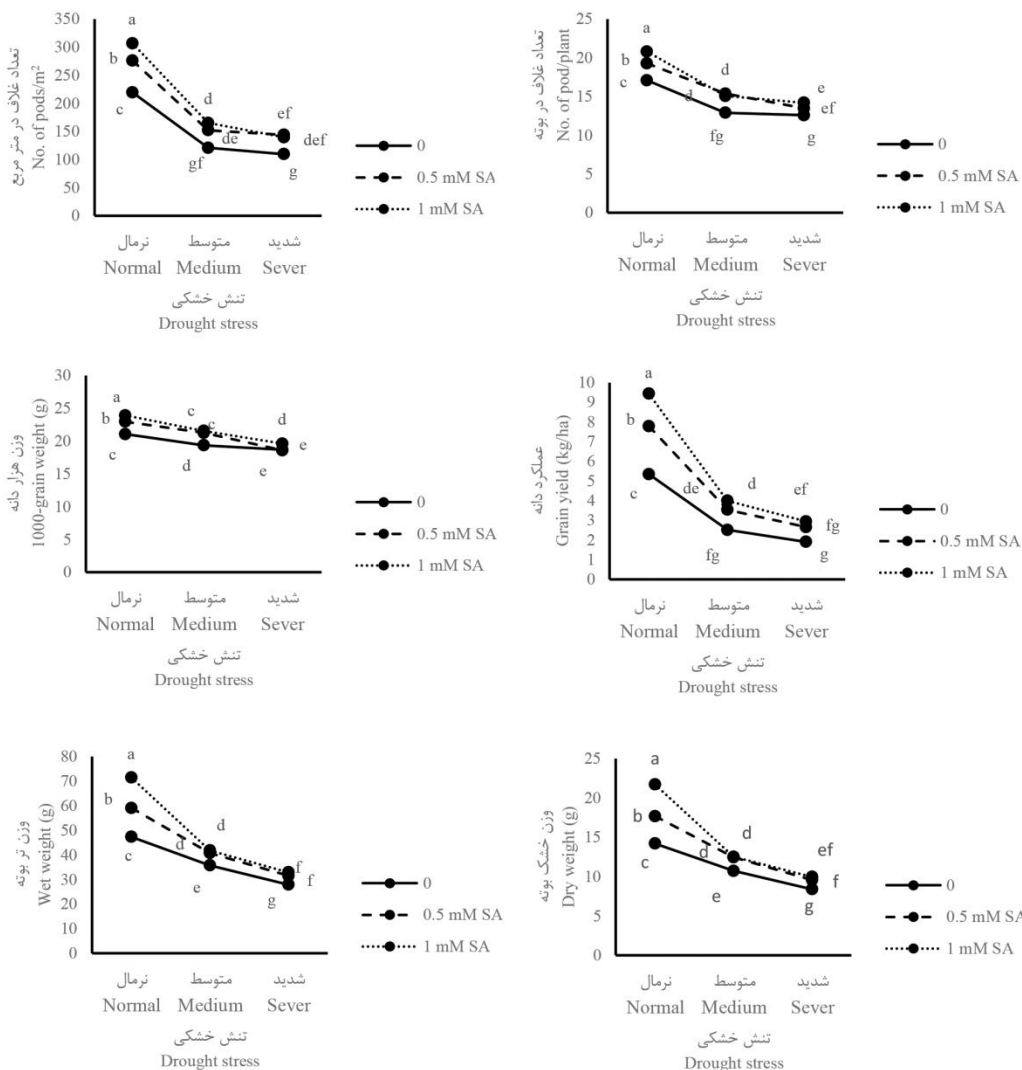
بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش تعداد غلاف در متر مربع شده است. این افزایش، در غلظت ۱ میلی‌مولار و در شرایط عدم تنش بیشترین مقدار (۳۰۶/۷) بوده و طی تنش، کاربرد سالیسیلیک اسید در دو غلظت تأثیر معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد سالیسیلیک اسید داشته ولی بین دو غلظت اختلافات معنی‌دار نیست. کمترین تعداد غلاف در متر مربع (۱۰۹/۸) مربوط به شرایط تنش شدید و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید بود (شکل ۲). کاربرد سالیسیلیک اسید، تعداد غلاف در بوته را افزایش داد. این افزایش در غلظت ۱ میلی‌مولار و در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار (۲۰/۸) بود در حالی که در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید، کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۲/۵۸) مشاهده شد. بین غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش متوسط و شدید اختلافات معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). در مطالعاتی اثر سالیسیلیک اسید بر اجزای عملکرد لوبیا و ماش طی تنش خشکی بررسی و بیان شد که کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش و بهبود تعداد غلاف در بوته در گیاهان تحت تنش شد (Senaratna *et al.*, 2000; Nezhad *et al.*, 2014). کاهش تعداد غلاف روی بوته و تعداد غلاف در متر مربع در شرایط تنش خشکی و دور کم آبیاری ممکن است ناشی از ریزش، سقط گل‌ها و نیز کاهش تعداد شاخه که در نهایت بر تعداد گل‌ها و نتیجتاً بر تعداد غلاف‌ها تأثیر دارد، باشد. محلول-پاشی سالیسیلیک اسید احتمالاً از طریق کاهش اثرات سوء تنش میزان ریزش گل‌ها را کاهش داده و باعث افزایش تعداد غلاف در بوته و نتیجتاً در متر مربع می‌شود (Kamalvandi and Mirshekari, 2013).

کاربرد سالیسیلیک اسید وزن هزار دانه را نیز افزایش داد. بیشترین وزن هزار دانه (۲۳/۹۲ گرم) مربوط به کاربرد ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط بدون تنش بود و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید مشاهده شد. در شرایط تنش شدید بین عدم کاربرد و کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، در حالی که کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار آن، مقدار وزن هزار دانه را افزایش داد (۱۹/۶ گرم) (شکل ۲). وزن هزار دانه به علت کاهش میزان فتوسنتز و رسیدگی سریع دانه‌ها طی شرایط تنش، کاهش پیدا می‌کند. از طرفی با کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی در شرایط

در بررسی اثر پیش تیمار و محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر دو ژنوتیپ ماش (گوهر و پرتو) مشاهده شد که کاربرد سالیسیلیک اسید عملکرد و اجزای عملکرد این دو رقم ماش را تحت تنش، بهبود بخشیده است (Haidari *et al.*, 2019). سالیسیلیک اسید به عنوان یک مولکول سیگنالینگ مهم، باعث رشد و مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی می‌شود. سالیسیلیک اسید احتمالاً با افزایش غلظت پتاسیم، فسفر، نیتروژن و کلسیم باعث افزایش رشد و عملکرد می‌شود (Khan *et al.*, 2010). همچنین بهبود رشد، ممکن است به دلیل تأثیر این هورمون بر سایر هورمون‌های گیاهی افزایش‌دهنده رشد رویشی و افزایش میزان تقسیم سلولی در مناطق مریستمی و رشد سلولی باشد (Daneshmand *et al.*, 2014; Shakirova *et al.*, 2003).

داد. بین غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ بنابراین می‌توان از غلظت ۰/۵ میلی‌مولار استفاده کرد (شکل ۲).

تنش از طریق کاهش رشد سلول‌ها و تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش رشد باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Jaleel *et al.*, 2009). از دیگر دلایل کاهش رشد، می‌توان کاهش فتوسنتز در طی تنش را نام برد (Yardanov *et al.*, 2003). محلول پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری، پارامترهای رشدی ماش را با کاهش آسیب‌های تنش شوری افزایش داد (Oraby *et al.*, 2013). همچنین سالیسیلیک اسید آسیب‌های ناشی از تنش شوری را با افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش عملکرد دانه در ماش کاهش داد (Khan *et al.*, 2010).

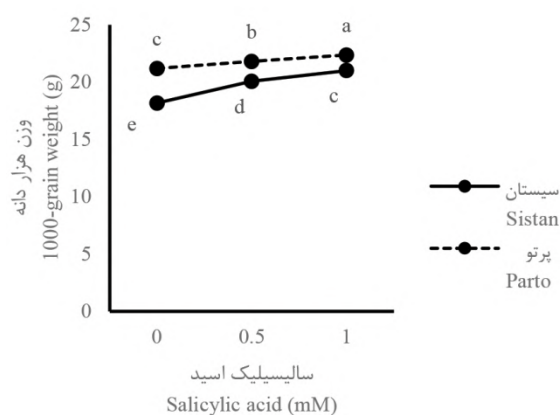


شکل ۲- اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

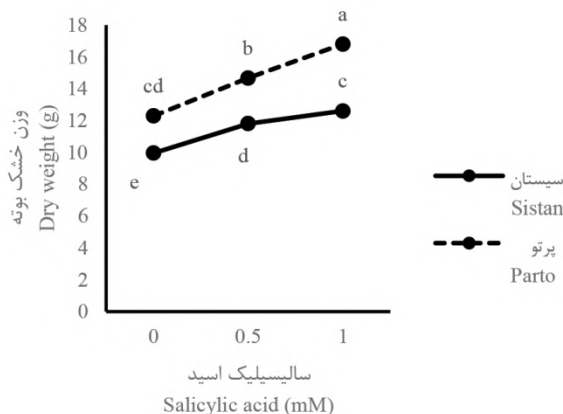
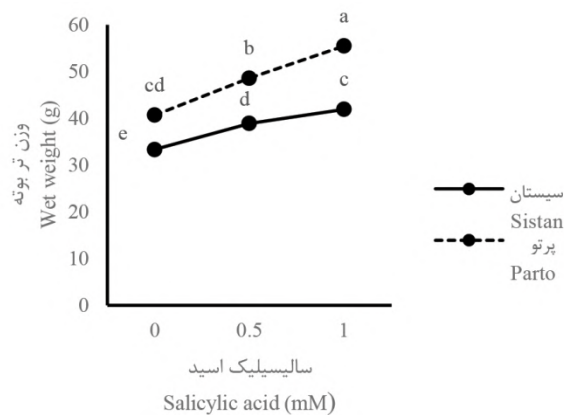
Figure 2- Interaction effects of stress × salicylic acid on yield and yield components of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

نشان می‌دهد (حدود ۱۵٪ بیشتر) در حالی که در رقم پرتو این افزایش وزن هزار دانه حدود ۵٪ بود (شکل ۳).

در اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید، وزن تر و خشک بوته روند مشابهی داشتند. بیشترین وزن تر و خشک مربوط به رقم پرتو و در غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و کمترین مقدار آن مربوط به رقم سیستان و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. در هر دو رقم، غلظت ۱ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را بر وزن تر و خشک بوته داشت (شکل ۳).



بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید، بیشترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به رقم پرتو و کاربرد غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود و کمترین مقدار آن مربوط به رقم سیستان و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید بود. در کل رقم سیستان چه با کاربرد سالیسیلیک اسید و چه عدم کاربرد آن، کمترین مقدار وزن هزار دانه را داشت. با این حال با کاربرد سالیسیلیک اسید در رقم سیستان میزان وزن هزار دانه افزایش بیشتری را نسبت به شاهد



شکل ۳- اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید بر برخی صفات مورفولوژیکی. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 3- Interaction effects of variety \times salicylic acid on some of morphological traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

دانه در غلاف، وزن هزار دانه و وزن تر و خشک گیاه نیز همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (جدول ۳)؛ بنابراین تنش تأثیر به‌سزایی در کاهش عملکرد و اجزای آن دارد. بر اساس مطالعات قبلی، تعداد غلاف در گیاه به عنوان یک جزء مهم و حساس در عملکرد می‌باشد، به‌طوری‌که گزارش شده است که تعداد دانه در بوته و تعداد نیام در بوته

همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

مطالعه ضرایب همبستگی بین صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که بین عملکرد دانه با کلیه صفات همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری وجود دارد. بالاترین میزان همبستگی، بین عملکرد دانه و تعداد غلاف در متر مربع ($r=0/97$) مشاهده شد. سایر صفات مورد بررسی مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد

عملکرد تأثیر زیادی بر تعداد دانه در بوته دارد و کاهش تعداد غلاف باعث کاهش تعداد دانه در بوته نیز می‌گردد (Yaklich, 1984; Smartt, 1988).

بالاترین همبستگی مثبت را با عملکرد دانه داشته‌اند (Pokojska and Grzelak, 1996)؛ بنابراین براساس یافته‌های محققان با توجه به تأثیر تنش خشکی و کم‌آبی بر روی تعداد غلاف و کاهش آن‌ها، یقیناً تعداد غلاف به عنوان جزء مهمی از اجزای

جدول ۳- ضرایب همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام ماش تحت تنش خشکی و محلول پاشی سالیسیلیک اسید

Table 3- Correlation coefficients between yield and yield components of mung bean varieties under drought stress and foliar spray of salicylic acid

| | تعداد غلاف در متر مربع No. of pod/m ² | تعداد غلاف در بوته No. of pod/plant | تعداد دانه در غلاف No. of seed/pod | وزن هزار دانه 1000-grain weight | وزن تر بوته Wet weight of plant | وزن خشک بوته Dry weight of plant | عملکرد دانه Grain yield |
|---|---|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------|
| تعداد غلاف در متر مربع No. of pod/m ² | 1 | | | | | | |
| تعداد غلاف در بوته No. of pod/plant | 0.93** | 1 | | | | | |
| تعداد دانه در غلاف No. of seed/pod | 0.74** | 0.78** | 1 | | | | |
| وزن هزار دانه 1000-grain weight | 0.74** | 0.83** | 0.73** | 1 | | | |
| وزن تر بوته Wet weight of plant | 0.9** | 0.94** | 0.79** | 0.84** | 1 | | |
| وزن خشک بوته Dry weight of plant | 0.9** | 0.94** | 0.78** | 0.83** | 0.1** | 1 | |
| عملکرد دانه Grain yield | 0.97** | 0.93** | 0.81** | 0.79** | 0.94** | 0.93** | 1 |

ns, * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant differences in the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

در رقم در سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها میزان کلروفیل b تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. بین ارقام پرتو و سیستان در شرایط نرمال، از نظر میزان کلروفیل b تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی با افزایش شدت تنش، رقم سیستان بیشتر تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت؛ به طوری که در شرایط تنش شدید این کاهش در رقم سیستان ۳۷٪ و در رقم پرتو ۲۱٪ بود. در رقم سیستان، بین میزان کلروفیل b در شرایط تنش متوسط و شدید اختلاف معنی‌داری مشاهده شد در حالی که در رقم پرتو، این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴). تنش خشکی باعث افزایش تولید ROS می‌شود و

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نشان داد که بین سطوح تنش خشکی، رقم و کاربرد سالیسیلیک اسید از نظر تمامی صفات مورد بررسی اختلافات بسیار معنی‌داری وجود دارد. اثر متقابل تنش در رقم بر صفات محتوای نسبی آب برگ و پرولین بسیار معنی‌دار، بر میزان کلروفیل b و کاروتنوئید معنی‌دار و بر سایر صفات غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر محتوای آب نسبی برگ در سطح ۱٪ معنی‌دار و بر میزان کاروتنوئید در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر سایر صفات مورد بررسی غیر معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید نیز بر میزان محتوای آب نسبی برگ بسیار معنی‌دار و بر میزان کاروتنوئید معنی‌دار بود. اثرات متقابل تنش

کاهش میزان کلروفیل یکی از نشانه‌های معمول تنش اکسیداتیو است (Ebtedaee and Shekafandeh, 2016). این کاهش نشان‌دهنده کمتر بودن میزان تنش اکسیداتیو در این رقم است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام ماش تحت تنش خشکی

Table 4- Analysis of variance results of effect foliar application of salicylic acid on physiological and biochemical traits of mung bean varieties under drought stress

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی df | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کلروفیل کل Total chlorophyll | کاروتنوئید Carotenoids | محتوای نسبی آب برگ RWC | میزان پرولین Proline |
|--|---------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| بلوک Block | 2 | 0.0051 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 0.0107 ^{ns} | 0.0077 ^{ns} | 6.19 ^{**} | 0.333 ^{ns} |
| تنش خشکی Drought stress | 2 | 3.22 ^{**} | 1.305 ^{**} | 8.61 ^{**} | 0.201 ^{**} | 9831.3 ^{**} | 6.2 ^{**} |
| خطای (a) Error (a) | 4 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.0042 | 4.28 | 0.181 |
| رقم Variety | 1 | 0.894 ^{**} | 0.518 ^{**} | 2.77 ^{**} | 0.261 ^{**} | 1873.21 ^{**} | 5.01 ^{**} |
| تنش × رقم Drought × Variety | 2 | 0.038 ^{ns} | 0.072 [*] | 0.092 ^{ns} | 0.057 ^{**} | 26.79 ^{**} | 0.296 ^{**} |
| خطای (b) Error (b) | 6 | 0.005 | 0.021 | 0.027 | 0.006 | 0.86 | 0.492 |
| سالیسیلیک اسید Salicylic acid | 2 | 0.689 ^{**} | 0.255 ^{**} | 1.74 ^{**} | 0.074 ^{**} | 1217.43 ^{**} | 2.03 [*] |
| تنش × سالیسیلیک اسید Drought × Salicylic acid | 4 | 0.014 ^{ns} | 0.006 ^{ns} | 0.012 ^{ns} | 0.013 [*] | 229.56 ^{**} | 0.353 ^{ns} |
| رقم × سالیسیلیک اسید Variety × Salicylic acid | 2 | 0.006 ^{ns} | 0.0522 ^{ns} | 0.031 ^{ns} | 0.016 [*] | 12.68 ^{**} | 0.345 ^{ns} |
| تنش × رقم × سالیسیلیک اسید Drought × Variety × Salicylic acid | 4 | 0.142 ^{**} | 0.086 ^{**} | 0.438 ^{**} | 0.041 ^{**} | 61.64 ^{**} | 0.058 ^{**} |
| خطای (C) Error (C) | 24 | 0.0168 | 0.016 | 0.0405 | 0.0043 | 2.05 | 0.502 |
| ضریب تغییرات CV (%) | | 7.77 | 7.98 | 6.17 | 8.7 | 2.86 | 8.33 |

ns, * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant differences in the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

کاروتنوئیدها در مقاومت گیاهان بر علیه تنش خشکی مؤثرتر هستند، از جمله نقش‌های کاروتنوئیدها، جذب و انتقال فوتون‌های نوری و حفاظت بر علیه آسیب‌های اکسیداتیو ایجاد شده توسط تنش خشکی می‌باشد. همچنین کاروتنوئیدها به عنوان یک آنتی‌اکسیدان مؤثر، باعث حذف رادیکال‌های آزاد و در نتیجه مقاومت به تنش می‌شوند (Jaleel et al., 2009). میزان کاروتنوئید در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی است احتمالاً یک دلیل مقاوم‌تر بودن رقم پرتو نسبت به رقم سیستان به تنش خشکی، همین افزایش میزان کاروتنوئید است.

تنش خشکی مقدار کاروتنوئید را در هر دو رقم افزایش داد. این افزایش در رقم پرتو (۰/۴۸/۵) بیشتر از رقم سیستان (۰/۱۵/۸) بود. بالاترین میزان کاروتنوئید، تحت تنش شدید و در رقم پرتو مشاهده شد. بین میزان کاروتنوئید در شرایط تنش متوسط و شدید در رقم سیستان، تفاوت آماری معنی‌داری نبود (شکل ۴). این نتایج با یافته‌های مطالعه محققان بر روی گندم (Emam et al., 2013) و تربیتی‌کاله (Hoseini et al., 2016) مبنی بر اینکه با افزایش شدت تنش، میزان کاروتنوئید افزایش می‌یابد هم‌خوانی دارد. در بین رنگدانه‌های فتوسنتزی،

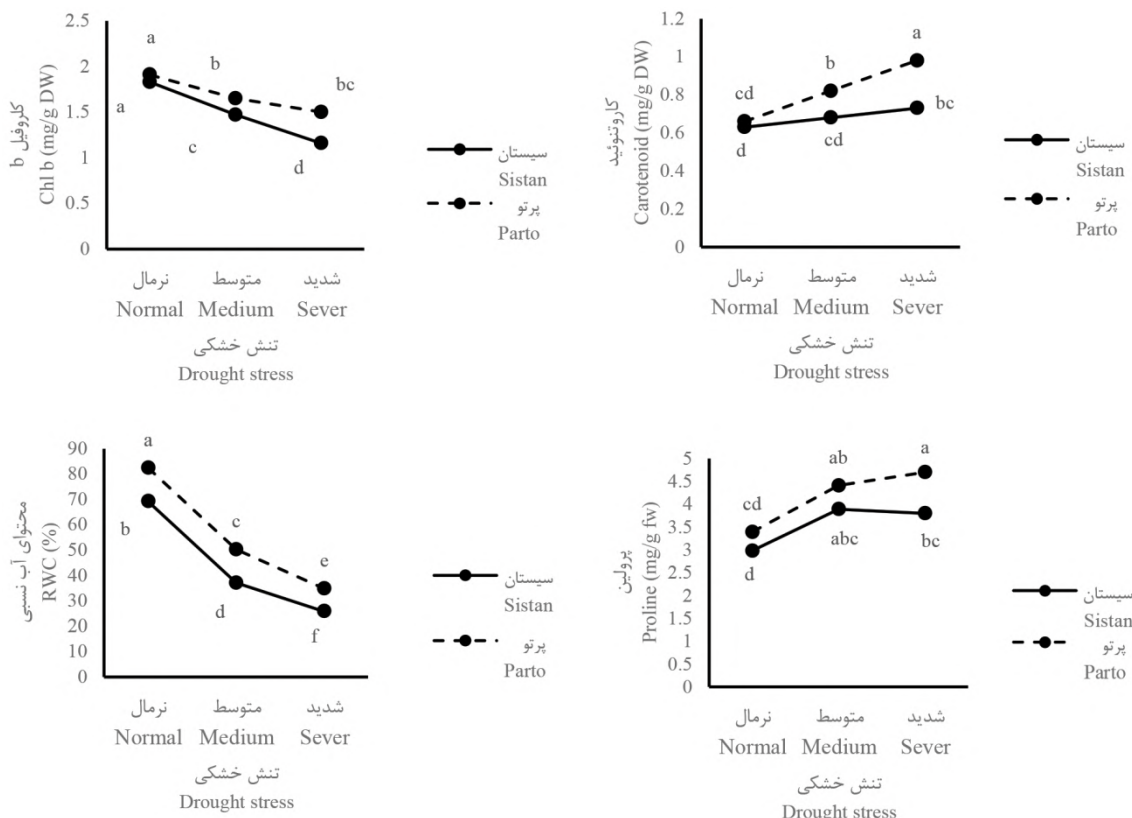
سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد (Ghorbanali *et al.*, 2013).

میزان کاروتنوئید، تحت تأثیر اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید قرار گرفت. کاروتنوئید در شرایط تنش شدید و کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار و پس از آن در شرایط تنش شدید و تیمار ۰/۵ میلی‌مولار بالاترین میزان بود. کمترین میزان پرولین در شرایط عدم کاربرد سالیسیلیک اسید مشاهده شد. با افزایش میزان تنش مقدار پرولین افزایش پیدا کرد که این افزایش با کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار بود (شکل ۵). افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید با کاربرد سالیسیلیک اسید طی تنش خشکی، در لوبیا قرمز (Shoghian and Roozbahani, 2017) و ذرت (Mehrrabian moghaddam *et al.*, 2011) نیز گزارش شده است. این بهبود رنگی‌های فتوسنتزی به دلیل این است که سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل کرده و از آسیب به رنگدانه‌ها جلوگیری می‌کند.

محتوای آب نسبی برگ با افزایش تنش کاهش پیدا کرد. بالاترین مقدار محتوای آب نسبی برگ در شرایط نرمال و کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود؛ به عبارتی کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط نرمال محتوای آب نسبی برگ را افزایش داد. بین میزان محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش متوسط و شدید با کاربرد ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۵)؛ بنابراین در شرایط تنش، کاربرد غلظت‌های ۰/۵ و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به یک میزان باعث افزایش محتوای آب نسبی شده است. افزایش در میزان سالیسیلیک اسید طی تنش خشکی، مطابق با یافته‌های گذشته روی ماش (Heidari *et al.*, 2019) و لوبیا (Mehrrabian moghaddam *et al.*, 2011) می‌باشد. این افزایش در محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سالیسیلیک اسید را به مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش سیستم ضد اکسایشی و در پی آن افزایش مقدار پتاسیم نسبت داده‌اند که این امر سبب افزایش فشار آماس سلولی، افزایش محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب و در نتیجه کاهش مقاومت روزنه‌ای برگ می‌گردد (Raskin, 1992; Delvari Parizi *et al.*, 2012).

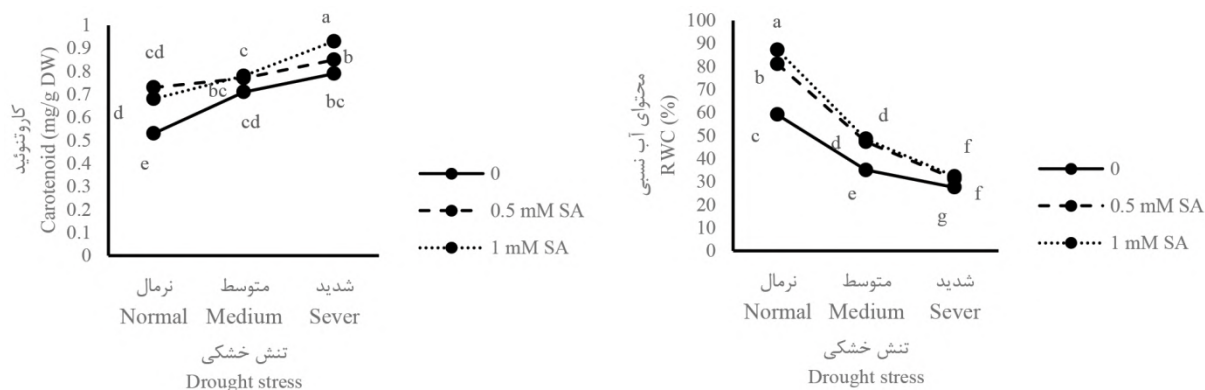
محتوای آب نسبی تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. تحت شرایط تنش میزان محتوای آب نسبی کاهش پیدا کرد که این کاهش در رقم پرتو به میزان ۵۷/۷٪ و در رقم سیستان ۶۲/۶٪ بود (شکل ۴). این نتایج نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تنش بر محتوای نسبی آب برگ رقم سیستان بود. تقریباً میزان رطوبت نسبی دو رقم با شیب یکسان کاهش پیدا کرد ولی در کل میزان آن در هر سه شرایط در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی بود. کاهش در محتوای رطوبت نسبی با نتایج مطالعات دیگر بر روی ماش (Ziaee *et al.*, 2017; Moradi *et al.*, 2008) و خردل (Fazeli Kakhki *et al.*, 2014) همسو می‌باشد. محتوای آب نسبی، میزان جذب آب توسط بافت‌ها و سلول‌های گیاه را نشان می‌دهد (Silva *et al.*, 2007) و در واقع نشان‌دهنده میزان فعالیت متابولیکی در بافت‌های گیاه است (Sadeghipour and Aghaei, 2012). کاهش محتوی نسبی آب برگ طی تنش خشکی ممکن است به دلیل بسته شدن روزنه‌ها باشد و علت بسته شدن روزنه‌ها را هورمون اسید آبسزیک ساخته شده در ریشه، در طی شرایط تنش خشکی می‌دانند که در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (Khan *et al.*, 2010).

میزان پرولین نیز به شدت تحت تأثیر اثر متقابل تنش در رقم قرار گرفت. در هر دو رقم میزان پرولین در شرایط تنش متوسط بیشتر از شرایط نرمال (در هر دو رقم حدود ۷۷٪) بود. با افزایش شدت تنش، تغییر در میزان پرولین چندان چشم‌گیر نبود به طوری که بین تنش متوسط و شدید دو رقم، اختلافات معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴). افزایش میزان پرولین طی تنش، در آزمایشات صورت‌گرفته توسط محققین دیگر در گیاهانی مانند لوبیا قرمز و ژنوتیپ‌های ماش گزارش شده است (Ziaee *et al.*, 2017; Shoghian and Roozbahani, 2017) افزایش پرولین طی تنش خشکی ممکن است ناشی از تجمع پرولین به موازات افزایش فعالیت آنزیم‌های شرکت‌کننده در سنتز پرولین از طریق مسیر گلوتامیت و تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها باشد (Fujita *et al.*, 2003; Amini *et al.*, 2014). همچنین در گیاهان تحت تنش، سنتز پرولین افزایش و تخریب پرولین، صورت نمی‌گیرد. افزایش میزان پرولین در شرایط تنش، باعث محافظت پروتئین‌ها، آنزیم‌های



شکل ۴- اثر متقابل تنش در رقم بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 4- Interaction effects of stress × variety on physiological and biochemical traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

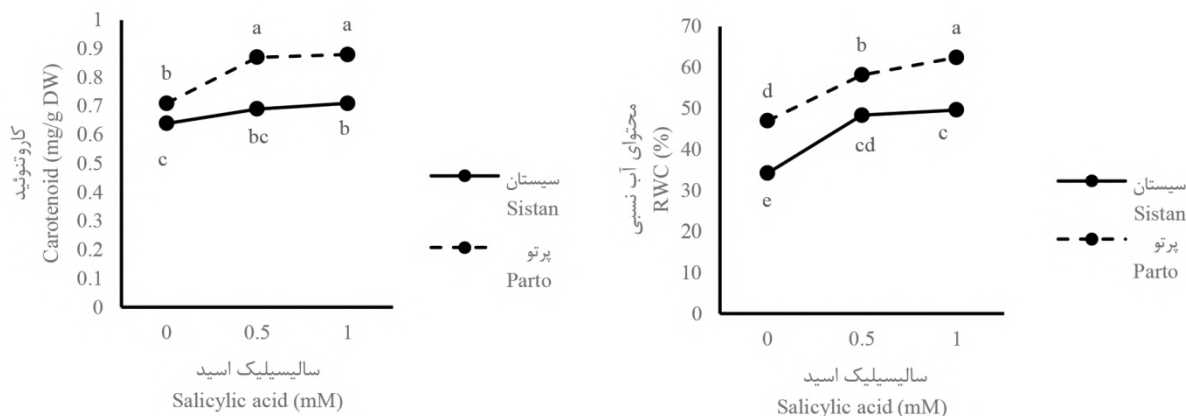


شکل ۵- اثر متقابل تنش در سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی دار ندارند.

Figure 5- Interaction effects of stress × salicylic acid on physiological and biochemical traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

کاربرد سالیسیلیک اسید در هر دو رقم، محتوای آب نسبی برگ را افزایش داد. بالاترین محتوای آب نسبی برگ در غلظت یک میلی مولار و در رقم پرتو به میزان ۶۲/۴۴٪ بود و کمترین مقدار آن در رقم سیستان و عدم کاربرد سالیسیلیک اسید به میزان ۳۴/۲۵٪ بود. در واقع کاربرد یک میلی مولار سالیسیلیک اسید در رقم پرتو، محتوای آب نسبی برگ را به میزان ۲۵٪ نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۶).

میزان کاروتنوئید تحت تأثیر اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید قرار گرفت. بین کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۵ و یک میلی مولار در هر دو رقم سیستان و پرتو از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود نداشت. در رقم پرتو بین عدم کاربرد سالیسیلیک اسید و کاربرد ۰/۵ میلی مولار آن تفاوت معنی دار مشاهده شد اما در رقم سیستان این تفاوت معنی دار نبود (شکل ۶).



شکل ۶- اثر متقابل رقم در سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ماش. تیمارهای دارای حرف مشترک، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Figure 6- Interaction effects of variety × salicylic acid on physiological and biochemical traits of mung bean. Treatments with the same letters don't show significant differences.

بین اجزای عملکرد، صفت تعداد غلاف در متر مربع بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد دانه داشت. بر اساس نتایج این آزمایش، طی شرایط تنش، در جهت بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه ماش کاربرد سالیسیلیک اسید توصیه می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد در شرایط سیستان، رقم پرتوی ماش بهتر از رقم محلی سیستان عمل می‌کند.

تعارض منافع

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

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی بر روی کلیه صفات مورد بررسی اثر منفی داشت. تنش خشکی میزان پرولین را افزایش داد افزایش پرولین باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش می‌شود. کاربرد سالیسیلیک اسید، در مقایسه با گیاهان کنترل باعث افزایش میزان تمامی صفات شد. بر اساس این نتایج، اثر سالیسیلیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش و در رقم پرتو بیشترین مقدار بود. در بین ارقام مورد بررسی، رقم پرتو از نظر کلیه صفات، بهتر عمل کرد. محلول پاشی سالیسیلیک اسید باعث بهبود مقاومت به تنش خشکی در هر دو رقم شد این بهبود صفات در رقم پرتو بیشتر از رقم محلی سیستان بود. در

References

- Aghdasi, S., Modares Sanavy, S.A.M., Aghaalikhani, M. and Keshavarz, H. 2018. Effect of foliar application of Iron and Manganese on yield and yield components of Mungbean under water deficit stress. *Water and Soil Science (Agricultural Science)*, 28(3): 13-25. (In Persian).
- Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y. and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mung bean subjected to water logging. *Journal Plant Science*, 163: 117-123.
- Ali, E.A. and Mahmoud, A.M. 2013. Effect of foliar spray by different salicylic acid and zinc concentrations on seed yield and yield components of mungbean in sandy soil. *Asian Journal of Crop Science*, 5(1): 33-40.
- Amini, Z., Moallemi, N. and Saadati, S. 2014. Effects of water deficit on proline content and activity of antioxidant enzymes among three olive (*Olea Europaea* l.) cultivars. *Journal of Plant Research*, 27(2): 156-167. (In Persian).
- Amiri, A., Parsa, S.R., Nezami, M. and Ganjeali, A. 2011. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1: 69-84. (In Persian).

- Anwar, F., Latif, S., Przybylski, R., Sultana, B. and Ashraf, M.** 2007. Chemical composition and antioxidant activity of seeds of different cultivars of mungbean. *Journal of Food Science*, 72(7): 503-510.
- Arnon, D.I.** 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1): 1.
- Ashraf, M., Din, M. and Warrich, N.** 2003. Production efficiency of mung bean (*Vigna radiata* L.) as affected by seed inoculation and NPK application. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5: 179-180.
- Aslam, M., Hussain, M., Nadeem, M.A. and Haqqani, A.M.** 2004. Comparative efficiency of different mungbean genotypes under Agroclimatic conditions of Bhakkar. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 2(1): 51-53.
- Aslam, M., Khan, I.A., Saleem, M. and Ali, Z.** 2006. Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. *Pakistan Journal of Botany*, 38: 1571-1579.
- Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teave, I.D.** 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-107.
- Daneshmand, F., Arvin, M.J. and Keramat, B.** 2014. Changes caused by salicylic acid in safflower plants under salinity tension. *Journal of Plant Researches*, 27(2): 204-215.
- Delavari Parizi, M., Baghizadeh, A., Enteshari, S.H. and Khosrow Manouchehri Kalantari, K.** 2012. The study of the interactive effects of salicylic acid and salinity stress on induction of oxidative stress and mechanisms of tolerance in *Ocimum basilicum* L. *Journal of Plant Biology*, 4(12): 25-36. (In Persian).
- Diaz-Perez, J.C., Shackel, K.A. and Sutter, E.G.** 2006. Relative water content. *Annals of Botany*, 97(1): 85-96.
- 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): 209-220. (In Persian).
- El-Tayeb, M.A.** 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45: 215-224.
- Emam, Y., Karimzadeh, H.A., Mori, S. and Maghsudi, K.** 2013. Biochemical responses of two wheat cultivars to late season drought stress and auxin and cytokinin application. *Journal of Plant Process and Function*, 2(3): 65-74. (In Persian).
- Fazeli Kakhki, S.F., Ghiasabadi, M. and Goldani, M.** 2014. Effect of salicylic acid on drought stress through improving some morphological, physiological and yield components traits of mustard plant (*Brassica campestris* var. parkland). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(1): 65-77. (In Persian).
- Fujita, T., Maggio, A., Rios, M.G., Stauffacher, C., Bressan, R.A. and Csonka, L.N.** 2003. Identification of regions of the tomato – glutamyl kinase that are involved in allosteric regulation by proline. *Journal of Biological Chemistry*, 278: 14203-14210.
- Qasedi, S. and Hadi, H.** 2014. Effect of salicylic acid on growth indices of mung bean (*Vigna radiata* L.) under water deficit stress. *Agroecology Journal*, 9(3): 49.
- Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirikian, T. and Allahverdi Mamaghani, B.** 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydro ascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(2): 651-658.
- Hasani, A. and Omid Beygi, R.** 2002. Effects of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics of Basil (*Ocimum Basilicum*). *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 12(3): 47-59. (In Persian).
- Heidari, H., Alizadeh, Y. and Fazeli, A.** 2019. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean (*Vigna radiata* L.) under drought stress condition. *Journal of Plant Production Research*, 26(2): 127-141. (In Persian).

- Hashempour, A., Ghasemnezhad, M., Ghazvini, R.F. and Sohani, M.M.** 2014. The physiological and biochemical responses to freezing stress of olive plants treated with salicylic acid. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61(4): 443-450.
- Hoseini, S.S., Cheniany, M., Lahouti, M. and Ganjeali, A.** 2016. Evaluation of resistance to drought stress in seedlings of two lines of Triticale (*Triticosecale* × *Wittmack*) with emphasis on some enzymatic and non-enzymatic antioxidants. *Iranian Journal of Plant Biology*, 8(30): 27-42. (In Persian).
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Jubuti, H.j., Somaasundrram, R. and Panneerselvam, R.** 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Agriculture Biology*, 11: 100-105.
- Jeyakumar, P., Velu, G., Rajendran, C., Amutha, R., Savery, M.A.J.R. and Chidambaram, S.** 2008. Varied responses of black gram (*Vigna mungo*) to certain foliar applied chemicals and plant growth regulators. *Legume Research-An International Journal*, 31(2): 105-109.
- Kamalvandi, S. and Mirshekari, F.** 2013. Effect of drought stress on yield and yield components of Mung cultivars. *Journal of Plant Production Science*, 4(2): 14-18. (In Persian).
- Keikha, M., Noori, M. and Keshtehgar, A.** 2017. Effect of salicylic acid and gibberellin on yield and yield components of Mungbean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2): 138-151. (In Persian).
- 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): 1-8.
- Lakhanpaul, S.S.C. and Bhat, K.V.** 2000. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis in Indian mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] cultivars. *Genetica*, 109: 227-234.
- Maasoumi, G., Lahouti, M. and Mahmoodzadeh, H.** 2016. Effect of combined application of salicylic acid and zinc on germination indices and vegetative growth of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Crop Physiology Journal*, 8(30): 121-133. (In Persian).
- Maity, U. and Bera, A.K.** 2009. Effect of exogenous application of brassinolide and salicylic acid on certain physiological and biochemical aspects of green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Indian Journal of Agricultural Research*, 43(3): 194-199.
- Mehrrabian moghaddam, N., Arvin, M.J., Nezhad, G.K. and Maghsoudi, K.** 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 27-2(1): 41-55. (In Persian).
- Moradi, A., Ahmadi, A. and Hosseinzadeh, A.** 2008. Agro-physiological responses of mung bean (Cv. Partov) to severe and moderate drought stress applied at vegetative and reproductive growth stages. *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 12(45): 659-671. (In Persian).
- Nezhad, T.S., Mobasser, H.R., Dahmardeh, M. and Karimian, M.** 2014. Effect of foliar application of salicylic acid and drought stress on quantitative yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Novel Applied Sciences*, 3(5): 512-515.
- Orabi, S.A., Mekki, B.B. and Sharara, F.A.** 2013. Alleviation of adverse effects of salt stress on faba bean (*Vicia faba* L.) plants by exogenous application of salicylic acid. *World Applied Sciences Journal*, 27(4): 418-427.
- Pokojska, H. and Grzelak, K.** 1996. Influence of seed maturity on germination, vigour and protein and tannin contents in faba bean (*Vicia faba* L. var. minor). *Plant Breeding and Seed Science*, 40: 11-20.
- Raskin, I.** 1992. Role of salicylic acid in plants. *Journal of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 439-463.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M.** 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189- 1202.

- Sadeghipour, O. and Aghaei, P.** 2012. Response of common bean to exogenous application of salicylic acid under water stress conditions. *Environmental Biology*, 6: 1160-1168.
- Sangakkara, U.R., Frehner, M. and Nosberger, J.** 2001. Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiata* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186: 73-81.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E. and Dixon, K.** 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30: 157-161.
- Shakirova, F.M., Skhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fathutdinova, R.A. and Fathutdinova, D.R.** 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164(3): 317-322.
- Shoghian, M. and Roozbahani, A.** 2017. The effect of salicylic acid foliar application on morphological traits, yield and yield components of red bean under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 9(34): 131-147. (In Persian).
- Shokouhfar, A. and Abofatlehnazhad, S.** 2013. Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*vigna radiate* (L.)) in dezful. *Crop Physiology*, 5(17): 49-59. (In Persian).
- Silva, M.D.A., Jifon, J.L., Da Silva, J.A. and Sharma, V.** 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3): 193-201.
- Singh, G.U.R B.A.K.S.H. and Kaur, M.** 1980. Effect of growth regulators on podding and yield of mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Indian Journal of Plant Physiology*, 23: 366-370.
- Smartt, J.** 1988. Evolution and evolutionary problems in food legumes. *Economic Botany*, 34: 219-235.
- Sodaii zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A.M. and Hakim zadeh, M.A.** 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of Plant Process and Function*, 5(15): 1-12. (In Persian).
- Sujatha, K.B.** 2001. Effect of foliar spray of chemicals and bioregulators on growth and yield of greengram (*Vigna radiata* L.). M.Sc. Thesis, Tamil Nadu Agriculture University Coimbatore.
- Thomas, M.T. and Gausling, T.** 2000 Morphological and physiological responses of oak (*Quercuspet raea* and *Q. robur*) to moderat drought. *Annals of Forest Science*, 57: 325-333.
- Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A.** 2008. Effects of drought stress on radiation use efficiency and yield of winter Canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1): 193-204. (In Persian).
- Yaklich, R.W.** 1984. Moisture stress and soybean seed quality. *Journal of Seed Technology*, 9: 60-67.
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y.Z., Yao, X.Q. and Yin, H.J.** 2007. Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosyntetica*, 45(4): 613-619.
- Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T.** 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Plant Physiology*, 21: 187-206.
- Zarea, J. and Galavi, M.** 2013. The study of phenological traits, yield and yield components of three Mungbean (*Vigna radiate* (L.) Wilczek) cultivars to deficit irrigation in Sistan region. *Iranian Journal of Pulses Research*, 4(2): 51-64. (In Persian).
- Ziaee, M., Khazaei, H.R. and Nezami, A.** 2017. Investigation the effect of different levels of irrigation on morph physiological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiate* L.). *Crop Physiology Journal*, 9(34): 5-21. (In Persian).

Effects of application of salicylic acid under the drought stress on morphophysiological and biochemical traits of two varieties of mung bean (*Vigna radiata* L.) in Sistan

Masoud Barjas¹, Leila Mehravaran^{2*}, Maryam Allahdou², Salehe Ganjali²

¹ M.Sc. Graduated of Genetics and Plant Breeding, University of Zabol, Zabol, Iran

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

*Corresponding Author: lmehrvanan@uoz.ac.ir

Received: 8 October 2021

Accepted: 25 December 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.309460.1139

Abstract

Introduction: One of the most common environmental stresses that affect plant growth and development is drought stress. This stress directly impacts plant morphology, physiology, and biochemistry of plants. Salicylic acid (SA) is a signaling molecule and hormone-like substance that plays an important role in growth and physiological processes, as well as in the regulation of plant growth and development. The purpose of this research was to determine the effects of SA foliar application on morphological, physiological, and biochemical traits of two mung bean genotypes under drought stress.

Materials and Methods: This experiment was conducted in 2020 at Shandel village, 13 Km away of Zabol. A split plot design within a randomized complete block design with three replications was used. The main-plots were included irrigation after 70 (as normal conditions), 120, and 180 mm evaporation (as stress conditions) from Class A Evaporation Pan, and the sub-plots include two local cultivars of Sistan and Parto mung bean, and sub-sub-plots included the foliar application of distilled water (control), foliar application of 0.5 and 1 mM SA. Drought stress was applied in the middle of the vegetative growth stage. The foliar application of SA was done in three stages: the vegetative growth stage (20 days after planting), beginning of flowering stage and end of flowering stage. After full plant maturity, plant height, biomass, grain yield and yield components, photosynthetic pigments (chlorophyll and carotenoid), Relative Water Content (RWC), and proline of mung bean were measured.

Results and Discussion: Analysis of variance of yield traits and yield components revealed significant differences between drought stress levels, cultivar, and application of SA for all traits. The interaction effects of drought stress in cultivar on plant height and grain yield at 1% probability level and on fresh and dry plant weight at 5% probability level were significant and non-significant, respectively, while the interaction effects on other traits were not significant. The interaction effect of stress and SA was significant for the number of pods per plant, thousand seed weight, fresh and dry weight of the plant, grain yield, and the number of pods per m². The interaction effect between SA and cultivar were not significant on 1000-seed weight, fresh and dry weight of the plant. The interaction of stress × cultivars, and SA was significant on all traits except grain yield and the number of pods per square meter.

Drought stress has a profound effect on photosynthesis and water potentials of plant. Grain Yield and yield components were better in Parto cultivar than local Sistan cultivar. It is possible that the presence of superior stress resistance genes in Parto cultivars has caused higher yield and yield components than the local cultivar. Application of SA increased pod production per plant. Foliar application of SA probably reduces flower loss by reducing the adverse effects of stress and increases the number of pods per plant and consequently the number of pods per square meter. Foliar application of SA increases photosynthesis by improving photosynthetic pigments. In addition, foliar application of SA enhances photosynthesis, resulting in an increase in 1000-seed weight. SA, as an important signaling molecule, promotes plant growth and induced abiotic stress tolerance. Likely SA increases growth and yield by increasing potassium, phosphorus, nitrogen, and

calcium concentrations. The effect of this hormone on other plant hormones that increase vegetative growth and increase cell division in meristematic regions, and cell growth may also contribute to the growth enhancement.

Conclusions: Based on the present study findings, drought stress had a negative effect on all traits examined. The effect of SA at a concentration of 1 mM was the highest in non-stress conditions and in the Parto cultivar. The Parto cultivar was better compared to another cultivar. Foliar application of SA improved drought resistance in both cultivars. This improvement was greater in Parto cultivar than local Sistan cultivar. Based on the results of this experiment, it is recommended to improve the yield and growth characteristics of mung bean during stress conditions. It also seems that Parto cultivar performs better in Sistan's conditions than the local cultivar of Sistan.

Keywords: Environmental stress, Leguminose, Photosynthetic pigments, Proline, Yield components

تأثیر نوع پیوند و سن پیوندک بر دوره نونهالی گیاه دارویی باریجه (*Ferula gumosa* Boiss) توده خراسان شمالی

غلامعلی ولیزاده^۱، رضا برادران^{۲*}، سید غلامرضا موسوی^۲، فاطمه نخعی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۳- گروه باغبانی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

* مسئول مکاتبه: R.baradaran@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.341368.1234

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

چکیده

به منظور بررسی اثر نوع پیوند و سن پیوندک بر برخی ویژگی‌های رشدی گیاه باریجه، مطالعه‌ای در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، به صورت فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. فاکتور اول شامل نوع پیوند گیاه باریجه بود که در چهار سطح شاهد (بدون پیوند)، پیوند غده، پیوند برگ و پیوند طوقه اعمال گردید. فاکتور دوم نیز سن پیوندک بود که در چهار سطح پیوندک‌های یک‌ساله، دو ساله، سه ساله و چهارساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. بیشترین گیرایی پیوند، طول برگ و ارتفاع ساقه به ترتیب به میزان ۸۰ درصد، ۵۶/۳ سانتی‌متر و ۴۷/۴ سانتی‌متر در پیوند غده‌ای و پیوندک چهارساله وجود داشت. بیشترین تعداد برگ نیز در پیوندک چهارساله در تیمار شاهد و پیوند غده‌ای مشاهده گردید و تنها در این دو تیمار بود که تعداد برگ به بیش از ۱۱ عدد برگ در بوته رسید. بلندترین طول غده نیز در پیوندک‌های سه ساله و چهارساله در تیمار شاهد و پیوند غده‌ای مشاهده شد و تنها در این چهار تیمار بود که طول غده بیش از ۲۴ سانتی‌متر بدست آمد. در مجموع به نظر می‌رسد که بهترین روش پیوند در گیاه باریجه، پیوند غده‌ای و بهترین سن پیوندک، انتخاب گیاه چهارساله است.

واژه‌های کلیدی: پیوند غده، خصوصیات رشدی، طول غده، گل‌دهی

مقدمه

مقاومت خوبی به سرما داشته و دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رویش آن را متوقف می‌کند (Mir Heydari, 1994). شکستن خواب بذر آن، نیاز به استراتیفیکاسیون و گذراندن یک دوره سرمای در محدوده دمایی ۳ تا ۱۵- درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ تا ۴۵ روز دارد (Teisseire, 1964). از این گیاه بصورت استعمال خارجی جهت ترمیم زخم‌های سطحی بدن و تاول‌های پوستی، ضد گرفتگی‌های عضلانی و درمان کوفتگی بدن استفاده می‌شود. هم‌چنین از آن برای درمان دردهای معده و دفع کرم‌های روده استفاده می‌گردد (Moradi et al., 2016).

گیاهان موجوداتی هستند که غذای مورد نیاز خود را به کمک انرژی نورانی خورشید تولید کرده و اولین حلقه در زنجیره غذایی جهت تأمین غذا برای موجودات کره زمین هستند. لذا گیاهان کارخانه‌های تولید غذا در زمین به شمار رفته و بدون

باریجه با نام علمی *Ferula gummosa* Boiss گیاهی است چندساله و مونوکارپ از خانواده چتریان (Apiaceae) که از گیاهان ارزشمند بومی ایران به شمار رفته و شیرابه آن از اقلام مهم صادراتی کشور به حساب می‌آید (Omid Beigi, 2008)؛ به عبارت دیگر، اسانس و شیرابه موجود در این گیاه، دارای مواد شیمیایی ارزشمندی هم‌چون ترپنوئید کومارین‌ها، استرهای عطری و برخی ترکیبات آروماتیک است که آن را به یک گیاه دارویی منحصر به فرد تبدیل کرده است (Mortezaie Nezhad and Sadeghiyan, 2008). این گیاه در مناطق مرتفع و کوهستانی با ارتفاع ۱۳۰۰ تا ۳۳۰۰ متر از سطح دریا رشد کرده و بیشترین رویشگاه‌های آن، مناطق مرتفع مرکزی و شمال شرق ایران هم‌چون استان‌های سمنان، اصفهان، تهران و خراسان‌های رضوی و شمالی می‌باشند (Mozafariyan, 1996). باریجه

گردید که بهترین شرایط برای تولید بافت کالوس، وجود درجه حرارت ۲۰ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد و روشنایی ۱۶ ساعت با شدت نور ۳۰۰ لوکس بر سانتی‌متر مربع در محیط حاوی هورمون 2,4-D بود (Ahmadi et al., 2012). با عنایت به اهمیت گیاه باریجه و موارد بی‌شمار استفاده‌های دارویی-صنعتی از آن و همچنین با توجه به این موضوع که گیاه باریجه به دلیل برداشت‌های بی‌رویه و نامناسب از عرصه‌های طبیعی کشور در حال انقراض بوده و تکثیر آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Sefidkan, 2008)، این تحقیق با هدف بررسی اثر نوع پیوند و سن پیوندک بر دوره نونهالی گیاه دارویی باریجه توده خراسان شمالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ بصورت فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان با عرض جغرافیایی ۳۷/۴ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷/۹ درجه شرقی انجام شد. فاکتور اول، نوع پیوند گیاه باریجه بود که در چهار سطح شاهد (بدون پیوند)، پیوند غده، پیوند برگ و پیوند طوقه اعمال گردید. فاکتور دوم نیز سن پیوندک بود که در چهار سطح پیوندک‌های یک‌ساله، دوساله، سه‌ساله و چهارساله مورد بررسی قرار گرفت.

گیاهان پایه (با سن پنج سال) و هم‌چنین پیوندک‌های مورد آزمایش، در اواسط اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ از باغ گیاه‌شناسی مرکز تحقیقات خراسان شمالی واقع در شهر بجنورد تهیه شدند. بدین منظور، گیاهان باریجه به همراه ریشه و خاک اطراف آن، از باغ گیاه‌شناسی مرکز تحقیقات خراسان شمالی، برداشت شده و به گلدان‌های بزرگی به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر منتقل و در محیط گلخانه نگهداری شدند.

خاک استفاده شده در گلدان دارای یک‌سوم خاک باغچه + یک‌سوم خاک برگ + یک‌سوم ماسه بود. سپس پیوندک‌ها بر اساس سن تعریف شده در آزمایش، از باغ گیاه‌شناسی مرکز تحقیقات خراسان شمالی، تهیه شدند. جهت تعیین سن پیوندک، تعداد لایه‌های برگ‌ی موجود در محل یقه که از سال‌های قبل باقی مانده بود، شمارش شدند (هر لایه برگ، معرف یک سال رویشی می‌باشد) (Asgarzadeh, 2005). در ادامه و در اواخر

آن‌ها جانوری بر روی کره زمین وجود نخواهد داشت (Ardakani, 2021)؛ بنابراین، تکثیر و ازدیاد گیاهان از با اهمیت‌ترین پدیده‌ها برای حفظ حیات بر روی کره زمین است. در مواردی که تکثیر گیاه به کمک بذر ممکن نبوده و یا با مشکل همراه باشد، می‌توان از روش‌های تکثیر غیرجنسی گیاهان، از جمله روش‌های پیوند، استفاده کرد. این روش‌ها می‌توانند تولید انبوه و یکنواخت گیاهان را در مدت‌زمان کوتاه و با صرف هزینه مناسب امکان‌پذیر سازند. پیوند عبارت است از اتصال دو قطعه از بافت زنده گیاه بر روی یکدیگر که با انجام عمل باززایی در محل اتصال، منجر به تشکیل یک گیاه مستقل می‌گردد. به دلیل حفظ ویژگی‌های ژنتیکی و ایجاد نشدن تنوع همسانه‌دنی (سوماکلونی) در گیاهان، پیوند روشی مناسب برای تولید گیاهان در مقیاس گسترده به شمار می‌آید (Onay et al., 2007; Khoshkhuy, 2014).

نونهالی به مراحل اولیه رشد اطلاق می‌شود که در طول آن، نمی‌توان نهال را وادار به گل‌دهی نمود. در این مرحله عموماً نهال در محیط جداگانه‌ای غیر از محیط اصلی رشد، نگهداری می‌شود. بدنبال نونهالی مرحله انتقال وجود دارد که طی آن، گیاه به محیط اصلی رشد خود منتقل می‌گردد (Khoshkhuy, 2014). مرحله نونهالی بسته به عوامل محیطی و ژنتیکی ممکن است خیلی طولانی باشد. طولانی بودن دوره نونهالی یک عامل محدودکننده مهم در برنامه‌های به‌نژادی محسوب می‌شود. چرا که گیاه برای رسیدن به مرحله بلوغ، باید به یک اندازه حداقل رسیده باشد. با این وجود، دوره نونهالی را اغلب می‌توان با افزایش سرعت رشد نهال‌های جوان کوتاه نمود و گیاه را زودتر به مرحله باردهی رساند (Haj Najjari et al., 2012). به نظر می‌رسد که عواملی مانند نوع پیوند و یا سن پیوندک، در این خصوص تأثیرگذار باشند. به عنوان مثال در تحقیقی مشخص گردید که در بین روش‌های مختلف پیوند، بهترین روش برای تکثیر گردو، روش وصله‌ای و بهترین زمان برای انجام پیوند، خردادماه و زمانی است که دمای محیط به ۳۰ درجه سانتی‌گراد رسیده باشد (Polat and Ordek, 2008). در پژوهشی دیگر، مشخص شد که بیشترین رشد طولی و قطری پیوندک برای درخت گردو، در پیوند وصله‌ای بدست آمد (Khaje Ali and Mohammadkhani, 2015). در مطالعه‌ای که به منظور بررسی ازدیاد گیاه باریجه از طریق کشت بافت انجام شد، مشخص

پس از انجام پیوند، محل پیوند با نوارهای پلاستیکی بسته و با محلول پارافین مایع با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آغشته شد؛ گلدان‌های حاوی نهال‌های پیوندی در گلخانه با دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی حداقل ۷۰ درصد نگهداری شدند. نهال‌های پیوندی هر سه روز یک‌بار مورد ارزیابی و رسیدگی قرار گرفته تا اینکه در اوایل تابستان به رکود رفتند. سپس در اواسط زمستان به زمین اصلی منتقل شدند و در اوایل اسفندماه، رشد رویشی خود را آغاز کردند. بافت خاک زمین اصلی از نوع لومی رسی بود (جدول ۱).

اردیبهشت‌ماه همان سال، پیوند بر روی گیاهان پایه به سه صورت پیوند غده، پیوند ساقه و پیوند برگ انجام شد. جهت انجام پیوند از یک نفر پیوندزن ماهر استفاده گردید. در هنگام پیوند زدن، شیرابه‌ای از گیاه خارج شد که پس از گذشت چند دقیقه، این شیرابه کمی سفت گردید که خود در مستقر شدن پیوندک و گیرایی بهتر پیوند و هم‌چنین ضد عفونی شدن پیوندک مؤثر بود. با این وجود، جهت اطمینان از استریل بودن پیوندک، قبل از انجام پیوند، پایه و پیوندک با قارچ‌کش مانکوزب با غلظت ۱/۵ در هزار آغشته و ضد عفونی شدند (Rezaee et al., 2008).

جدول ۱- خصوصیات خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Soil characteristics of experiment site

| اسیدیته | هدایت الکتریکی | پتاسیم | فسفر | نیتروژن کل | ماده آلی |
|---------|----------------|------------|------------|----------------|-----------|
| pH | EC (dS/m) | K (ppm) | P (ppm) | Total N (%) | OM (%) |
| 7.36 | 3.84 | 131 | 38.9 | 0.08 | 0.97 |

پیوندک چهارساله وجود داشت (جدول ۳). پس از این تیمار، دو تیمار پیوند غده در دو سن پیوندک سه و دو ساله، در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). در سایر تیمارها میزان گیرایی پیوند، کمتر از ۳۰ درصد بود (جدول ۳). خصوصاً در پیوند برگ و در سنین مختلف پیوندک، درصد گیرایی پیوند بسیار پایین بود (جدول ۳). این موضوع می‌تواند ناشی از حساسیت بالای برگ گیاه باریجه و ساختار برگ آن که به شکل گوشتی و عاری از دم برگ است، باشد. هم‌چنین در پیوند طوقه‌ی گیاه باریجه موفقیت چندانی حاصل نشد. از آنجایی که قطر طوقه‌های گیاهان یک تا چهارساله که به‌عنوان پیوندک استفاده شدند، نسبت به طوقه گیاه پنج ساله (به‌عنوان پایه) کمتر بود، موفقیت کمتری بدست آمد؛ به عبارت دیگر، احتمالاً وجود قطر طوقه کوچک‌تر در گیاهان دارای سن کمتر به‌عنوان پیوندک نسبت به گیاهان پنج‌ساله که به‌عنوان پایه استفاده شدند، باعث عدم سازگاری بافت‌های پایه و پیوندک گردید. از طرف دیگر، در پیوند نوع غده‌ای گیاه دارویی باریجه درصد موفقیت گیرایی پیوند بیشتر از سایر تیمارها بود. این موضوع شاید به آن خاطر باشد که در این نوع پیوند، سطح تماس پیوندک و پایه باهم بیشتر بوده و چون بعد از عمل پیوند، ترکیب پایه و

نهال‌های پیوندی در زمین اصلی، در داخل ۱۲ بلوک با فاصله بین ردیف و روی ردیف ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شدند و تعداد ۱۲ بوته در هر بلوک کشت گردید. پس از گذشت سه ماه از انتقال نهال‌ها به زمین اصلی، در اواخر اردیبهشت ۱۳۹۸ اندازه‌گیری صفات درصد گیرایی پیوند، ارتفاع ساقه و تعداد برگ انجام شد. ارزیابی طول برگ و طول غده نیز بوسیله خط‌کش و کولیس با دقت یک میلی‌متر انجام شد. هم‌چنین پس از ورود گیاه به فاز زایشی، تعداد گل در بوته در اوایل خرداد ماه اندازه‌گیری شد و سپس در اواخر خرداد ماه تعداد بذر در بوته نیز اندازه‌گیری گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری Mini tab نسخه ۱۷ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

گیرایی پیوند

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک در سطح احتمال یک درصد بر گیرایی پیوند معنی‌دار بود (جدول ۲). بدین صورت که بیشترین گیرایی پیوند به میزان ۸۰ درصد در پیوند غده و سن

پیوندک می‌شوند (Vahdati, 2003 ; Khoshkhuy, 2014)؛ بنابراین با توجه به این موارد پیوندک مورد استفاده حتماً باید دارای جوانه باشد تا عمل تولید پینه و تمایز یابی به خوبی صورت پذیرد (Vahdati, 2003). فشار ریشه‌ای، قندهای محلول، میزان ترکیبات فنلی و میزان تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی موجود در بافت‌های پایه و پیوندک از عوامل فیزیولوژیک مؤثر بر گیرایی پیوند هستند (Rongting and Pinghai, 1990 ; Pinghai and Rongting, 1993).

پیوندک در خاک قرار می‌گیرد، رطوبت پیوندک و پایه بهتر تأمین می‌شود، لذا گیاه فرصت بیشتری پیدا می‌کند تا خود را با شرایط پیوند سازگاری دهد. بطور کلی جوانه پیوندک محل سنتز اکسین‌ها و هورمون‌های دیگر می‌باشد. این هورمون‌ها در جوانه ساخته شده و به کانون زخم در محل پیوند منتقل و موجب تحریک فعالیت لایه زاینده و در نتیجه تشکیل بافت پینه شده و در مراحل بعدی، موجب تمایز یابی و اتصال بافت‌های آوندی بین پایه و

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

Table 2- Analysis of variance of the evaluated traits

| منابع تغییر Sources of variation | درجه آزادی df | گیرایی پیوند Capture of graft | تعداد برگ Number of leaves | طول برگ Leaf length | ارتفاع ساقه Stem height | طول غده Tuber length | تعداد گل Number of flowers | تعداد بذر Number of seeds |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| تکرار Repetition | 2 | 116 ^{ns} | 8.40 ^{ns} | 9.44 ^{ns} | 2.33 ^{ns} | 6.52 ^{ns} | 1.40 ^{ns} | 0.396 ^{ns} |
| نوع پیوند Graft type (G) | 3 | 3513 ^{**} | 110 ^{**} | 2448 ^{**} | 879 ^{**} | 979 ^{**} | 321 ^{**} | 125 ^{**} |
| سن پیوندک Scion age (S) | 3 | 898 ^{**} | 84.4 ^{**} | 1206 ^{**} | 281 ^{**} | 635 ^{**} | 67.0 ^{**} | 26.9 ^{**} |
| سن گیاه * نوع پیوند G * S | 9 | 459 ^{**} | 13.9 ^{**} | 270 ^{**} | 263 ^{**} | 83.0 ^{**} | 70.1 ^{**} | 29.1 ^{**} |
| خطا Error | 30 | 74.5 | 2.80 | 6.22 | 3.04 | 15.6 | 2.84 | 1.37 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 39.1 | 34.2 | 35.9 | 16.75 | 27.6 | 40.0 | 49.5 |

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

ns and **: non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.

تعداد برگ

نتایج تحقیق مشابهی که بر روی بررسی نوع و زمان پیوند بر رشد پیوندک درخت پسته انجام شد، نشان داد که پیوندهای نیم‌انیم زبانه‌ای، اسکنه‌ای، شکمی در خرداد و وصله‌ای در خرداد، بیشترین تعداد برگ را بر روی پیوندک گیاه پسته از خود نشان داده و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند؛ اما کاربرد پیوند شکمی در مردادماه با ارائه سه عدد برگ در بوته، در پایین‌ترین رتبه قرار گرفت (Khaje Ali and Mohammadkhani, 2015).

طول برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک بر طول برگ باریجه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین طول برگ در تیمار پیوند غده‌ای در پیوندک چهارساله با طول

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک در سطح احتمال یک درصد بر تعداد برگ باریجه معنی‌دار بود (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین تعداد برگ در پیوندک چهارساله در تیمار شاهد و پیوند غده‌ای مشاهده گردید و تنها در این دو تیمار بود که تعداد برگ به بیش از ۱۱ عدد برگ در بوته رسید (جدول ۳). پس از این تیمار، تیمار پیوند غده در پیوندک سه‌ساله، با ۷/۳۳ عدد برگ در بوته در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). در سایر تیمارها تعداد برگ، حتی به شش عدد برگ در بوته هم نرسید (جدول ۳). با توجه به بالاتر بودن درصد گیرایی پیوند در تیمار پیوند غده و پیوندک چهارساله، برتری این تیمار در صفت تعداد برگ در بوته منطقی به نظر می‌رسد.

استفاده شده برای پیوندک، موفقیت پیوند را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Onay *et al.*, 2004).

برگ به عنوان منبع تولید کربوهیدرات‌ها و تأمین‌کننده مواد مورد نیاز رشد گیاهی مطرح بوده و بسیاری از فرایندهای مؤثر در رشد گیاهی مثل تولید قند، احیاء نیتروژن و سنتز سیتوکینین‌ها در برگ‌ها انجام شده و این عوامل می‌توانند باعث تمایز آوندی در گیاه جدید حاصل از پیوند گردند. لذا بهبود رشد و افزایش طول برگ می‌تواند در افزایش گیرایی و رشد بهتر گیاه جدید مؤثر باشد (Ohta, 1991 ; Khoshkhuy, 2014).

برگ ۵۶/۳ سانتی‌متر مشاهده گردید. پس از این تیمار، تیمار شاهد در پیوندک چهارساله با طول برگ ۴۴/۶ سانتی‌متر در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). بطور کلی در دو نوع پیوند غده و طوقه و همچنین در تیمار شاهد، با افزایش سن پیوندک، طول برگ نیز افزایش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که با افزایش سن پیوندک، ذخایر غذایی آن نیز افزایش یافته و این موضوع می‌تواند در رشد بیشتر برگ گیاه جدید حاصل از پیوندک و افزایش طول برگ آن مؤثر باشد. بطور کلی نتایج تحقیقات دیگر محققان نیز نشان داده است که سن نمونه‌های

جدول ۳- اثر متقابل تیمارهای مختلف بر میانگین صفات مورد ارزیابی

Table 3- Interaction of different treatments on the mean of the evaluated traits

| نوع پیوند Graft type | سن پیوندک Scion age | گیرایی پیوند Capture of graft (%) | تعداد برگ Number of leaves (per plant) | طول برگ Leaf length (cm) | ارتفاع ساقه Stem height (cm) | طول غده Tuber length (cm) | تعداد گل Number of flowers (per plant) | تعداد بذر Number of seeds (per plant) |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|--|
| شاهد Control | یک ساله Annual | 10.0 d | 3.66 cde | 14.6 e | 6.00 d | 11.6 c | 1.00 d | 0.666 d |
| | دو ساله Biennial | 11.6 d | 5.66 bcd | 21.3 d | 6.66 cd | 13.6 c | 2.00 d | 0.333 d |
| | سه ساله Three-years old | 10.0 d | 7.66 b | 35.6 c | 5.33 d | 24.6 ab | 1.66 d | 0.666 d |
| | چهار ساله Four-years old | 11.6 d | 14.3 a | 44.6 b | 7.00 cd | 32.6 a | 1.33 d | 0.666 d |
| غده Tuber | یک ساله Annual | 20.0 cd | 3.33 de | 6.00 f | 6.33 d | 7.66 cd | 1.33 d | 0.666 d |
| | دو ساله Biennial | 33.3 c | 4.00 bcde | 20.3 d | 10.3 c | 11.6 c | 9.00 c | 5.00 c |
| | سه ساله Three-years old | 53.3 b | 7.33 bc | 33.0 c | 29.0 b | 24.3 ab | 13.0 b | 7.66 b |
| | چهار ساله Four-years old | 80.0 a | 12.0 a | 56.3 a | 47.3 a | 32.6 a | 24.3 a | 15.3 a |
| برگ Leaf | یک ساله Annual | 10.0 d | 1.00 e | 1.00 f | 5.66 d | 1.00 d | 1.66 d | 1.00 d |
| | دو ساله Biennial | 10.0 d | 1.00 e | 1.00 f | 6.00 d | 1.00 d | 2.00 d | 0.666 d |
| | سه ساله Three-years old | 10.0 d | 1.00 e | 1.00 f | 6.00 d | 1.00 d | 1.66 d | 1.00 d |
| | چهار ساله Four-years old | 10.0 d | 1.00 e | 1.00 f | 6.33 d | 1.00 d | 1.33 d | 0.666 d |
| طوقه Crown | یک ساله Annual | 11.6 d | 1.33 e | 2.66 f | 6.00 d | 7.00 cd | 1.66 d | 1.00 d |
| | دو ساله Biennial | 15.0 cd | 3.33 de | 5.33 f | 6.00 d | 12.3 c | 2.00 d | 0.666 d |
| | سه ساله Three-years old | 28.3 cd | 5.33 bcd | 13.0 e | 6.33 d | 23.0 c | 1.00 d | 0.666 d |
| | چهار ساله Four-years old | 28.3 cd | 6.33 bcd | 14.0 e | 7.33 cd | 23.3 c | 1.66 d | 0.666 d |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters in each column were not significantly different based on LSD test at 1% level.

طول غده

غیرپیوندی بطور معنی‌داری بیشتر بود (Ramezan *et al.*, 2018). در تحقیقی دیگر، طی بررسی اثر پیوند بر عملکرد و ویژگی‌های رویشی دو رقم خیار گلخانه‌ای، پیوند دو رقم خیار گلخانه‌ای بر روی پنج پایه کدو مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، مشخص شد که ارتفاع بوته در گیاهان حاصل شده از پایه کدوی برگ انجیری بطور معنی‌داری بیشتر و در تیمار شاهد و گیاهان حاصل شده از پایه کدوی قلیانی، بطور معنی‌داری کمتر از سایر گیاهان بود (Moradi Poor *et al.*, 2010).

تعداد گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک در سطح احتمال یک درصد بر تعداد گل باریجه معنی‌دار بود (جدول ۲). بدین صورت که بیشترین تعداد گل به میزان ۲۴/۳ عدد گل در بوته در پیوند غده و سن پیوندک چهارساله وجود داشت (جدول ۳). پس از این تیمار، دو تیمار پیوند غده در دو سن پیوندک سه و دو ساله، به ترتیب با میزان گل ۱۳ و ۹ عدد گل در بوته در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). در سایر تیمارها تعداد گل، کمتر از ۳ عدد در بوته بود (جدول ۳). هم‌چنین در پیوند غده‌ای با افزایش سن پیوندک، تعداد گل نیز بطور معنی‌داری افزایش یافت؛ اما در تیمار شاهد و در دو نوع دیگر پیوند، سن پیوند تأثیر معنی‌داری بر تعداد گل باریجه نداشت و این تیمارها همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳).

مطالعات علمی حکایت از تأثیر خصوصیات پایه و پیوندک بر روی پیوند صورت گرفته بین این دو قطعه گیاهی دارند و اثبات شده که این دو عامل، در مراحل جوش خوردن پیوند، یک سری از فرایندهای رشد خود را خصوصاً در دوره نونهالی با یکدیگر هماهنگ می‌کنند (Lali Nia and Abbasi, 2011 ; Khoshkhuy, 2014). گیاهان حاصل از کشت بذر قبل از گل دادن دارای یک دوره جوانی هستند. خصوصیات دوره‌ی جوانی، شامل مواردی مثل ظهور برگ‌های متعدد، رشد در حالت بوته‌ای و گاهی اوقات خاردار بودن برگ‌ها می‌باشد. در گیاهان پیوندی نیز دوره‌ی جوانی دیده می‌شود، ولی طول مدت آن خیلی کوتاه‌تر است. در گیاهان پیوند شده، ترمیم و باززایی آوندها، فرآیند پیچیده‌ای است که شامل باززایی بافت پارانشیمی از هر دو جهت (پایه و پیوندک) و تشکیل بافت جدید آوندهای چوبی و آبکش

اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک در سطح احتمال یک درصد بر طول غده باریجه معنی‌دار بود (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین طول غده در پیوندک‌های سه‌ساله و چهارساله در تیمار شاهد و پیوند غده‌ای مشاهده گردید و تنها در این چهار تیمار بود که طول غده به بیش از ۲۴ سانتی‌متر رسید (جدول ۳). بطور کلی در نوع پیوند غده‌ای و هم‌چنین در تیمار شاهد، با افزایش سن پیوندک، طول غده نیز افزایش معنی‌داری پیدا کرد؛ اما در پیوندهای برگ و طوقه که کمترین طول غده را نیز از خود نشان دادند، سن پیوندک تأثیر معنی‌داری بر طول غده نداشت (جدول ۳). در پیوند نوع غده‌ای گیاه باریجه درصد موفقیت‌گیری پیوند بیشتر از سایر تیمارها بود و این موضوع می‌تواند سبب افزایش طول غده در این نوع پیوند گردد. در پژوهشی که بر روی بررسی نوع و زمان پیوند بر رشد پیوندک درخت پسته انجام شد، مشخص گردید که بیشترین رشد طولی پیوندک، در پیوندهای شاخه که در فصل خواب و هم‌چنین در خردادماه زده شده بودند، بدست آمد. در حالی که گیاهان حاصل از پیوندهای انجام شده در ماه‌های تیر و مرداد از رشد طولی بسیار کمتری برخوردار بودند (Khaje Ali and Mohammadkhani, 2015).

ارتفاع ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک بر ارتفاع ساقه باریجه در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). به طوری که بیشترین ارتفاع ساقه در تیمار پیوند غده‌ای در پیوندک چهارساله با ارتفاع ساقه ۴۷/۳ سانتی‌متر مشاهده گردید. پس از این تیمار، تیمار پیوند غده‌ای در دو سن پیوندک سه‌ساله و دوساله به ترتیب با ارتفاع ساقه‌های ۲۹ و ۱۰/۳ سانتی‌متر در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). در سایر تیمارها ارتفاع ساقه حتی به ۱۰ سانتی‌متر هم نرسید (جدول ۳).

بطور کلی در نوع پیوند غده با افزایش سن پیوندک، ارتفاع ساقه نیز افزایش یافت؛ اما در تیمار شاهد و در دو نوع پیوند دیگر، سن پیوندک تأثیری بر ارتفاع ساقه نداشت (جدول ۳). در همین ارتباط در تحقیقی که بر روی بررسی جنبه‌های رشدی هندوانه‌ی پیوندی و غیرپیوندی انجام شد، گزارش گردید که طول شاخه اصلی در هندوانه‌های پیوندی نسبت به هندوانه‌های

گرفتند (جدول ۳). در سایر تیمارها تعداد بذر، کمتر از ۱/۲ عدد در بوته بود (جدول ۳). هم‌چنین در پیوند غده‌ای با افزایش سن پیوندک، تعداد بذر نیز بطور معنی‌داری افزایش یافت؛ اما در تیمار شاهد و در دو نوع دیگر پیوند، سن پیوند تأثیر معنی‌داری بر تعداد بذر باریجه نداشت (جدول ۳).

تعداد بذر کاملاً از صفت تعداد گل در بوته تبعیت کرد و بالاتر بودن تعداد گل در تیمار پیوند غده و پیوندک چهارساله، برتری این تیمار را در صفت تعداد بذر در بوته منطقی جلوه داد. در پژوهشی که بر روی هندوانه انجام شد، مشخص گردید که عملکرد میوه و اندازه آن در گیاهان پیوندی (با کدو) نسبت به گیاهان غیر پیوندی بطور معنی‌داری بیشتر بود (Edelstein *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

موفقیت پیوند به عامل‌های مختلفی مانند نوع پایه، شرایط فیزیولوژیکی پایه، نوع پیوند، منشأ پیوندک، سن و طول پیوندک و سازگاری پایه و پیوندک بستگی دارد. در تحقیق حاضر و در بررسی پیوند گیاه باریجه چون قطر طوقه‌های گیاهان یک تا چهارساله که به عنوان پیوندک بر روی گیاه بالغ پنج‌ساله به عنوان پایه پیوند استفاده شدند، کمتر بود، لذا در پیوند طوقه موفقیت کمتری حاصل شد. در پیوند برگ نیز به علت تماس کمتر پایه و پیوندک، پیوند موفقیت چندانی نداشت. نتایج این آزمایش نشان داد که بهترین روش پیوند در گیاه باریجه، پیوند غده‌ای و بهترین سن پیوندک، انتخاب گیاه چهارساله است.

می‌باشد. با توجه به اینکه استقرار دوباره آوندها به‌ویژه آوندهای چوبی در محل پیوند، فرآیند بسیار مهمی در جهت ادامه حیات پیوندک به شمار می‌آید (Lali Nia and Abbasi, 2011 ; Yildirim *et al.*, 2013). سازگاری بین پایه و پیوندک برای تشکیل واحدهای جدید آوندی در محل پیوند، اهمیت زیادی برای اطمینان از جریان شیره خام دارد (Yildirim *et al.*, 2013). چنان‌چه این فرایندها به درستی انجام نشوند، ممکن است سبب می‌شوند تا حتی در صورت بروز موفقیت اولیه در پیوند، گیاه نتواند به مرحله گل‌دهی برسد. در تحقیق حاضر، تنها در پیوند غده‌ای و در پیوندک‌های چهار و سه‌ساله بود که تعداد گل به بیش از ۱۰ عدد در بوته رسید. به نظر می‌رسد که در این دو تیمار، سازگاری بین پایه و پیوندک و تشکیل واحدهای جدید آوندی در محل پیوند، به خوبی انجام شده و این امر نهایتاً منجر به شکل‌گیری واحدهای زایشی بیشتر و افزایش تعداد گل در بوته شده است.

تعداد بذر

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل نوع پیوند و سن پیوندک در سطح احتمال یک درصد بر تعداد بذر باریجه معنی‌دار بود (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین تعداد بذر به میزان ۱۵/۳ عدد بذر در بوته در پیوند غده و سن پیوندک چهارساله وجود داشت (جدول ۳). پس از این تیمار، دو تیمار پیوند غده در دو سن پیوندک سه و دوساله، به ترتیب با میزان بذر ۷/۶۶ و ۵ عدد بذر در بوته در رتبه‌های بعدی قرار

References

- Ahmadi, K., Ghazanchian, A. and Gholami, B. 2012. The effect of wet cooling bed and benzyl amino-purine hormone on seed dormancy failure of *Ferula gummosa*. 2nd National Conference on Seed Science and Technology, Islamic Azad University, Mashhad Branch. (In Persian).
- Ardakani, M.R. 2021. Ecology. Tehran University Publications. (In Persian).
- Asgarzadeh, M.A., Gholami, B. and Negari, A. 2005. Study of ecological characteristics and the possibility of cultivation of medicinal and industrial plant *Ferula gummosa* in climatic conditions of Mashhad. 4th Congress of Horticultural Sciences, Tehran University. (In Persian).
- Edelstein, M., Cohen, R., Baumkoler, F. and Ben-Hur, M. 2016. Using grafted vegetables to increase tolerance to salt and toxic elements. *Israel Journal of Plant Sciences*, 2016: 1-18.
- Haj Najjari, H., Chashnidel, B., Vahdati, K., Ebrahimi, M. and Aghili, S.O. 2012. Evaluation of morphological markers efficiency in screening of cross combinations progenies during apple juvenile phase. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 13(1): 11-30. (In Persian).

- Khaje Ali, M. and Mohammadkhani, A.** 2015. Effect of time and method of grafting on graft capture and scion growth in Iranian walnut. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 5(15): 47-57. (In Persian).
- Khoshkhuy, M.** 2014. New Principles of Horticulture. Shiraz University Publications. (In Persian).
- Lali Nia, A.A. and Abbasi, J.** 2011. Plant Propagation. Payam Noor University Publications. (In Persian).
- Mir Heydari, H.** 1994. Plant Knowledge. Publications of Islamic Culture Publishing Office. (In Persian).
- Moradi, P., Musavi, F., Ganjkanlu, B., Aghajanlu, A. and Hoseyni Fard, H.** 2016. *Ferula gumosa* Boiss: Medicinal-Industrial Plant. Agricultural Jihad Organization of Zanjan Province. (In Persian).
- Moradi Poor, F., Dashti, F. and Zahedi, B.** 2010. Effect of grafting on yield and some vegetative traits of two greenhouse cucumber cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(3): 291-300. (In Persian).
- Mortezaie Nezhad, F. and Sadeghiyan, M.M.** 2008. Comparison of effective compounds of medicinal plant of *Ferula gumosa* Boiss in three cities of Kashan. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, 3(2): 172-177. (In Persian).
- Mozafariyan, V.** 1996. Dictionary of Iranian Plants. No Bahar Publications. (In Persian).
- Ohta, Y.** 1991. Graft-transformation, the mechanism for graft-induced genetic changes in higher plants, Euphytica. *Netherlands Journal of Plant Breeding*, 55: 91-99.
- Omid Beigi, R.** 2008. Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants (Volume 3). Astan Quds Publications, Mashhad. (In Persian).
- Onay, A., Pirinc, V., Adiyaman, F., Isikalen, C., Tilkat, E. and Basaren, D.** 2004. In vivo and in vitro micrografting of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. 'Siirt'). *Turkish Journal of Biology*, 27: 95-100.
- Onay, A., Tilkat, E., Isikalan, C. and Namli, S.** 2007. Micro-grafting of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Siirt). In Mohan Jane, S. and Häggman, H. (Ed). Protocols for micro-propagation of woody trees and fruits. (pp. 289-298) Springer, Motherland.
- Pinghai, D. and Rongting, X.** 1993. Effect of phenols on survival of walnut grafting. *Acta Horticulturae*, 311: 134-140.
- Polat, A.A. and Ordek, G.O.** 2008. Increasing grafting success rate on walnut. *Acta Horticulturae*, 772: 253-256.
- Ramezan, D., Moradipour, F., Zahedi, B., Sepahvand, K. and Zarabi, M.M.** 2018. Evaluation some aspects of growth, physiological, yield and quality of watermelon Charleston Gray cultivar grafted and un-grafted under salt stress conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(3): 729-741. (In Persian).
- Rezaee, K., Vahdati, K., Grigoorian, V. and Valizadeh, M.** 2008. Walnut grafting success and bleeding rates affected by different grafting methods and seedling vigour. *Journal of Horticultural Sciences and Biotechnology*, 831: 94-99.
- Rongting, X. and Pinghai, D.** 1990. Theory and practice of walnut grafting. *Acta Horticulturae*, 284: 69-88.
- Sefidkan, F.** 2008. Strategic Plan for Medicinal Plants Research. Ministry of Jihad Agriculture, Extension Organization, Agricultural Education and Research, Forests and Rangelands Research Institute. (In Persian).
- Teisseire, P.** 1964. Essential Oil of Galbanum. *Recherché Paris*, 14 (18): 15987 b.
- Vahdati, K.** 2003. Treasury creation and walnut transplantation. Tehran Khaniran Publications. (In Persian).
- Yıldırım, H., Akdemir, H., Süzerer, V., Ozden, Y. and Ahmet Onay, A.** 2013. In vitro micro-grafting of the almond cultivars "TEXAS", "FERRASTAR" and "NONPAREIL". *Agriculture and Environmental Biotechnology*, 27(1): 3493-3501.

The influence of graft type and age on juvenile period of medicinal plant Barijeh in the North Khorasan landrace

Gholamali Valizadeh¹, Reza Baradaran^{2*}, Seyyed Gholamreza Mousavi², Fatemeh Nakhaei³

¹ Ph.D. Student, Department of Horticulture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

² Agronomy and Plant Breeding Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

³ Horticulture Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

*Corresponding Author: R.baradaran@yahoo.com

Received: 8 May 2022

Accepted: 20 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.341368.1234

Abstract

Introduction: Barijeh is a monocarpic perennial plant belonging to the Umbellifers family. It is one of the most valuable native plants of Iran, and its extracts is a significant export item of Iram. The propagation of plants is one of the most essential processes for the plant sustaining life. In situations where plant propagation via seeds is impossible or problematic, asexual propagation techniques, such as transplantation, can be used. Due to the preservation of genetic characteristics and the absence of somaclone diversity in plants, transplanting is an appropriate technique for large-scale plant production. Increasing the growth rate of young seedlings can frequently shorten the seedling period and advance the plant to the fruiting stage. Type of transplant and age at the time of transplant appear to be influential in this regard.

Materials and Methods: This experiment was conducted in the greenhouse and research farm of the Shirvan Branch of Islamic Azad University in 2018-2019 using a randomized complete block design with three replications and two factors in a factorial arrangement. The first factor was the type of grafting performed on the Barijeh, which was examined at four levels: control (no grafting), tuber grafting, leaf grafting, and crown grafting. The second factor was the age of the grafts, which was examined at four levels: annual, biennial, triple, and four-year-old grafts. Mid-May 2018 saw the preparation of basic plants (aged five years) and tested scions from the botanical garden of the North Khorasan Research Center in Bojnourd. End of May of the same year, three types of transplantation were performed on basic plants: tuber, stem, and leaf transplantation. Midwinter saw the transfer of seedlings to the main land, where they began vegetative growth in early March. At the end of May 2019, three months after the transfer of seedlings to the main land, graft yield, stem height, leaf number, leaf inclination, and tuber length were measured. In addition, once the plant entered its reproductive phase (early July), the number of flowers per plant was measured on June 1 and the number of seeds per plant was measured in late June. Data analysis were performed by Mini tab statistical software version 17 and comparison of means were performed using LSD test at a 1% probability level.

Results and Discussion: The results indicated that the interaction effect of graft type and age was significant for all investigated traits. Tubular and four-year-old grafts had the highest graft success, leaf length, and stem height, at 80%, 3.56 cm, and 4.47 cm, respectively. The greatest number of leaves was observed on four-year-old grafts in the control and tuber graft treatments, and only in these two treatments the number of leaves reached more than 11 leaves per plant. The longest tuber length was observed in three-year-old and four-year-old control and tuber graft treatments, and only in these four treatments the tuber length was observed at more than 24 cm.

Conclusion: The success of the grafting is contingent on a number of factors, including the type of base, the physiological condition of the base, the type of graft, the origin of the graft, the age and duration of the graft, and the compatibility of the base and the graft. Because the crown diameters of one- to four-year-old plants used as grafts on five-year-old mature plants as grafting bases were smaller in the present study and in the study of barijeh, crown grafting was less successful. Due to insufficient contact between the rootstock and the graft, leaf grafting was not particularly

successful. This experiment revealed that the optimal transplantation method for barijeh is tuber grafting, while the optimal age for graft selection is a four-year-old plant.

Keywords: Flowering, Growth characteristics, Tuber graft, Tuber length

بررسی تنوع ژنتیکی برای صفات شیمیایی در جمعیت لاین‌های خالص نوترکیب توتون شرقی

پرویز گودرزی مگری^۱، رضا درویش‌زاده^{۲*}، بهرام ملکی زنجانی^۳، مرجان جنت‌دوست^۴

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

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

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

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

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.310590.1143

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۳

چکیده

تخمین تنوع ژنتیکی و آگاهی از روابط خویشاوندی ژنوتیپ‌ها یک عامل مهم در پیشبرد و اجرای برنامه‌های به‌نژادی است و بدون آن اصلاح ژنتیکی مؤثر و مطلوب قابل دستیابی نمی‌باشد. به منظور تخمین تنوع ژنتیکی انواع مختلفی از سیستم‌های نشانگری توسط اصلاح‌گران گیاهی استفاده می‌شوند که از جمله آن‌ها می‌توان به نشانگرهای ریخت‌شناسی، بیوشیمیایی و مولکولی اشاره کرد. در این مطالعه، تنوع ژنتیکی ویژگی‌های شیمیایی در ۵۵ لاین خویش آمیخته نوترکیب حاصل از تلاقی ژنوتیپ‌های SPT406 (والد پدری) و Basma Seres 31 (والد مادری) بررسی شد. از برگ‌های میانی (کمر برگ) هر لاین در هر تکرار تعداد ۲۰ برگ بطور تصادفی انتخاب و درصد عناصر شیمیایی از قبیل کلر، محتوای قند، نیکوتین و محتوای خاکستر به روش پیشنهادی CORESTA تعیین گردید. تجزیه واریانس نشان داد که بین لاین‌های مورد بررسی در رابطه با تجمع کلر در برگ و مقدار نیکوتین اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد. تجزیه همبستگی نشان داد همبستگی منفی و معنی‌دار بین صفات قند و نیکوتین و همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات قند و خاکستر وجود دارد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که تعداد سه مؤلفه از چهار مؤلفه اصلی بیشترین نقش را در تبیین تنوع موجود در بین افراد دارند. همه صفات بغیر از صفت تجمع کلر در برگ همبستگی منفی با مؤلفه اول نشان دادند. در تجزیه خوشه‌ای به روش وارد، جمعیت مورد مطالعه در چهار گروه مجزا گروه‌بندی شدند. نتایج مقایسه میانگین صفات در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از آزمون SNK در سطح احتمال یک درصد نشان داد که افرادی که در گروه یک قرار دارند از نظر اکثر صفات مورد مطالعه دارای مقادیر بیشتر هستند. بر اساس پژوهش اخیر، تنوع ژنتیکی گسترده‌ای برای صفات محتوای نیکوتین و کلر در جمعیت مورد بررسی مشاهده شد که می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی توتون شرقی مورد استفاده قرار گیرد. تولید واریته‌های مطلوب با کاهش متوسط هزینه‌های تولید درآمد کشاورزان را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه همبستگی، محتوای نیکوتین و کلر

مقدمه

(2004). *N. tabacum* از طریق هیبریداسیون بین‌گونه‌ای^۲ بین *N. sylvestris* ($2n = 24$) به عنوان والد مادری^۳ و *N. tomentosiformis* ($2n = 24$) به عنوان والد پدری^۴ بدست آمده است (Leitch et al., 2008; Yaldiz et al., 2018). توتون شرقی مستعد کشت در آب و هوای خشک بوده و به مدت دو تا سه ماه پس از کاشت تا رسیدن و برداشت برگ، به شرایط آب و

توتون با نام علمی *Nicotiana tabacum* L. گیاهی یک-ساله و آلتوتراپلوئید ($2n=4x=48$) از خانواده سولاناسه^۱ (Goodarzi Mokri et al., 2016) بوده و به طور گسترده به عنوان یک گیاه مدل در زیست‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xie et al., 2016). جنس *Nicotiana* از آمریکای جنوبی سرچشمه گرفته و شامل ۷۶ گونه دیپلوئید و پلی‌پلوئید است (Edrisi Maryan et al., 2012; Knapp et al., 2012).

2. Interspecific hybridization

3. Maternal line

4. Paternal line

1. Solanaceae

مؤثر در قابلیت سوزش و ایجاد طعم ذائقه‌پسند و مطبوع توتون درصد تجمع عناصری مانند کلر و هم‌چنین موادی مانند نیکوتین و قند می‌باشد (Tso, 1990). مقدار آستانه کلرید در برگ توتون خوب و قابل قبول معمولاً زیر ۱/۵ درصد است (Chari, 1995; Darvishzadeh *et al.*, 2011)، مقادیر بیش از دو درصد خاصیت سوزش توتون را مهار می‌کند (Akehurst, 1981; Juan and del Castillo, 1986; Guardiola *et al.*, 1987; King, 1990; Darvishzadeh *et al.*, 2011).

هدف بسیاری از مطالعات، تعیین شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود و تشخیص تنوع موجود در بین افراد یک جمعیت مورد بررسی می‌باشد. تنوع موجود در جمعیت را می‌توان به دو نوع تنوع محیطی و تنوع ژنتیکی تقسیم نمود که در این میان فقط تنوع ژنتیکی قابلیت انتقال به نسل‌های بعدی را دارد و برای به‌نژادگران قابل توجه می‌باشد. تنوع ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی برای انتخاب والدین مناسب جهت بدست آوردن هیبریدهای قوی مهم است (Ahmadikhah *et al.*, 2007; Edrisi Maryan *et al.*, 2012). وراثت‌پذیری صفت مورد مطالعه، برای برنامه‌های به‌نژادی مهم می‌باشد (Pirkhezri *et al.*, 2008; Darvishzadeh *et al.*, 2017). بدلیل استفاده از سیستم‌های کشاورزی مدرن که به وارپته‌های با عملکرد بالا و یکسان از نظر ژنتیکی توجه دارد، تنوع ژنی گیاهان زراعی به طور کلی نسبت به اجداد وحشی آن‌ها کاهش یافته است. از طرف دیگر، تنوع ژنتیکی برای بدست آوردن ارقام جدید با عملکرد بالاتر، کیفیت بهتر و سازگاری کارآمدتر با تنش‌های زیستی و غیرزیستی ضروری است (Laurentin, 2009; Basirnia *et al.*, 2016).

تخمین تنوع ژنتیکی و آگاهی از روابط خویشاوندی ژنوتیپ‌ها یک عامل مهم در پیشبرد و اجرای برنامه‌های به‌نژادی است و بدون آن اصلاح ژنتیکی مؤثر و مطلوب قابل دستیابی نمی‌باشد. به منظور تخمین تنوع ژنتیکی انواع مختلفی از سیستم‌های نشانگری توسط اصلاح‌گران گیاهی استفاده می‌شوند که از جمله آن‌ها می‌توان به نشانگرهای ریخت‌شناسی، بیوشیمیایی و مولکولی اشاره کرد. در مورد استفاده از نشانگرهای ریختی به خصوص صفات شیمیایی در ارزیابی تنوع ژنتیکی در جنس *Nicotiana* گزارش‌های کمی وجود دارد؛ حال آن‌که مطالعات فراوانی جهت بررسی تنوع ژنتیکی با استفاده از

هوای خشک نیاز دارد (Nurhidayati *et al.*, 2017). این گیاه بواسطه داشتن نیکوتین در ساخت آفت‌کش‌های آلی و نیز در ساخت برخی داروها بکار می‌رود، اما مصرف عمده آن در صنعت دخانیات است. توتون هم‌چنین یکی از مهم‌ترین گیاهان برای زراعت مولکولی است و برای تولید مواد مهم تجاری از جمله داروها و واکنس‌ها بسیار امیدوارکننده است (Gadani *et al.*, 1995; Brandle and Bai, 1999; Davaliev *et al.*, 2010).

تنوع ژنتیکی که در حال حاضر در *N. tabacum* وجود دارد به احتمال زیاد توسط چندین تنگنای ژنتیکی^۱ تحت تأثیر قرار گرفته است (Lewis and Nicholson, 2007). محصول‌دهی، عملکرد سیگار^۲ و همگنی^۳ عناصر در برگ توتون صفات دارای اهمیت اقتصادی بوده و بر اساس نتایج تجزیه‌های ژنتیکی متأثر از تعداد زیادی ژن هستند (Masheva, 2014). ژنوتیپ نقش مهمی در بیان صفات اقتصادی در توتون‌های بارلی^۴ و شرقی ایفا می‌کند (Taskova *et al.*, 2005; Dyulgerski and Kirkova, 2013; Masheva, 2014). برخی از ژن‌های کنترل‌کننده صفات با توجه به بیان فنوتیپی آن‌ها پابدار هستند، درحالی‌که برخی دیگر میزان زیادی تنوع نشان می‌دهند (Masheva, 2014). از آنجایی‌که بیشتر صفات توتون ماهیت کمی دارند، تخمین نحوه وراثت به درک و دستکاری بهتر آن‌ها کمک می‌کند (Butorac *et al.*, 2004; Masheva, 2014).

ژنوتیپ‌های توتون بر اساس تیپ رشدی، به سه گروه شرقی، نیمه‌شرقی و غربی تقسیم می‌شوند. مشخصات بارز توتون‌های شرقی که آن‌ها را از گروه‌های دیگر مجزا می‌نماید، عطر نافذ، برگ‌های ظریف و دود ملایم است (Goodarzi Mokri *et al.*, 2016; Darvishzadeh *et al.*, 2017). توتون‌های شرقی عموماً در مقابل کم‌آبی تحمل داشته و روی تپه‌ها و زمین‌های شیب‌دار به خوبی رشد می‌کنند. از نظر نحوه عمل‌آوری، آفتاب‌خشک بوده ولی در شرایطی که ساعات آفتابی در طول روز کافی نباشد (شمال کشور)، از روش گرم‌خانه‌ای استفاده می‌شود (Chaplin, 1975). شمال‌غرب ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، یکی از مناطق مطلوب برای کشت توتون‌های شرقی است. از عوامل

1. Genetic bottleneck
2. Cigarette yield
3. Homogeneity
4. Burley

۷۷۰۰۰ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد. میزان بارندگی سالیانه محل اجرای آزمایش بر مبنای میانگین ده‌ساله ۳۳۶ میلی‌لیتر، درجه حرارت سالانه ۱۲ درجه سلسیوس و متوسط دمای تابستانه و زمستانه به ترتیب ۲۲/۱ و ۰/۵- درجه سلسیوس می‌باشد. Basma Seres 31 از واریته‌های گروه باسما توتون‌های شرقی است. این واریته در سطح وسیعی در استان آذربایجان غربی کشت می‌شود. به دلیل تجمع دادن کلرید به میزان زیاد در برگ اخیراً کشت نمی‌شود. SPT 406 از واریته‌های گروه چُپُ توتون‌های شرقی است. این واریته از جمعیت‌های چپ بومی استان آذربایجان غربی به روش گزینش لاین‌های خالص توسعه یافته است. در بررسی تنوع ژنتیکی برای تجمع کلرید در برگ مشخص گردید میزان تجمع کلرید پایینی دارد (Darvishzadeh et al., 2011). در مقایسه با واریته‌های تیپ باسما قد کوتاه بوده و عملکرد پایینی دارد (Hatami et al., 2012). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

عملیات تهیه زمین زراعی شامل شخم عمیق پاییزه و شخم نسبتاً عمیق عمود بر شخم پاییزه در بهار بود. سپس دو بار دیسک عمود بر هم زده شد. نشاءها بعد از رسیدن گیاهچه‌ها به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر به زمین اصلی منتقل شدند. مبارزه با علف‌های هرز و خاک دادن پای بوته‌ها و سله‌شکنی با دست صورت گرفت. آبیاری مزرعه پس از تخلیه ۸۰ درصد آب قابل دسترس خاک انجام می‌گرفت (Salehzadeh et al., 2009). برخلاف توتون‌های ویرجینیا و بارلی که عملیات سرزنی رایج است این عمل در توتون‌های شرقی انجام نگرفت. چیدن برگ‌ها بعد از رسیدگی صنعتی در سه مرحله (پابرگ، کمر برگ و لچه برگ) انجام گرفت و سپس برگ‌های چیده شده در مقابل آفتاب (که ویژه توتون‌های شرقی است) خشک شدند. از برگ‌های میانی (کمر برگ) هر لاین در هر تکرار تعداد ۲۰ برگ بطور تصادفی انتخاب و درصد عناصر شیمیایی از قبیل کلر، محتوای قند، نیکوتین و محتوای خاکستر به روش پیشنهادی CORESTA^۵ (CORESTA, 1994) تعیین گردید.

نشانگرهای مولکولی انجام گرفته است. در تعیین و بررسی تنوع ژنتیکی، روش‌های آماری چند متغیره ابزاری مفید در اختیار به‌نژادگران می‌باشند. در مطالعه‌ای تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسم توتون شرقی موجود در بانک ژن مرکز تحقیقات توتون ارومیه با استفاده از صفات مورفولوژیک مورد ارزیابی قرار گرفت (Hatami et al., 2012). در این مطالعه بر اساس اندازه‌گیری هشت صفت مورفولوژیک، ژنوتیپ‌های توتون مورد مطالعه در چهار گروه مجزا قرار گرفتند. در مطالعه‌ای میزان تجمع کلر در برگ ۱۰۰ ژنوتیپ توتون شرقی و نیمه‌شرقی مورد ارزیابی قرار گرفت (Darvishzadeh et al., 2011). در این مطالعه تنوع گسترده‌ای بین ژنوتیپ‌ها برای جذب و تجمع کلر در برگ مشاهده شد. در مطالعه‌ای ژنتیک تجمع کلرید در برگ توتون‌های شرقی با استفاده از تجزیه‌های دی‌آلل بررسی شد (Darvishzadeh and Alavi, 2011). نتایج مطالعه نشان داد که قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی^۱ و خصوصی^۲ برای تجمع کلرید در برگ توتون معنی‌دار می‌باشند که حاکی از نقش هر دو اثر افزایشی^۳ و غالبیت^۴ ژن‌ها در کنترل صفت می‌باشد. با توجه به این توضیحات، هدف از این مطالعه، بررسی تنوع ژنتیکی در جمعیت لاین‌های خالص نوترکیب برای ویژگی‌های شیمیایی از قبیل درصد تجمع کلر در برگ، نیکوتین، قند و خاکستر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

تعداد ۵۵ لاین خالص نوترکیب (جمعیت F_2) حاصل از تلاقی دو ژنوتیپ والدی Basma Seres 31 (والد مادری) و SPT 406 (والد پدری) (Darvishzadeh et al., 2017) در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات توتون ارومیه با طول جغرافیایی ۴۴/۵۸ درجه و عرض ۳۷/۳۴ درجه با ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. هر کرت شامل سه خط به طول پنج متر و فاصله خط‌ها از هم ۶۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر (تراکم حدود

1. General combining ability (GCA)
2. Specific combining ability (SCA)
3. Additive
4. Dominant

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (مرکز تحقیقات توتون ارومیه)

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil at the experiment place (Urmia Tobacco Research Center)

| مقدار | ویژگی خاک | مقدار | ویژگی خاک |
|--------|---|--------|---|
| Amount | Soil properties | Amount | Soil properties |
| 0.73 | کربن ارگانیک Organic carbon (%) | 7.6 | pH |
| 49.9 | درصد اشباع Saturation percentage (%) | 0.6 | هدایت الکتریکی Electrical conductivity $EC \times 10^{-3}$ (ds m ⁻¹) |
| 11.84 | کربنات کلسیم Calcium carbonate (%) | 39.3 | فسفر Phosphorus (mg Kg ⁻¹) |
| 3.57 | بی کربنات Bicarbonate (%) | 565 | پتاسیم Potassium (mg Kg ⁻¹) |
| 16 | شن Sand (%) | 0.11 | نیتروژن کل Total nitrogen (%) |
| 44 | لوم Loam (%) | 1.87 | منگنز Manganese (milimol of charge per liter) |
| 40 | رس Clay (%) | 1.89 | کلسیم Calcium (milimol of charge per liter) |
| | | 0.8 | کلر Chlorine (milimol of charge per liter) |

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی و همبستگی صفات

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین لاین‌های خالص نوترکیب توتون از لحاظ میزان تجمع کلر در برگ و نیکوتین اختلاف آماری معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). توزیع فراوانی و آماره‌های توصیفی برای صفات مورد مطالعه شامل مقادیر حداقل و حداکثر، میانگین و انحراف معیار به همراه ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی و وراثت‌پذیری هر یک از صفات در شکل ۱ و جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی در صفت نیکوتین و کمترین تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی در صفت خاکستر مشاهده شد. بیشترین و کمترین وراثت‌پذیری به ترتیب در صفات نیکوتین و خاکستر مشاهده شد (جدول ۲). در مطالعه‌ای، تفاوت معنی‌داری در بین ژنوتیپ‌های توتون شرقی برای تجمع کلرید در برگ مشاهده شد که نشان می‌دهد تجمع کلرید در برگ ژنتیکی کنترل می‌شود (Darvishzadeh *et al.*, 2011). هم‌چنین تنوع ژنتیکی برای صفات تجمع کلرید و نیکوتین در توتون توسط محققان دیگر (Chaplin, 1975) نیز گزارش شده است. در میان مواد مغذی معدنی، کلر به عنوان یک ریزمغذی اساسی در کشت توتون شناخته می‌شود. با این حال، مقدار بیشتر کلرید تأثیرات منفی بر کیفیت توتون دارد؛ به طوری که میزان کلرید موجود در برگ‌های توتون به عنوان یک

تجزیه‌های آماری

شناسایی داده‌های پرت و آزمون نرمال بودن توزیع اشتباهات آزمایشی مطابق روش شاپیرو و ویلک (Shapiro and Wilk, 1965) در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات شیمیایی مطابق با مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نرم‌افزار SAS انجام شد. آزمون نرمال بودن توزیع اشتباهات آزمایشی نشان داد که در رابطه با صفت تجمع کلر در برگ توزیع اشتباهات آزمایشی نرمال نیست. به منظور نرمال نمودن توزیع اشتباهات از گزینه Normal score در نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۸ استفاده شد. آماره‌های توصیفی و نمودارهای توزیع فراوانی صفات مورد مطالعه با نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۴ محاسبه و رسم شدند. گروه‌بندی لاین‌های توتون بر اساس روش‌های آماری چند متغییره از قبیل تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در نرم‌افزار Minitab انجام گرفت. تجزیه خوشه‌ای پس از استاندارد کردن داده‌ها به روش حداقل واریانس وارد^۱ و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس ضرایب همبستگی صفات انجام گرفت. مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ به روش SNK انجام گرفت.

1. Ward's method

عامل اصلی در تعیین کیفیت توتون در نظر گرفته می‌شود (Darvishzadeh *et al.*, 2011). در پژوهش دیگری، در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام مختلف توتون با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره، بیشترین و کمترین ضریب تغییرات ژنوتیپی به ترتیب در درصد قند و درصد نیکوتین مشاهده شد (Hosseinzadeh Fashalami *et al.*, 2015). هم‌چنین در بررسی ایشان بیشترین مقدار وراثت‌پذیری در صفت درصد خاکستر کل و کمترین مقدار در صفات درصد ازت پروتئینی و درصد فسفر مشاهده گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس برای ویژگی‌های شیمیایی در لاین‌های خالص نوترکیب توتون شرقی

Table 2- Analysis of variance for chemical traits in recombinant inbred lines of oriental tobacco

| منابع تغییرات Sources of variation | درجه آزادی Degree of freedom | میانگین مربعات Mean squares | | | درجه آزادی Degree of freedom | میانگین مربعات Mean squares |
|--|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | نیکوتین Nicotine | قند Sugar | خاکستر Ash | | |
| تکرار Replication | 2 | 2.01** | 23.04** | 2.28* | 2 | 0.0003 ^{ns} |
| لاین Line | 54 | 0.48** | 1.55 ^{ns} | 0.34 ^{ns} | 54 | 0.012** |
| خطا Error | 89 | 0.11 | 1.68 | 0.30 | 104 | 0.005 |
| ضریب تغییرات Coefficient of variation | - | 21.46 | 25 | 2.89 | - | 10.55 |

جدول ۳- آماره‌های توصیفی برای ویژگی‌های شیمیایی در لاین‌های خالص نوترکیب توتون شرقی

Table 3- Descriptive statistics for chemical characteristics in recombinant inbred lines of oriental tobacco

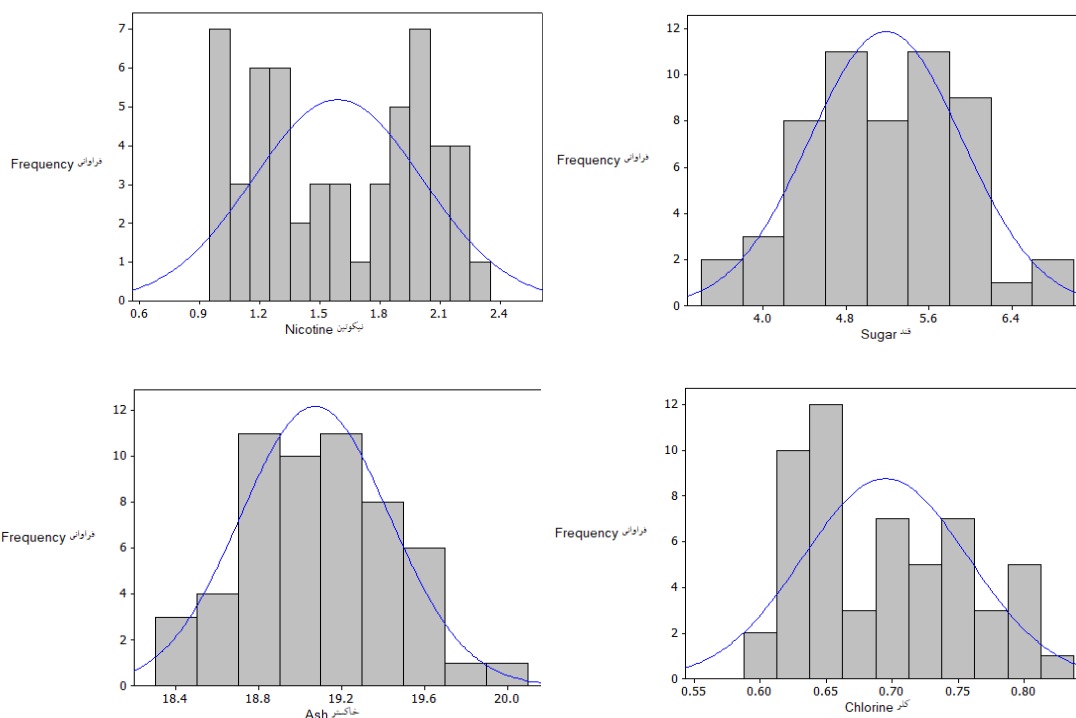
| صفات Traits | میانگین Mean | مقدار کمینه Minimum value | مقدار بیشینه Maximum value | انحراف معیار Standard deviation | چارک اول The first quartile | چارک سوم The third quartile | ضریب تغییرات ژنوتیپی Coefficient of genotypic variation | ضریب تغییرات فنوتیپی Coefficient of phenotypic variation | وراثت‌پذیری عمومی Broad sense heritability |
|---------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|---|
| نیکوتین Nicotine | 1.59 | 0.95 | 2.32 | 0.42 | 1.18 | 2.01 | 22.14 | 30.42 | 0.53 |
| قند Sugar | 5.23 | 3.48 | 6.79 | 0.68 | 4.67 | 5.74 | - | - | - |
| خاکستر Ash | 19.07 | 18.4 | 19.95 | 0.36 | 18.80 | 19.33 | 0.60 | 2.93 | 0.04 |
| کلر Chlorine | 0.87 | 0.38 | 1.93 | 0.47 | 0.47 | 1.33 | 5.14 | 9.62 | 0.29 |

همبستگی باید جانب احتیاط را در نظر گرفت چرا که همبستگی به‌تنهایی نمی‌تواند رابطه بین دو متغیر را توجیه نماید چون ممکن است دو متغیر تحت تأثیر متغیرهای دیگری نیز قرار گرفته باشند (Singh *et al.*, 1988). از نتایج همبستگی بین صفات می‌توان جهت اصلاح صفات همبسته بطور هم‌زمان استفاده نمود. همبستگی بین صفات شیمیایی در توتون در

همبستگی صفات در جدول ۴ ارائه شده است. همبستگی منفی و معنی‌دار بین صفات میزان قند و نیکوتین و همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات میزان قند و خاکستر مشاهده شد. همبستگی معنی‌دار می‌تواند به دلیل وجود رابطه نزدیک بین ژن‌های کنترل‌کننده صفات یا به علت اثرات پلیوتروپی ژن‌ها باشد (Hooshyardel *et al.*, 2015). البته در استفاده از نتایج

مطالعه روابط میان عملکرد و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های توتون، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد برگ خشک با صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول برگ، عرض برگ و ضریب سطح برگ و همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد برگ خشک با صفاتی از قبیل شاخص شکل برگ، دوره گل‌دهی گزارش گردید (Mansour Ghanaei et al., 2010).

مطالعات قبلی نیز گزارش شده است (Chaplin, 1975; Hosseinzadeh Fashalami et al., 2008). در بررسی دیگری در توتون، بین وزن سبز با صفات ضریب سطح برگ، طول و عرض برگ و عملکرد، بین روزهای تا گل‌دهی و ضریب سطح برگ همبستگی معنی‌دار مثبت بسیار قوی و بین درصد قند و خاکستر کل همبستگی معنی‌دار منفی بسیار قوی مشاهده گردید (Hosseinzadeh Fashalami et al., 2008).



شکل ۱- هیستوگرام توزیع فراوانی برای ویژگی‌های شیمیایی در لاین‌های خالص نوترکیب توتون شرقی

Figure 1- Frequency distribution of chemical traits in recombinant inbred lines of oriental tobacco

جدول ۴- همبستگی بین ویژگی‌های شیمیایی مورد مطالعه و فاصله خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در لاین‌های خالص نوترکیب توتون شرقی

Table 4- Correlation between chemical traits studied and the distance of clusters resulting from cluster analysis in recombinant inbred lines of oriental tobacco

| تجزیه همبستگی صفات مورد مطالعه Correlation analysis of the studied traits | | | | | فاصله خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای Distance between clusters resulting from cluster analysis | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|---|-------------------|
| | نیکوتین Nicotine | قند Sugar | خاکستر Ash | کلر Chlorine | گروه‌ها Groups | فاصله Distance |
| نیکوتین Nicotine | 1 | | | | Cluster 1 : Cluster 2 | 2.64 |
| قند Sugar | -0.332* | 1 | | | Cluster 1 : Cluster 3 | 2.52 |
| خاکستر Ash | 0.246 ^{ns} | 0.271* | 1 | | Cluster 1 : Cluster 4 | 2.65 |
| کلر Chlorine | -0.219 ^{ns} | -0.074 ^{ns} | -0.194 ^{ns} | 1 | Cluster 2 : Cluster 3 | 1.82 |
| | | | | | Cluster 2 : Cluster 4 | 2.04 |
| | | | | | Cluster 3 : Cluster 4 | 2.57 |

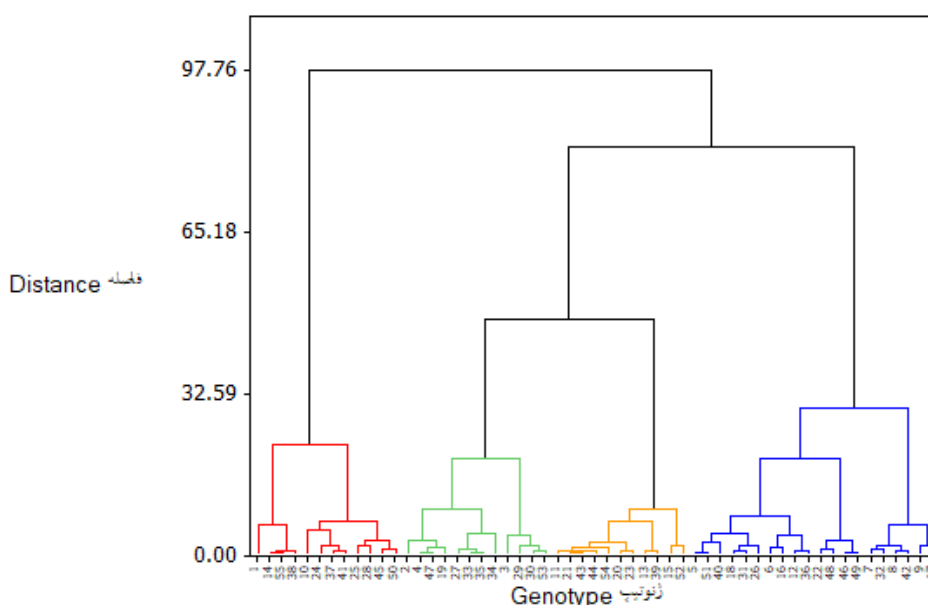
تجزیه خوشه‌ای

در تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس وارد جمعیت لاین‌های مورد بررسی از لحاظ صفات شیمیایی به چهار گروه مجزا تقسیم شدند. تعداد ۱۲ لاین در خوشه اول، ۱۲ لاین در خوشه دوم، ۲۰ لاین در خوشه سوم و ۱۱ لاین در خوشه چهارم قرار گرفتند (شکل ۲). کمترین فاصله بین خوشه‌های ۲ و ۳ برابر ۱/۸۲ مشاهده شد (جدول ۴).

در مطالعه‌ای در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام مختلف توتون با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره، با روش حداقل واریانس وارد، ارقام مورد مطالعه در هفت گروه مختلف طبقه‌بندی گردیدند (Hosseinzadeh Fashalami *et al.*, 2015). در پژوهش دیگری، در ارزیابی تنوع ژنتیکی انواع مختلف توتون با نشانگرهای مولکولی IRAP و REMAP، ۴۵ ژنوتیپ مورد مطالعه با تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA، در پنج گروه تقسیم‌بندی گردیدند (Hassani Tesie *et al.*, 2015).

تجزیه خوشه‌ای از روش‌های آماری چند متغیره می‌باشد که برای اندازه‌گیری و تعیین فواصل ژنتیکی افراد استفاده

می‌شود. در اصلاح نباتات در مواردی مانند تولید بذور هیبرید که بر پایه پدیده هتروزیس می‌باشد (Stuber, 1994; Singh *et al.*, 1988) و یا در مطالعات مکان‌یابی ژن‌های کنترل‌کننده صفات کمی که نیاز به ایجاد جمعیتی با حداکثر تفرق هست؛ انتخاب والدین دور نقش مهمی در موفقیت پروژه‌ها دارد. مشخص شده است که هیبریدهای حاصل از تلاقی‌های بین والدین با روابط ژنتیکی کمتر و فاصله ژنتیکی بیشتر، معمولاً قدرت بیشتری نسبت به هیبریدهای حاصل از والدین با روابط ژنتیکی نزدیک‌تر از خود نشان می‌دهند (Hallaur and Miranda, 1988; Stuber, 1994). معمولاً به علت وجود تعداد زیادی ژنوتیپ در بانک‌های ژن گیاهی، ایجاد تلاقی و بررسی نتایج آن‌ها پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد، ولی با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای می‌توان بدون صرف زمان و هزینه بالا آن‌ها را طبقه‌بندی نموده و از بهترین لاین‌های موجود در گروه‌های با فاصله دور حاصل از تجزیه خوشه‌ای جهت انتخاب والدین مناسب استفاده کرد.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌های خالص نوترکیب توتون شرقی بر اساس ویژگی‌های شیمیایی به روش وارد

Figure 2- Dendrogram obtained from clusters analysis in recombinant inbred lines of oriental tobacco based on chemical traits by Ward method

صفات مورد مطالعه دارای مقادیر بیشتر هستند (جدول ۵). افراد گروه سوم تجمع نیکوتین و خاکستر کمتر و قند بالا داشتند. افراد گروه اول و چهارم تجمع کلر کمتر نشان دادند. در مطالعات

نتایج مقایسه میانگین صفات در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها با آزمون SNK در سطح احتمال یک درصد نشان داد که افرادی که در گروه اول قرار دارند از نظر اکثر

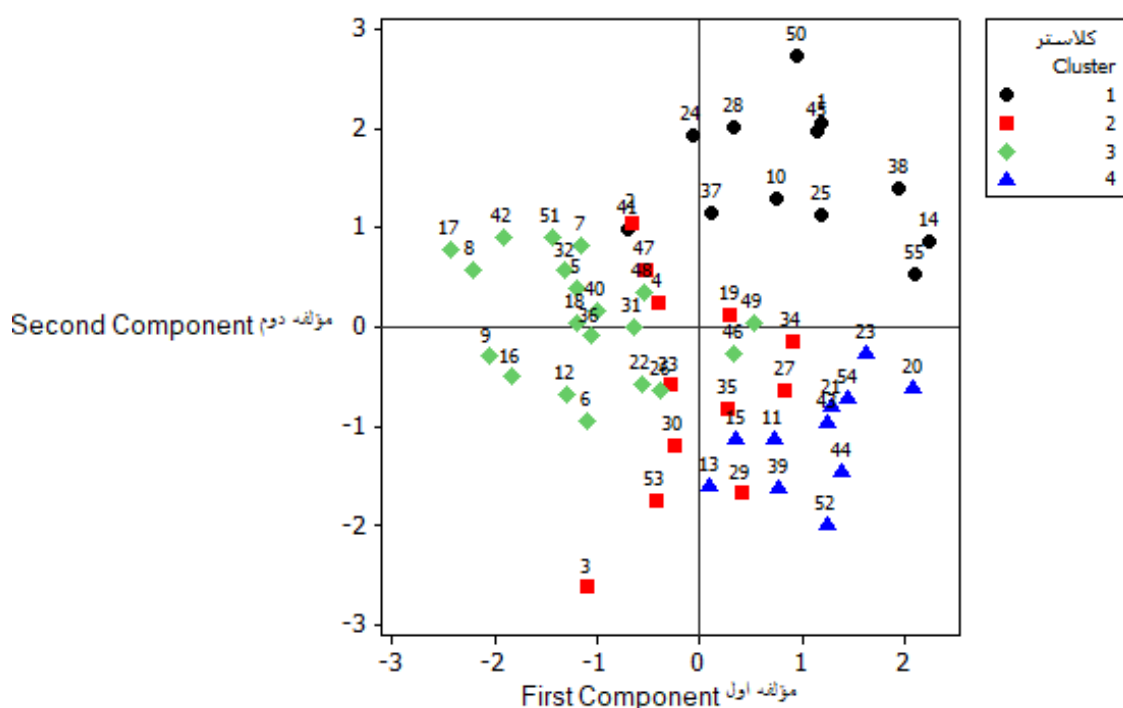
تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده نمودند (Castano *et al.*, 1990).

مشابه، به منظور ارزیابی وارثه‌های مختلف توتون از نظر صفات شیمیایی از قبیل درصد قند، نیکوتین، ازت، بازهای فرار، عصاره اتر پترولیوم، خاکستر، کلر و pH از روش‌های آماری چند متغیره؛

جدول ۵- مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌های خالص نو ترکیب توتون شرقی

Table 5- Comparison of the mean groups obtained from the cluster analysis of in recombinant inbred lines of oriental tobacco

| گروه | تعداد ژنوتیپ | نیکوتین | قند | خاکستر | کلر |
|-------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Group | Number of genotypes | Nicotine | Sugar | Ash | Chlorine |
| 1 | 12 | 1.46 ^b | 6.03 ^a | 19.47 ^a | 0.65 ^c |
| 2 | 12 | 1.82 ^a | 4.85 ^c | 19.16 ^b | 0.76 ^a |
| 3 | 20 | 1.30 ^b | 5.26 ^b | 18.77 ^c | 0.72 ^b |
| 4 | 11 | 2.01 ^a | 4.50 ^c | 19.09 ^b | 0.63 ^c |



شکل ۳- پلات دو بعدی بر اساس دو مؤلفه حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر اساس ویژگی‌های شیمیایی در لاین‌های خالص نو ترکیب توتون شرقی
Figure 3- Two-dimensional plot based on two components resulting from principal component analysis based on chemical traits in recombinant inbred lines of oriental tobacco

که روش UPGMA ژنوتیپ‌ها را با دقت ۱۰۰ درصد از هم جدا کرده است.

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تعداد سه مؤلفه از چهار مؤلفه اصلی بیش از ۹۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کنند و این سه مؤلفه بیشترین نقش را در تبیین تنوع بین افراد دارند. همه صفات به جز صفت کلر همبستگی منفی با اولین مؤلفه اصلی که به تنهایی ۳۶ درصد تغییرات را توجیه می‌کند نشان دادند. مؤلفه دوم ۳۴ درصد و

در مطالعه دیگر، به منظور ارزیابی ۶۴ رقم توتون از نظر مقاومت به بیماری فیتوفترا از تجزیه خوشه‌ای استفاده کرده و آن‌ها را طبقه‌بندی کردند (Csinos *et al.*, 1984). در مطالعه‌ای، ژنوتیپ‌های توتون بر اساس صفات مورفولوژیکی مورد بررسی با تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA به پنج گروه تقسیم شدند (Edrisi Maryan *et al.*, 2012). نتایج تجزیه تابع تشخیص کانونیک^۱ با استفاده از تابع خطی فیشر نشان داد

1. Canonical discriminate function analysis

در برنامه‌های به‌نژادی توتون شرقی مورد استفاده قرار گیرد. همبستگی منفی بین صفات نیکوتین و قند و مثبت بین قند و خاکستر مشاهده شد. از این می‌توان برای اصلاح صفات همبسته استفاده نمود؛ زیرا افزایش یا کاهش ارزش یک صفت موجب افزایش یا کاهش صفات همبسته با آن صفت می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای افراد جمعیت مورد مطالعه در ۴ گروه مجزا قرار گرفتند که می‌تواند در انتخاب والدین به محققین کمک نماید، چرا که نتایج حاصل از تلاقی والدین دور؛ هتروزیس و تنوع بیشتری نشان می‌دهند.

مؤلفه سوم ۲۰ درصد از تغییرات را توجیه می‌نمایند. برای نشان دادن قابلیت تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در متمایز نمودن ژنوتیپ‌ها از یکدیگر، پلات دو بعدی بر اساس دو مؤلفه اول رسم گردید (شکل ۳) که در آن ۴ گروه متمایز قابل تشخیص بودند. گروه‌بندی بر اساس پلات دوبعدی با گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای مطابقت نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس پژوهش اخیر، تنوع ژنتیکی گسترده‌ای برای صفات نیکوتین و کلر در جمعیت مورد بررسی مشاهده شد که می‌تواند

References

- Ahmadikhah, A., Karlov, G.I., Nematzadeh, G. and Ghasemi Bezdi, K. 2007. Inheritance of the fertility restoration and genotyping of rice lines at the restoring fertility (RF) loci using molecular markers. *International Journal of Plant Production*, 1(1): 13-21.
- Akehurst, B.C. 1981. Tobacco. 2nd ed. Tropical Agricultural Series. New York: Longman Inc.p. 164.
- Basirnia, A., Darvishzadeh, R. and Abdollahi Mandoulakani, B. 2016. Retrotransposon insertional polymorphism in sunflower (*Helianthus annuus* L.) lines revealed by IRAP and REMAP markers. *Plant Biosystems*, 150(4): 641-652.
- Butorac, J., Beljo, J. and Gunjača, J. 2004. Study of inheritance of some agronomic and morphological traits in burley tobacco by graphic analysis of diallel cross. *Plant, Soil and Environment*, 50(4): 162-167.
- Brandle, J. and Bai, D. 1999. Biotechnology: uses and applications in tobacco improvement. In Tobacco: Production, Chemistry and Technology; Davis, N., Ed.; Wiley-Blackwell: Oxford, UK, 49-65.
- Castano, J.I., Vargas, L.R. and Palacio, F.J. 1990. Evaluation of tobacco grading systems by multivariate analysis of their chemical quality parameters. *Bul. Spes. Coresta. Symposium kallithea*.98.
- Chaplin, J.F. 1975. Genetic influence on chemical constituents of tobacco leaf and smoke. *Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research*, 8(4): 233-240.
- Chari, M.S. 1995. Role of research in the improvement of productivity and quality of Indian flue-cured Virginia tobacco. Rajahmundry, India: Central Tobacco Research Institute. 26 pp.
- Cooperation Center for Scientific Research Relative to Tobacco (CORESTA). 1994. CORESTA recommended method no 35. Determining of total alkaloid (as nicotine) in tobacco by continuous flow analysis. Accessed from the website: <http://www.coresta.org/Recommended Method/CRM 35>.
- Csinos, A.S., Fortnum, B.A., Powell, N.T., Reilly, J.J. and Shew, H.D. 1984. Resistance of and candidate cultivars to *Phytophthora parasitica* var. *nicotiana*. *Tobacco Science*, 28: 153-155.
- Darvishzadeh, R. and Alavi, R. 2011. Genetic analysis of chlorophyll concentration in oriental tobacco genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, 34: 1070-1078.
- Darvishzadeh, R., Alavi, S.R. and Sarrafi A. 2011. Genetic Variability for chlorine concentration in oriental tobacco genotypes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(2): 167-177.
- Darvishzadeh, R., Mousavi Andazghi, M.J., Fayyaz Moghaddam, A., Abbassi Holasou, H. and Alavi, S.R. 2017. Genetic analysis of morphological traits in oriental tobacco (*Nicotina tabacum* L.) by using generation mean analysis. *Plant Genetic Researches*, 3(2): 11-24.

- Davalieva, K., Maleva, I., Filiposki, K., Spiroski, O. and Efremov, G.D. 2010. Genetic variability of macedonian tobacco varieties determined by microsatellite marker analysis. *Diversity*, 2: 439-449.
- Dyulgerski, Y. and Kirkova, S. 2013. Impact of weather conditions on economical and quality indices of burley tobacco varieties. *Journal of Balkan Ecology*, 16(3): 281-287.
- Edrisi Maryan, K., Samizadeh Lahiji, H. and Shoaie Deylami, M. 2012. Assessing the genetic diversity of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties. *Crop Breeding Journal*, 2(2): 125-132.
- Gadani, F., Ayers, D. and Hempfling, W. 1995. Tobacco: a tool for plant genetic engineering research and molecular farming. Part I. *Agro Food Industry Hi-tech*, 6: 19-24.
- Goodarzi mokri, P., Darvishzadeh, R., Maleki zanjani, B., Alavi, S.R. and Hoshyardel, F. 2016. Identification of quantitative trait loci for chemical characteristics in an oriental tobacco recombinant inbred line population. *Modares Journal of Biotechnology*, 7(3): 20-30. (In Persian).
- Guardiola, J.M., Perez, O. and Diaz, L. 1987. Effect of chlorine and potassium on combustibility from fine plantations. *Tabaco*, 10: 29-43.
- Hallaur, A.R. and Miranda, J.B. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames. 458pp.
- Hassani Tesie, S.F., Samizadeh Lahiji, H. and Shoaie Deilami, M. 2015. Assessment of genetic diversity among and within different types of tobacco (*Nicotianatabacum* L.) using IRAP and REMAP markers. *Journal of Crop Breeding*, 7(16): 1-9.
- Hatami Maleki, H., Karimzadeh, J., Darvishzadeh, R. and Alavi, R. 2012. Genetic diversity in oriental tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) by using Multivariate statistical techniques. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(1): 100-106. (In Persian).
- Hooshyardel, F., Darvishzadeh, R. and Hatami Maleki, H. 2015. Identification of QTLs associated with some morphological traits in oriental tobacco. *Agricultural Biotechnology*, 6(1): 11-19.
- Hosseinzadeh Fashalami, N., Mahdavi, A.R., Moarrefzadeh, N., Sajadi, S.A. and Alinejad, R. 2008. Investigation of genetic diversity and classification of different air-cured tobacco varieties. Research Report Card of Tirtash Research and Education Center, 105-126. (In Persian).
- Hosseinzadeh Fashalami, N., Shahadati moghaddam, Z., Kiani, Gh., Salavati, M., Zamani, P., Mahdavi, A. and Alinejad, R. 2015. Investigation of genetic diversity among different oriental tobacco (*Nicotiana Tabacum* L.) varieties using multivariate methods. *Journal of Crop Breeding*, 7(15): 126-134. (In Persian).
- Juan, R. and del Castillo, N. 1986. Irrigation water management and chemical and physical characteristics of covered dark tobacco. *Riego y Drenaje*, 9: 71-83.
- Laurentin, H. 2009. Data analysis for molecular characterization of plant genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56: 277-292.
- Leitch, I.J., Hanson, L., Lim, K.Y., Kovarik, A., Chase, M.W., Clarkson, J.J. and Leitch, A.R. 2008. The ups and downs of genome size evolution in polyploid species of *Nicotiana* (Solanaceae). *Annals of Botany London*, 101: 805-814.
- Lewis, R.S. and Nicholson, J.S. 2007. Aspects of the evolution of *Nicotiana tabacum* L. and the status of the United States *Nicotiana* Germplasm Collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54: 727-740.
- King, M.J. 1990. Tobacco. In: Stewart BA, Nielsen DR, editors. Irrigation of agricultural crops. Agronomy Series, vol. 30. Madison (WI): American Society of Agronomy Inc.p. 811-833.
- Knapp, S., Chase, M.W. and Clarkson J.J. 2004. Nomenclatural changes and a new sectional classification in *Nicotiana* (Solanaceae). *Taxon*, 53: 73-82.
- Mansour Ghanaei, F., Samieezadeh Lahiji, H., Rabaie, B. and Shoaii Deilami, M. 2010. Study the relationship between yield and yield components in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 103: 29-37. (In Persian).

- Masheva, V.** 2014. Analysis of gene effects and inheritance of some quantitative parameters in oriental tobacco varieties. Original Scientific paper. *Тютун/Tobacco*, 64(1-6): 12-18. UDC: 633.71-152.75:575.22 (497.2).
- Nurhidayati, T., Wardhani, S.P., Purnobasuki, H., Hariyanto, S., Jadid, N. and Nurcahyani, D. D.** 2017. Response morphology and anatomy of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plant on waterlogging. AIP Conference Proceedings 1908, 040009.
- Pirkhezri, M., Hassani, M.E. and Fakhre Tabatabai, M.** 2008. Evaluation of genetic diversity of some German chamomile populations (*Matricaria chamomilla* L.) using some morphological and agronomical characteristics. *Journal of Horticulture Science (Agricultural Sciences and Technology)*, 22(2): 87-99.
- Salehzadeh, H., Fayyaz Mogaddam, A., Bernosi, I., Ghiyasi, M. and Amini, P.** 2009. The effect of irrigation regimes on yield and chemical quality of oriental tobacco in West Azerbaijan. *Research Journal of Biological Sciences*, 4(5): 632-636.
- Shapiro, S.S. and Wilk, M.B.** 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52: 591-599.
- Singh, M., Singh, H., Kumar, R., Tank, D.S., Singh, V.P., Singh, T. and Singh, S.M.** 1988. Correlation and path coefficient analysis of some morphological and yield characters in sunflower. *Crop Research*, 16: 93-96.
- Stuber, C.W.** 1994. Heterosis in plant breeding. *Plant Breeding Reviews*, 12: 227-251.
- Taskova, L., Kochev, Y. and Kasheva, M.** 2005. Agroecological assessment of yield, quality and adaptability of oriental tobacco variety Kroumovgrad 988. Agricultural University, Plovdiv L, vol. 4, 115-119.
- Tso, T.C.** 1990. Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant. Ideals, Incorporated, Beltsville, MD 20705.
- Xie, H., Yang, D.H., Yao, H., Bai, G., Zhang, Y.H. and Xiao, B.G.** 2016. iTRAQ-based quantitative proteomic analysis reveals proteomic changes in leaves of cultivated tobacco (*Nicotiana tabacum*) in response to drought stress. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 469: 768-775.
- Yaldiz, G., Çamlica, M., Nadeem, M.A., Nawaz, M.A. and Baloch, F.Sh.** 2018. Genetic diversity assessment in *Nicotiana tabacum* L. with iPBS-retrotransposons. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42: ©TÜBİTAK.
- Zeba, N. and Isbat, M.** 2011. Multivariate analysis for yield and yield contributing traits in F0 and F1 generations in tobacco (*Nicotiana tabacum*). *Journal of Experimental Bioscience*, 2: 101-106.

Studying genetic variation in recombinant inbred lines of oriental tobacco based on chemical traits

Parviz Goodarzi Mokri¹, Reza Darvishzadeh^{2*}, Bahram Maleki Zanjani³, Marjan Jannatdoust⁴

¹ Phd Student in Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

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

³ Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

⁴ Phd Student in Plant Genetic and Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

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

Received: 15 October 2021

Accepted: 18 February 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.310590.1143

Abstract

Introduction: Tobacco, scientifically known as *Nicotiana tabacum* L. is an annual allotetraploid plant ($2n=4x=48$) in the Solanaceae family and is widely used as a model in plant biology. Oriental tobacco is a sun-cured, highly aromatic, small-leaved type which is mainly grown in Turkey, Iran, Greece, Bulgaria, Lebanon and the Republic of Macedonia. It is capable of growing in low fertile soils. To create an American Blend cigarette, it is necessary to mixed oriental tobacco with more robust tobacco such as Virginia and Burley tobaccos. Estimating genetic diversity and knowledge on genetic relationships among genotypes is a crucial aspect of promoting and implementing breeding programs; without it, effective and desirable genetic modification cannot be accomplished. Various types of marker including morphological, biochemical, and molecular ones are used by plant breeders to estimate genetic diversity. The purpose of this study is to investigate the genetic diversity in the population of recombinant inbred lines for chemical characteristics such as chlorine accumulation in leaves, nicotine, sugar and ash.

Materials and Methods: In the present study, genetic diversity of an oriental tobacco population consists of 55 recombinant inbred lines; coming from Basma seres 31 × SPT 406 cross, was assessed for chemical traits in randomized complete block design with three replications. From the middle leaves of each genotype, 20 leaves were randomly selected in each replication and the percentage of chemical elements such as chlorine, sugar content, nicotine content and ash content was determined using the method proposed by CORESTA (Cooperation Center for Scientific Research Relative to Tobacco). The identification of outlier data and the test of normality of the distribution of experimental errors were performed according to Shapiro and Wilke's method in SAS software version 4.9. Analysis of variance of the chemical traits data was performed according to the statistical model of randomized complete block design in the SAS software. After standardizing the data, the cluster analysis was carried out using the minimum variance method. Principal components analysis was performed using the correlation coefficients matrix of traits. The average comparisons of the groups resulting from the cluster analysis was done in SPSS version 20 software using the SNK method.

Results and Discussion: Analysis of variance revealed significant difference among the studied lines for nicotine and chlorine concentration. There was significant negative correlation between nicotine and sugar and significant positive correlation was observed between sugar and ash. Principal component analysis revealed 3 of the 4 main components play the most important role in explaining the total diversity among individuals and all traits except chlorine concentration showed negative correlation with the first component. Using cluster analysis by Ward's method, the studied population was grouped into 4 separate subgroups. Groups mean comparisons using SNK test showed that individuals in group 1 have the higher values for most of the studied traits.

Conclusion: According to the present study, a wide genetic diversity was observed for nicotine and

chlorine traits in the studied population, which can be used in breeding programs for oriental tobacco. A negative correlation was observed between nicotine and sugar, and a positive correlation between sugar and ash. This can be used to modify correlated attributes, as increasing or decreasing the value of a trait increase or decrease the traits associated with that trait. Individuals of the studied population were divided into 4 separate groups, which can help researchers in choosing parents because offspring resulting from the crossing of distant parents; show more heterosis and diversity. Production of desirable varieties increases the farmers' incomes by reducing the average production costs.

Keywords: Cluster analysis, Correlation analysis, Nicotine and chlorine content

ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های جو بهاره از لحاظ برخی صفات فنولوژیکی و مورفولوژیکی

رامین مدرسی^۱، علیرضا پورمحمد^{۱*}، بهزاد صادق‌زاده^۲

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

۲- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران

* مسئول مکاتبه: Pourmohammad@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.343913.1242

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

چکیده

به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های جو بهاره، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۷ ژنوتیپ در چهار تکرار، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم دیواندره انجام گرفت. اختلاف بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، در اکثر صفات غیر از تاریخ گل‌دهی معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تنوع بالا بین ژنوتیپ‌ها بود. عملکرد کل دانه، تعداد ساقه بارور، طول سنبله اصلی، شاخص برداشت و طول برگ پرچم از وراثت‌پذیری بالاتری نسبت به سایر صفات برخوردار بودند. با توجه به وراثت‌پذیری بالای آن‌ها می‌توان از این صفات در نسل‌های در حال تفکیک به منظور گزینش غیرمستقیم برای عملکرد دانه بهره برد. تجزیه علیت نشان داد که تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه روی عملکرد دانه کل اثر مستقیم مثبت و بالایی داشتند ولی اثر مستقیم وزن ریشک روی عملکرد دانه کمتر از این دو صفت بود. بنابراین، تعداد دانه و وزن هزار دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه جو محسوب شدند. در تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ شماره یک در خوشه اول جای گرفت، خوشه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۲۶، ۲۵، ۲۷، ۲۲، ۱۴، ۱۳ بود و بقیه ژنوتیپ‌ها در خوشه سوم قرار گرفتند. با توجه به میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های کلاستر سوم می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی برای عملکرد دانه به کار رود. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، سه مؤلفه اصلی اول، ۵۲/۸۸ درصد از تنوع کل را توجیه کردند. این مقادیر برای مؤلفه‌های دوم و سوم به ترتیب ۱۷/۲۳ و ۹/۱۵ درصد بود. مؤلفه اول را می‌توان مؤلفه عملکرد دانه و بیوماس کل نام‌گذاری کرد. از این مؤلفه می‌توان در امر گزینش برای ژنوتیپ‌های جو بهاره استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، عملکرد دانه

مقدمه

افزایش تولید این محصول اساسی از دغدغه‌های اصلی کشور ما می‌باشد (Daghaghel et al., 2018).

مطالعه تنوع ژنتیکی فرایندی است که تفاوت‌ها و شباهت گونه‌ها، جمعیت‌ها و یا افراد را با استفاده از روش‌ها و مدل‌های آماری خاص برای صفات مورفولوژیک، اطلاعات شجره‌ای یا خصوصیات مولکولی افراد بیان می‌کند (Mohammadi and Prasanna, 2003). برآورد تنوع ژنتیکی در گیاهان زراعی، نقش بسیار مهمی در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی و حفاظت از منابع ژنتیکی دارد که از طریق مطالعه صفات مورفولوژیک و بیولوژیکی، بررسی شجره‌ها و نشانگرهای مولکولی میسر می‌گردد. یکی از عوامل موفقیت در هر برنامه اصلاحی و حصول پیشرفت ژنتیکی، تأثیرپذیری پایین صفت مورد گزینش از تغییرات محیطی است؛ بنابراین در برنامه‌های به‌نژادی با توجه به هدف اصلاحی مورد نظر می‌توان با استفاده از تنوع بین گروه‌ها و ژنوتیپ‌های موجود و با

جو (*Hordeum vulgare*) چهارمین محصول زراعی مهم دنیا پس از برنج، گندم و ذرت است که معمولاً به‌عنوان غذای انسان، مالت و خوراک دام استفاده می‌شود (Gozukirmizi and Karlik, 2017). جنس هوردئوم، نزدیک به ۲۵ گونه زراعی و وحشی دیپلوئید، تتراپلوئید و هگزاپلوئید دارد. امروزه جو به دلیل موارد استفاده زیاد آن در تغذیه انسان و دام، تولید مالت و استفاده صنایع تبدیلی یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده غلات است (Ferreira et al., 2016). با توجه به اهمیت جو و نقش آن به‌عنوان منبع غذایی اصلی بسیاری از جوامع و در اکثر موارد تأمین خوراک دام، تولید و خودکفایی این محصول از سیاست‌های مهم کشاورزی هر کشوری می‌باشد. هم‌چنین، با عنایت به وضعیت خشک‌سالی کشور در سال‌های اخیر و نیز کمبود علوفه در سطح مراتع و در راستای کاهش وابستگی به واردات جو از خارج، توجه بیشتر به

و توجیه وجود همبستگی بین متغیرها و توصیف جمعیت از لحاظ صفات بود، ۵ عامل مستقل حدود ۹۱/۷ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. عامل اول که متشکل از طول سنبله، تعداد گره و ارتفاع بوته بود، طول بوته نام‌گذاری شد. عامل دوم که عملکرد نام گرفت، شامل عملکرد و تعداد ردیف بود؛ بنابراین دو گروه از صفات که شامل عملکرد و اجزای عملکرد و دیگری طول بوته، صفات مهمی تلقی می‌شوند که گروه اول سبب افزایش عملکرد شده و گروه دوم همبستگی منفی با عملکرد دارند. از این رو باید اصلاح این دو گروه از صفات را در راستای افزایش عملکرد در گیاه جو و سایر غلات مورد بهره‌برداری قرار گیرد (Baraty et al., 2014). در بررسی ارقام جو از نظر صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، طول دوره رویشی و عملکرد دانه تنوع زیادی بین ارقام مشاهده شد. عملکرد به‌طور معنی‌داری با صفات دوره رویشی و تعداد دانه در سنبله همبستگی داشت. افزون بر این، بین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همبستگی منفی مشاهده شد (Žáková and Benkova, 2004). در مطالعه شش رقم جو زراعی بومی اتیوپی و تلاقی بین آن‌ها میزان توارث‌پذیری بالایی برای صفات طول سنبله، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گزارش شده است (Jalata et al., 2010). در بررسی تنوع موجود در بین ۲۶ جو زمستانه تونسی، از ۱۲ صفت زراعی اندازه‌گیری شده استفاده شد و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای بر روی صفات و نمونه‌ها انجام گردید (Hamza et al., 2004). بر اساس مطالعه‌ای دیگر، سطوح بالایی از تنوع ژنتیکی برای ۱۲ صفت مورفولوژیک در ۱۳۳ نمونه جو مورد بررسی مشاهده شد. این صفات برای ایجاد ارقام گیاهی جدید بر اساس مناطق جغرافیایی مختلف می‌توانست کارایی بالایی داشته باشند و ژنوتیپ‌ها بر اساس توزیع جغرافیایی و واریانس صفات در هفت کلاستر طبقه‌بندی شدند (Zaheer et al., 2008).

با توجه به نقش تنوع ژنتیکی در پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی، بدون شک بررسی لاین‌های جدید جو با خصوصیات مورفولوژیک مطلوب، از جمله روش‌های مناسب در جهت بهبود عملکرد و اصلاح و معرفی ارقام تجاری است که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد و تولید جو خواهد گردید. اهداف این مطالعه شامل شناسایی ژنوتیپ‌های برتر جو از لحاظ صفات فنولوژیک و مورفولوژیک، گروه‌بندی آن‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و

انجام تلاقی بین آن‌ها امکان دستیابی به ژنوتیپ‌های مطلوب‌تر از نظر عملکرد دانه و اجزای عملکرد را فراهم آورد (Hailu et al., 2006). به‌طور کلی اهداف کوتاه‌مدت به‌نژادگران در اصلاح جو، تولید ژنوتیپ جدید با عملکرد بالا و معرفی آن به‌عنوان یک محصول زراعی می‌باشد. در حالی که اهداف میان‌مدت و درازمدت آن، حفظ ژرم‌پلاسما جهت استفاده در برنامه‌های آینده است (Rezaei et al., 2012). عملکرد دانه در جو، تحت اثر مستقیم و غیرمستقیم صفات بسیار زیادی است که شناسایی شناسایی ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه به‌عنوان معیار گزینش در شناسایی گزینش ژنوتیپ‌های برتر ضروری است (Daghaghelh et al., 2018). بررسی روابط بین صفات در ارقام مختلف، جزء مهمی از برنامه‌های اصلاحی است زیرا اطلاعاتی در مورد تنوع ژنتیکی محصولات زراعی به‌منظور ایجاد جمعیت‌های اصلاحی مناسب، در دسترس قرار می‌دهد (Assefa et al., 2015). برآورد تنوع ژنتیکی در گیاهان زراعی، نقش بسیار مهمی در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی و حفاظت از منابع ژنتیکی دارد که از طریق صفات مورفولوژیک، میسر می‌شود. افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات زراعی و استفاده بهینه از ذخایر ژنی مستلزم جمع‌آوری، نگهداری، توصیف و ارزیابی مواد ژنتیکی است. ایجاد تنوع ژنتیکی و ژرم‌پلاسما جدید در اصلاح جو و بهبود برخی از خصوصیات و ایجاد ژنوتیپ‌های ایده‌آل در این گیاه نیز بسیار مهم می‌باشد (Pearce et al., 2000).

در مطالعه‌ای توسط محققین، ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده بسیار متنوع بود و زمینه خوبی را برای شناسایی پایه ژنتیکی صفات زراعی نشان داد. هم‌چنین اطلاعات در مورد صفات کمی جو افزایش داد و اصلاح ژنومی را برای به‌نژادی جو تسهیل کرد (Li et al., 2020). گزارش شده است که تنوع معنی‌داری در داخل و بین جمعیت‌های جو اتیوپیایی وجود داشت که بیشترین تنوع در درون جمعیت‌ها رخ داد. نتایج هم‌چنین به طراحی راهبردهای حفاظتی مانند حفاظت ژنتیکی می‌تواند کمک کند (Dido et al., 2000). در مطالعه‌ای دیگر، تنوع ژنتیکی زیادی از طریق تجزیه خوشه‌ای در بین توده‌های جو مشاهده شد و تنوع ژنتیکی را در صفات مختلف مورد استفاده، تأیید کرد (Memon et al., 2021). در پژوهشی روی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات زراعی با عملکرد در لاین‌های نوترکیب جو، اکثر صفات معنی‌دار بودند. در تجزیه عاملی که با هدف کاهش حجم داده‌ها

خاک‌ورزی اعمال شد. خاک محل آزمایش به صورت لومی شنی بود. در این بررسی، ۲۸ ژنوتیپ جو با عادت رشدی بهاره مورد استفاده قرار گرفت که از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور تهیه گردید (جدول ۱). برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار استفاده گردید. هر واحد آزمایشی متشکل از سه ردیف به طول یک متر و به فاصله ۲۰ سانتی‌متری بود. فاصله بذرها روی ردیف‌ها، چهار سانتی‌متر و عمق کاشت بذور، دو سانتی‌متر اعمال گردید.

کاهش صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان دیواندره کردستان با ۱۸۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا، طول ۴۷ درجه و یک دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۵۴ دقیقه با تغییرات درجه حرارت سالانه دما از ۲۰- تا ۳۲+ اجرا شد. در فروردین‌ماه ۱۳۹۶ بعد از مناسب شدن شرایط آب و هوایی منطقه، نقشه کاشت اجرا و عملیات

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مختلف جو بهاره مورد مطالعه در آزمایش

Table 1- Different genotypes of spring barley studied in the experiment

| شماره Number | ژنوتیپ Genotype |
|-----------------|--|
| 1 | Sahand |
| 2 | Abider |
| 3 | Ansar |
| 4 | Sararood-1 |
| 5 | Nader |
| 6 | 71482 |
| 7 | 71530 |
| 8 | 71530 |
| 9 | 71538 |
| 10 | 71557 |
| 11 | 71704 |
| 12 | 71938 |
| 13 | 72295 |
| 14 | 72406 |
| 15 | 72498 |
| 16 | 72546 |
| 17 | 72566 |
| 18 | 72566 |
| 19 | 72680 |
| 20 | Tokak/Demir-2 |
| 21 | AZE-Lerik-ICB-123363/GaraArpa ICB04-1512-0AP |
| 22 | CWB117-5-9-5//CWB117-77-9-7/ICB-104073/3/K-334 ICB01-1791-OAP-OMh-5Mh-OMh |
| 23 | Ste/Antares//YEA762-2/YEA605-5/3/Slr//Alpha/Durra ICB01-1402-OAP-OMh-1Mh-OMh |
| 24 | Alpha/Gumhuriyet//Sonja |
| 25 | Dayton / Ranney |
| 26 | Yea/168 |
| 27 | Denmark |

عملکرد دانه تک بوته (توزین دانه‌های هر بوته)، بیوماس تک بوته (وزن کل بخش هوایی تک بوته‌های برداشت‌شده)، بیوماس کل (وزن کل بخش هوایی هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه‌ها)، وزن هزار دانه (به‌طور تصادفی شمارش و توزین)، شاخص برداشت، تعداد ساقه بارور (شمارش تعداد ساقه بارور در ۱۰ بوته و میانگین‌گیری برای تک بوته)، تعداد گلچه در سنبله (شمارش تعداد گلچه‌ها در هر سنبله)، تعداد دانه در سنبله (شمارش تعداد دانه کامل تشکیل‌شده در سنبله اصلی هر بوته)، تعداد برگ در زمان ظهور سنبله (شمارش تعداد برگ در هر بوته)، تاریخ جوانه‌زنی، تاریخ رسیدگی، تعداد دانه در بوته (شمارش تعداد دانه

در این بررسی صفات ارتفاع بوته (از سطح خاک تا نوک خوشه)، تاریخ پنجه‌دهی، تاریخ ساقه‌دهی، عرض برگ پرچم (اندازه عریض‌ترین بخش برگ پرچم)، طول برگ پرچم (بعد از اتمام گرده‌افشانی، اندازه‌گیری طول برگ پرچم ساقه اصلی از محور گوشوارک‌ها تا انتها)، طول ریشک (در هر بوته یک ریشک به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد)، طول سنبله (از یقه سنبله تا نوک آن بدون در نظر گرفتن ریشک‌ها)، طول میانگره، قطر در محل گره، قطر در محل میانگره، تاریخ گل‌دهی، تاریخ مرحله خمیری، تاریخ مرحله شیری، وزن ریشک (با استفاده از ترازوی حساس برحسب گرم)،

صفات غیر از تاریخ گل‌دهی معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تنوع بالا بین ژنوتیپ‌های جو بهاره بود. اختلاف معنی‌دار آمار صفت طول سنبله بین ژنوتیپ‌های مختلف با نتایج مطالعات دیگر مطابقت دارد که گزارش شده است ژنوتیپ‌های دارای طول سنبله و طول ریشک بلندتر، سهم بیشتری در عملکرد دانه دارند (Ebadi *et al.*, 2017). در واقع ریشک‌ها دارای فتوسنتز بوده در نتیجه می‌توانند سهم بسزایی در پر شدن دانه داشته باشند. به‌طور کلی داشتن سطح برگ بیشتر چه از نظر تعداد برگ، عرض و طول برگ و چه از نظر سطح تک‌برگ، یکی از صفات مورد توجه در برنامه‌های اصلاحی است. در واقع چون گیاه تا قبل از رسیدن به دوره رشدی آخر فصل، سطح برگ خود را تکمیل می‌کند، در نتیجه میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده توانایی ژنوتیپ در نگهداری برگ می‌باشد که این امر فتوسنتز جاری گیاه را افزایش داده و به‌نوبه‌ی خود تأثیر مثبت و بسزایی بر عملکرد دارد (Heidari Sharifabad, 2000).

جدول ۳ مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه جو بهاره را برای صفات مورد ارزیابی با استفاده از روش LSD نشان می‌دهد. در این جدول، ژنوتیپ‌های با حداقل و حداکثر مقدار، مشخص شده است.

کامل تشکیل شده در هر بوته)، تاریخ ظهور خوشه و عملکرد کل دانه (میزان عملکرد کل دانه از طریق اندازه‌گیری وزن کل دانه ردیف‌های برداشت‌شده) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگراف-اسمیرنوف مورد آزمون قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها انجام و میانگین‌ها با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) مقایسه شد. سپس اجزای واریانس فنوتیپی و وراثت‌پذیری در واحد میانگین ژنوتیپ برآورد شد. ارتباط بین صفات مورد مطالعه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون مشخص گردید و تجزیه علیت (با انجام رگرسیون گام به گام برای حذف صفات غیرمؤثر بر عملکرد کل دانه) انجام گردید. از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور کاهش داده‌ها استفاده شد. با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی انجام شد. برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای MSTATC و SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه

در تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های جو بهاره (جدول ۲) اختلاف بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، در اکثر

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه جو

Table 2- Analysis of variance of measured traits for studied spring barley genotypes

| منبع تغییر Source of Variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--|------------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| | | قطر در محل گره Diameter at the node location | طول میانگره Internode length | طول سنبله Spike length | طول ریشک Awn length | طول برگ پرچم Flag leaf length | عرض برگ پرچم Flag leaf width | تاریخ دهی ساقه Shooting date | تاریخ دهی پنجه Tillering date | ارتفاع بوته Plant height |
| تکرار Replication | 3 | 0.095 ^{ns} | 0.47 ^{ns} | 1.44 ^{ns} | 4.52 ^{ns} | 5.71 ^{ns} | 4.009 ^{ns} | 28.18 ^{ns} | 0.46 ^{ns} | 15.35 ^{ns} |
| ژنوتیپ Genotype | 27 | 0.193 ^{**} | 3.11 ^{**} | 3.07 ^{**} | 6.19 ^{**} | 15.61 ^{**} | 5.199 ^{**} | 14.88 ^{**} | 6.97 ^{**} | 57.63 ^{**} |
| خطا Error | 78 | 0.087 | 1.52 | 0.98 | 2.93 | 5.83 | 2.407 | 9.304 | 2.72 | 23.415 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 15.23 | 15.94 | 14.82 | 13.53 | 10.29 | 10.89 | 7.94 | 5.83 | 12.80 |

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار.

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively; ^{ns} non-significant

ادامه جدول ۲

Table 2 (continued)

| منبع تغییر Source of Variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|
| | | شاخص برداشت Harvest index | وزن هزار دانه 1000 grains weight | بیوماس کل Total biomass | بیوماس تک بوته Biomass per plant | عملکرد دانه تک بوته Grain yield per plant | وزن ریشک Awn weight | مرحله شیری Milk stage | مرحله خمیری Dough stage | تاریخ گلدهی Flowering date | قطر در محل میانگره Diameter at the internode location |
| تکرار Replication | 3 | 0.066 ^{ns} | 32.95 ^{ns} | 91217 ^{ns} | 5.53 ^{ns} | 0.070 ^{ns} | 0.005 ^{**} | 8.84 ^{ns} | 1.29 ^{ns} | 15.31 ^{ns} | 0.132 ^{ns} |
| ژنوتیپ Genotype | 27 | 0.041 ^{**} | 88.33 ^{**} | 221250 [*] | 14.39 ^{**} | 0.316 ^{**} | 0.005 ^{**} | 20.7 ^{**} | 4.46 [*] | 8.69 ^{ns} | 0.151 ^{**} |
| خطا Error | 78 | 0.015 | 41.35 | 91417.9 | 5.97 | 0.188 | 0.0022 | 11.22 | 2.62 | 5.47 | 0.071 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 40.19 | 16.94 | 33.22 | 33.35 | 22.03 | 33.12 | 4.57 | 2.07 | | 12.63 |

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار.*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively; ^{ns} non-significant

ادامه جدول ۲

Table 2 (continued)

| منبع تغییر Source of Variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات MS | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|--|--|---|--|
| | | عملکرد کل دانه Total grain yield | تاریخ ظهور خوشه Earing date | تعداد دانه در بوته Number of grains per plant | تاریخ رسیدگی Maturity date | تاریخ جوانه‌زنی Germination date | تعداد برگ در زمان ظهور سنبله Leaf number in spike emergence | تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike | تعداد گلچه در سنبله Floret number in spike | تعداد ساقه بارور Fertile shoot number |
| تکرار Replication | 3 | 1830.9 ^{ns} | 2.81 ^{ns} | 127.63 ^{ns} | 3.21 ^{ns} | 0.453 ^{ns} | 64.07 ^{ns} | 2.37 ^{ns} | 1.37 ^{ns} | 0.601 ^{ns} |
| ژنوتیپ Genotype | 27 | 156881.6 [*] | 5.60 ^{**} | 279.32 ^{**} | 22.48 ^{**} | 1.65 [*] | 45.60 [*] | 7.75 ^{**} | 9.12 [*] | 5.506 ^{**} |
| خطا Error | 78 | 3538.2 | 2.87 | 133.06 | 11.57 | 2.53 | 26.49 | 4.00 | 5.27 | 1.101 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 25.29 | 2.67 | 22.54 | 3.50 | 11.22 | 28.41 | 12.26 | 12.41 | 23.18 |

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد، ^{ns} غیر معنی‌دار.*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively; ^{ns} non-significant

جدول ۳ - میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های جو

Table 3- Mean of studied traits in barley genotypes

| ژنوتیپ Genotype | وزن کل Total plant weight (g) | بیوماس کل | | بیوماس تک بوته | | عملکرد | | وزن ریشک | مرحله شیری | مرحله خمیری | قطر در محل گره | | طول میانگوه Internode length (cm) | طول سنبله Spike length (cm) | ریشک Awn length (cm) | طول برگ پرچم Flag leaf length (cm) | عرض برگ | تاریخ ساقه دهی | تاریخ بنجه دهی | ارتفاع بوته Plant height (cm) |
|--------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------|----------------|---------|------------------------------------|-------|----------|------------|-------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------------|---------|----------------|----------------|-------------------------------|
| | | Total biomass | Biomass per plant (g) | بوته | دانه تک | Diameter at the node location (cm) | مرحله | | | | مرحله | Flag leaf width | | | | | | | | |
| 1 | 8.51 | 938.8 | 8.77 | 1.40 | 0.1722 | 77.00 | 80.00 | 2.12 | 7.50 | 5.00 | 14.00 | 20.00 | 16.00 | 37.00 | 27.50 | 39.00 | | | | |
| 2 | 8.15 | 990.3 | 7.92 | 1.97 | 0.092 | 75.00 | 78.25 | 2.00 | 6.37 | 5.75 | 11.12 | 25.00 | 14.50 | 38.00 | 29.75 | 32.25 | | | | |
| 3 | 8.39 | 1661.3 | 13.29 | 2.42 | 0.127 | 73.00 | 77.00 | 1.12 | 6.00 | 7.50 | 12.62 | 23.75 | 13.50 | 36.00 | 27.25 | 34.25 | | | | |
| 4 | 8.05 | 736.3 | 5.89 | 2.45 | 0.155 | 74.00 | 78.00 | 2.25 | 7.37 | 6.00 | 13.00 | 22.50 | 12.00 | 37.00 | 29.00 | 38.75 | | | | |
| 5 | 9.648 | 638.8 | 5.11 | 1.92 | 0.095 | 76.00 | 80.00 | 1.50 | 7.62 | 6.50 | 11.00 | 22.25 | 13.50 | 42.00 | 31.00 | 41.25 | | | | |
| 6 | 8.36 | 984.4 | 7.87 | 1.53 | 0.192 | 74.75 | 79.00 | 1.75 | 8.87 | 7.12 | 13.37 | 23.00 | 13.50 | 39.50 | 29.25 | 43.00 | | | | |
| 7 | 10.05 | 1226.3 | 9.81 | 1.77 | 0.137 | 74.25 | 78.00 | 2.37 | 8.50 | 7.50 | 10.75 | 25.00 | 12.25 | 36.50 | 27.75 | 43.75 | | | | |
| 8 | 10.01 | 1222.2 | 8.77 | 2.39 | 0.150 | 72.25 | 76.50 | 2.12 | 8.00 | 7.25 | 12.62 | 25.50 | 13.75 | 36.75 | 28.75 | 30.5 | | | | |
| 9 | 8.56 | 916.3 | 7.32 | 2.06 | 0.170 | 73.50 | 77.50 | 2.00 | 8.75 | 7.25 | 14.75 | 24.50 | 13.00 | 37.00 | 27.25 | 42.25 | | | | |
| 10 | 8.20 | 995.6 | 7.96 | 1.77 | 0.160 | 74.25 | 78.25 | 2.12 | 9.50 | 7.12 | 14.00 | 23.75 | 12.00 | 36.50 | 28.50 | 42.00 | | | | |
| 11 | 10.26 | 1095.3 | 8.76 | 1.82 | 0.117 | 66.00 | 78.25 | 2.12 | 8.87 | 6.25 | 12.50 | 25.75 | 12.25 | 37.00 | 29.00 | 43.50 | | | | |
| 12 | 7.17 | 867.2 | 7.93 | 2.14 | 0.170 | 74.00 | 78.50 | 2.00 | 9.50 | 6.62 | 13.50 | 25.25 | 9.75 | 37.75 | 28.50 | 36.00 | | | | |
| 13 | 6.43 | 759.1 | 6.07 | 1.35 | 0.155 | 73.50 | 78.00 | 2.00 | 6.00 | 7.25 | 11.87 | 24.50 | 13.75 | 37.00 | 27.50 | 36.75 | | | | |
| 14 | 11.31 | 730.0 | 5.59 | 1.56 | 0.137 | 71.00 | 77.25 | 1.87 | 7.50 | 6.62 | 13.00 | 23.75 | 12.50 | 40.25 | 27.25 | 38.00 | | | | |
| 15 | 7.26 | 879.4 | 7.03 | 2.06 | 0.165 | 74.75 | 79.00 | 2.00 | 8.50 | 6.75 | 12.75 | 22.75 | 12.75 | 38.75 | 30.25 | 39.50 | | | | |
| 16 | 7.41 | 897.8 | 7.18 | 1.66 | 0.175 | 70.00 | 79.00 | 2.12 | 7.25 | 6.50 | 13.37 | 22.75 | 12.50 | 36.50 | 27.00 | 37.00 | | | | |
| 17 | 7.06 | 853.1 | 6.82 | 1.89 | 0.135 | 73.00 | 76.25 | 1.87 | 7.12 | 6.50 | 12.00 | 23.00 | 13.25 | 40.50 | 27.25 | 36.00 | | | | |
| 18 | 7.42 | 896.9 | 7.17 | 2.01 | 0.162 | 73.75 | 78.00 | 2.00 | 7.75 | 6.75 | 14.50 | 27.50 | 13.25 | 37.25 | 29.00 | 37.00 | | | | |
| 19 | 8.62 | 1047.2 | 8.37 | 2.02 | 0.165 | 74.75 | 78.50 | 2.00 | 7.87 | 7.12 | 13.12 | 30.00 | 13.25 | 37.50 | 28.75 | 35.00 | | | | |
| 20 | 9.08 | 1104.7 | 8.83 | 2.03 | 0.107 | 73.75 | 79.25 | 2.12 | 7.75 | 7.00 | 12.50 | 25.75 | 13.75 | 40.25 | 28.25 | 37.00 | | | | |
| 21 | 7.46 | 902.5 | 7.22 | 1.98 | 0.245 | 72.00 | 77.00 | 2.00 | 7.75 | 6.50 | 13.12 | 21.75 | 13.25 | 36.75 | 26.75 | 41.00 | | | | |
| 22 | 5.59 | 669.1 | 5.35 | 2.11 | 0.135 | 72.75 | 77.00 | 1.75 | 7.00 | 6.75 | 11.87 | 22.25, 24 | 13.50 | 35.00 | 27.00 | 35.75 | | | | |
| 23 | 7.33 | 885.1 | 7.08 | 2.05 | 0.150 | 73.25 | 78.25 | 2.00 | 7.25 | 6.00 | 14.12 | 24.00 | 13.25 | 37.50 | 29.00 | 35.75 | | | | |
| 24 | 7.05 | 945.6 | 7.56 | 2.17 | 0.122 | 72.75 | 77.00 | 2.00 | 8.50 | 9.50 | 13.00 | 23.00 | 13.50 | 38.00 | 27.00 | 30.25 | | | | |
| 25 | 5.25 | 629.1 | 5.03 | 2.03 | 0.125 | 73.75 | 77.25 | 2.00 | 7.50 | 6.62 | 12.25 | 22.50 | 13.00 | 36.25 | 28.00 | 37.00 | | | | |
| 26 | 4.67 | 555.0 | 4.44 | 1.52 | 0.082 | 68.75 | 75.75 | 1.87 | 7.25 | 6.12 | 9.50 | 24.00 | 13.25 | 36.50 | 27.25 | 32.25 | | | | |
| 27 | 4.58 | 542.8 | 4.59 | 2.02 | 0.080 | 76.00 | 78.00 | 2.00 | 6.62 | 5.12 | 10.25 | 22.50 | 15.00 | 41.50 | 32.00 | 41.00 | | | | |
| LSD | 3.58 | 428.6 | 3.44 | 0.61 | 0.067 | 4.71 | 2.28 | 0.42 | 1.74 | 1.39 | 2.41 | 3.40 | 2.01 | 4.23 | 2.32 | 6.81 | | | | |

ادامه جدول ۳
Table 3 (continued)

| ژنوتیپ Genotype | تاریخ گلدهی Flowering date | عملکرد کل Total plant yield | تاریخ ظهور Earing date | تعداد دانه در بوته Number of grains per plant | تاریخ رسیدگی Maturity date | تاریخ جوانه‌زنی Germination date | زمان ظهور سنبله Leaf number in spike emergence | تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike | تعداد گلچه Floret number in spike | تعداد ساقه Fertile shoot number | شاخص برداشت Harvest index (%) | وزن هزار دانه 1000 grains weight (g) |
|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|---|---|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 17.75 | 181.25 | 65.00 | 27.00 | 96.00 | 13.50 | 18.00 | 15.50 | 15.00 | 5.00 | 0.2537 | 41.12 |
| 2 | 19.25 | 246.88 | 66.75 | 29.25 | 96.00 | 15.50 | 18.25 | 17.00 | 19.25 | 3.00 | 0.3008 | 36.33 |
| 3 | 17.75 | 302.50 | 64.00 | 27.00 | 97.25 | 14.00 | 18.25 | 15.50 | 17.50 | 4.75 | 0.1818 | 39.58 |
| 4 | 18.75 | 306.25 | 63.00 | 29.00 | 97.00 | 14.50 | 19.25 | 14.25 | 17.75 | 4.00 | 0.4159 | 33.80 |
| 5 | 20.12 | 240.00 | 64.00 | 31.00 | 102.00 | 15.50 | 20.25 | 14.25 | 17.25 | 5.00 | 0.3757 | 32.67 |
| 6 | 20.00 | 191.88 | 64.24 | 29.25 | 99.50 | 15.25 | 22.25 | 14.25 | 17.50 | 4.25 | 0.1955 | 30.42 |
| 7 | 19.00 | 221.88 | 63.25 | 27.75 | 96.75 | 14.50 | 25.00 | 14.50 | 19.50 | 4.50 | 0.2011 | 41.49 |
| 8 | 18.00 | 299.88 | 61.50 | 28.75 | 98.25 | 14.25 | 22.75 | 17.75 | 20.00 | 4.50 | 0.2453 | 42.64 |
| 9 | 17.75 | 257.50 | 63.75 | 27.25 | 92.75 | 14.00 | 20.25 | 18.25 | 18.25 | 4.25 | 0.2826 | 35.68 |
| 10 | 17.50 | 221.25 | 63.50 | 28.50 | 95.00 | 13.50 | 23.50 | 16.00 | 18.50 | 4.76 | 0.2305 | 47.85 |
| 11 | 19.00 | 228.13 | 64.75 | 29.00 | 96.75 | 13.50 | 23.25 | 18.75 | 18.25 | 6.75 | 0.2434 | 42.08 |
| 12 | 16.50 | 267.19 | 64.75 | 28.50 | 98.75 | 14.50 | 17.50 | 16.25 | 18.75 | 4.00 | 0.3447 | 40.87 |
| 13 | 17.25 | 169.00 | 63.75 | 27.50 | 95.75 | 13.50 | 17.25 | 19.25 | 17.75 | 3.50 | 0.2226 | 44.50 |
| 14 | 17.75 | 145.31 | 64.00 | 27.25 | 95.75 | 13.25 | 13.00 | 16.25 | 19.25 | 3.25 | 0.3153 | 40.82 |
| 15 | 20.50 | 257.81 | 65.00 | 30.25 | 100.25 | 16.00 | 15.75 | 17.00 | 23.50 | 3.50 | 0.3970 | 3.28 |
| 16 | 17.00 | 208.13 | 62.25 | 27.00 | 97.25 | 12.00 | 13.25 | 16.00 | 16.00 | 3.75 | 0.3012 | 42.51 |
| 17 | 17.50 | 205.00 | 62.25 | 27.25 | 92.50 | 14.00 | 14.50 | 16.50 | 19.25 | 3.75 | 0.2920 | 32.26 |
| 18 | 18.25 | 251.25 | 65.00 | 29.00 | 95.25 | 14.00 | 16.50 | 17.25 | 20.25 | 4.25 | 0.3012 | 38.99 |
| 19 | 21.25 | 223.75 | 63.50 | 28.75 | 95.50 | 14.50 | 14.50 | 17.50 | 19.00 | 8.50 | 0.2113 | 31.21 |
| 20 | 20.75 | 254.06 | 64.50 | 28.25 | 98.00 | 14.75 | 17.50 | 17.25 | 20.75 | 5.50 | 0.2575 | 40.09 |
| 21 | 17.75 | 247.50 | 63.50 | 26.75 | 98.75 | 14.25 | 18.25 | 15.25 | 17.75 | 4.75 | 0.2798 | 36.10 |
| 22 | 17.25 | 232.81 | 61.75 | 27.00 | 95.50 | 12.50 | 18.00 | 15.50 | 17.75 | 3.50 | 0.3651 | 44.65 |
| 23 | 18.00 | 241.00 | 65.75 | 29.00 | 100.00 | 13.75 | 13.00 | 16.25 | 19.25 | 4.25 | 0.2983 | 33.07 |
| 24 | 22.00 | 234.38 | 64.50 | 27.00 | 96.50 | 14.75 | 18.25 | 15.00 | 17.25 | 5.25 | 0.2474 | 36.02 |
| 25 | 19.50 | 254.06 | 64.00 | 28.00 | 95.50 | 15.50 | 21.00 | 16.25 | 17.75 | 3.75 | 0.4281 | 35.32 |
| 26 | 17.75 | 190.63 | 61.75 | 27.25 | 92.00 | 12.75 | 14.25 | 15.50 | 16.75 | 3.75 | 0.3826 | 32.18 |
| 27 | 19.00 | 253.69 | 64.00 | 32.00 | 101.00 | 14.75 | 13.75 | 17.75 | 18.00 | 4.75 | 0.6812 | 38.96 |
| LSD | 5.25 | 83.73 | 2.38 | 16.23 | 4.78 | 2.24 | 7.24 | 2.81 | 3.23 | 1.477 | 0.173 | 9.05 |

وراثت‌پذیری عمومی صفات

(۰/۹۵) و تعداد سنبلچه در سنبله اصلی (۰/۹۵) بدست آمد (Valizadeh Kamran, 2003). در پایین بودن وراثت‌پذیری عملکرد، گزینش غیرمستقیم آن با بکارگیری برخی صفات مربوط به عملکرد می‌تواند مؤثر باشد. عملکرد دانه شدیداً تحت تأثیر محیط قرار دارد و انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه در نسل‌های در حال تفکیک، غیرقابل اعتماد خواهد بود؛ بنابراین برای به‌نژادگران، بسیار حائز اهمیت است که صفاتی را انتخاب و معرفی کنند که همبستگی بالایی با عملکرد داشته و از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار باشند. هم‌چنین اندازه‌گیری آن‌ها راحت و با هزینه کمتری صورت گیرد (Silva et al., 2016).

انتخاب روش اصلاحی مناسب به میزان وراثت‌پذیری صفات بستگی دارد (Larsson et al., 2021). عملکرد کل دانه (۰/۹۷)، تعداد ساقه بارور (۰/۸۰) طول سنبله اصلی (۰/۶۸)، شاخص برداشت (۰/۶۳) و طول برگ پرچم (۰/۶۲) از وراثت‌پذیری بالاتری نسبت به سایر صفات برخوردار بودند (جدول ۴). با توجه به وراثت‌پذیری بالا برای دو صفت اول و نسبتاً بالا برای سه صفت بعدی می‌توان در نسل‌های در حال تفکیک از این صفات به منظور گزینش غیرمستقیم برای عملکرد دانه بهره برد. در مطالعه‌ای روی تنوع ژنتیکی لاین‌های جو لخت، وراثت‌پذیری بالایی برای طول سنبله اصلی (۰/۸۸)، تعداد دانه در سنبله اصلی

جدول ۴- برآورد واریانس‌های مختلف و وراثت‌پذیری صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های جو بهاره مورد بررسی

Table 4- Estimation of different variances and heritability of studied traits in spring barley genotypes

| | عرض برگ پرچم Flag leaf width | طول برگ پرچم Flag leaf length | طول ریشک Awn length | طول سنبله Spike length | طول میانگره Internode length | قطر در محل گره Diameter at the node location | تاریخ ساقه‌دهی Shooting date | تاریخ پنجه‌دهی Tillering date | ارتفاع بوته Plant height |
|--|---|--|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| واریانس ژنتیکی Genetic variance | 0.70 | 2.45 | 0.82 | 0.52 | 0.40 | 0.03 | 1.39 | 1.06 | 8.55 |
| واریانس محیطی Environmental variance | 2.41 | 5.83 | 2.93 | 0.98 | 1.52 | 0.09 | 9.30 | 2.72 | 23.42 |
| وراثت‌پذیری Heritability | 0.53 | 0.62 | 0.52 | 0.68 | 0.51 | 0.54 | 0.37 | 0.60 | 0.59 |

ادامه جدول ۴

Table 4 (Continued)

| | عملکرد دانه تکی بوته Grain yield per plant | وزن ریشک Awn weight | مرحله شیری Milk stage | مرحله خمیری Dough stage | تاریخ گلدهی Flowering date | قطر در محل میانگره Diameter at the internode location |
|--|---|----------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| شاخص برداشت Harvest index | بیوماس تک بوته Biomass per plant | بیوماس کل Total biomass | وزن هزار دانه 1000 grains weight | بیوماس کل Total biomass | تاریخ گلدهی Flowering date | قطر در محل میانگره Diameter at the internode location |
| واریانس ژنتیکی Genetic variance | 0.03 | 0.00 | 2.37 | 0.46 | 0.81 | 0.02 |
| واریانس محیطی Environmental variance | 0.19 | 0.00 | 11.22 | 2.62 | 5.47 | 0.07 |
| وراثت‌پذیری Heritability | 0.40 | 0.56 | 0.45 | 0.41 | 0.37 | 0.52 |

ادامه جدول ۴
Table 4 (Continued)

| عملکرد کل دانه Total grain yield | تاریخ ظهور خوشه Earing date | تعداد دانه در بوته Number of grains per plant | تاریخ جوانه‌زنی Germination date | تعداد برگ در زمان ظهور سنبله Leaf number in spike emergence | تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike | تعداد گلچه در سنبله Floret number in spike | تعداد ساقه بارور Fertile shoot number | |
|---|--------------------------------|--|-------------------------------------|--|---|---|--|------|
| واریانس ژنتیکی Genetic variance | 38335.85 | 0.68 | 36.57 | -0.22 | 4.78 | 0.94 | 0.96 | 1.10 |
| واریانس محیطی Environmental variance | 3538.20 | 2.87 | 133.06 | 2.53 | 26.49 | 4.00 | 5.27 | 1.10 |
| وراثت‌پذیری Heritability | 0.97 | 0.48 | 0.52 | 0 | 0.41 | 0.48 | 0.42 | 0.80 |

تجزیه همبستگی صفات مورد مطالعه

(Budakli and Celik, 2012). در مطالعه‌ای دیگر روی ارقام گندم، ارتباط مثبتی بین صفات تعداد سنبلچه در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و تعداد سنبلچه در سنبله با عملکرد دانه وجود داشت (Babaei Zarch *et al.*, 2014). همچنین در گزارشی دیگر، بین عملکرد دانه گندم و صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد روز تا رسیدگی، همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شده است (Sadeqh Qol *et al.*, 2011).

تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات موثر بر آن

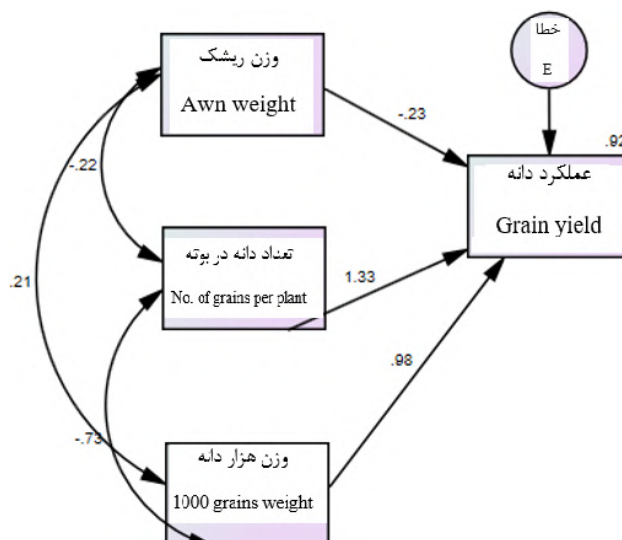
رگرسیون گام به گام برای حذف صفات غیر موثر بر عملکرد دانه کل انجام شد که صفات تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و وزن ریشک در مدل وارد شدند. برای صفات فوق تجزیه علیت انجام شد که نتایج در شکل ۱ دیده می‌شود. صفات تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اثرات مستقیم مثبت و صفت وزن ریشک اثر مستقیم منفی روی عملکرد دانه کل داشتند. بالا بودن اثر مستقیم تعداد دانه در بوته در بررسی‌های پیشین گزارش شده است (Garcia Del Moral *et al.*, 1985; 1991) که بالاتر از همبستگی آن با عملکرد بود. پس با ثابت بودن سایر صفات، افزایش تعداد دانه در بوته روی عملکرد دانه مؤثر است. اثر غیر مستقیم این صفت از طریق صفات دیگر روی عملکرد تک بوته ناچیز بود. اثر مستقیم وزن هزار دانه روی عملکرد دانه کل نیز در مرتبه دوم بعد از تعداد دانه در بوته قرار داشت. در عین حال در برخی از بررسی‌های انجام یافته، اثر مستقیم وزن هزار دانه مثبت

همبستگی بین صفات در برنامه‌های اصلاحی از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل این‌که به‌نژادگران را برای انتخاب غیرمستقیم برای صفات مهم زراعی از طریق صفات دیگر با اندازه‌گیری آسان، یاری خواهد کرد. آگاهی نداشتن از ارتباط و همبستگی صفات و انتخاب یکطرفه برای صفات زراعی ممکن است در برنامه‌های اصلاحی منجر به نتیجه کمتر از انتظار شود (Silva *et al.*, 2016). همبستگی مثبتی بین ساقه‌دهی با صفات تاریخ آبلستن و ظهور خوشه با صفات گل‌دهی، مرحله شیری، مرحله خمیری، رسیدگی، تعداد گلچه در سنبله، تعداد دانه و تعداد دانه در بوته وجود داشت. هم‌چنین گل‌دهی با مرحله خمیری همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. تعداد ساقه بارور با صفت تعداد دانه و وزن کل بوته همبستگی مثبت و با صفت وزن هزار دانه همبستگی منفی وجود داشت. تعداد گلچه در سنبله با تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در بوته و وزن کل بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. عملکرد دانه در تک‌بوته با صفات بیوماس تک‌بوته و بیوماس کل کرت همبستگی مثبت و هم‌چنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه در تک‌بوته با شاخص برداشت وجود داشت. عملکرد کل بوته با صفت بیوماس تک‌بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت شاخص برداشت همبستگی منفی وجود داشت (جدول درج نشده است).

در همین رابطه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد ارقام جو با ارتفاع بوته، طول پدانکل، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت گزارش شده است

دانه کل اثر مستقیم مثبت و بالایی داشتند ولی اثر مستقیم وزن ریشک روی عملکرد دانه کمتر از این دو صفت بود؛ بنابراین، تعداد دانه و وزن هزار دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در جو بهاره محسوب شدند که می‌توان از این صفات در امر گزینش در نسل‌های در حال تفرق استفاده به عمل آورد.

و زیاد عنوان شده است (Tewari, 1981; Puri *et al.*, 1982). تفاوت در نتایج آزمایش‌ها را می‌توان به نوع ژنوتیپ‌های مورد استفاده و تفاوت شرایط محیطی نسبت داد. در نهایت وزن ریشک اثر مستقیم منفی ولی ناچیز روی عملکرد دانه داشت. در تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مؤثر بر آن می‌توان اظهار داشت که تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه روی عملکرد



شکل ۱- دیاگرام علیت صفات مؤثر بر عملکرد دانه کل در ژنوتیپ‌های جو بهاره مورد بررسی

Figure 1- Path diagram of traits affecting total grain yield in spring barley genotypes

۵). سه مؤلفه اصلی اول ۵۲/۸۸ درصد از تنوع را توجیه کردند. مؤلفه اول ۲۶/۴۹ درصد از تنوع کل را توجیه کرد. این مقادیر برای مؤلفه‌های دوم و سوم به ترتیب ۱۷/۲۳ و ۹/۱۵۲ درصد بود. در مؤلفه اول، صفات تاریخ آبستنی (۰/۸۸۴)، تعداد دانه در سنبله (۰/۸۵۵)، تاریخ گل‌دهی (۰/۷۷۶)، عرض برگ پرچم (۰/۸۸۳) دارای ضرایب مثبت و ارزش بالا بودند. با توجه به صفات ذکر شده به‌طور کلی می‌توان مؤلفه اول را به‌عنوان مؤلفه عملکرد دانه نام‌گذاری کرد. در مؤلفه دوم، صفات ارتفاع بوته (۰/۸۸۵)، ساقه‌دهی (۰/۸۸۰)، طول برگ پرچم (۰/۸۷۳) دارای ضریب مثبت بزرگ و صفات وزن هزار دانه (۰/۳۸۷-) و وزن کل بوته (۰/۳۷۷-) دارای ضرایب منفی بالا بودند. مؤلفه دوم را می‌توان تعداد برگ (مؤلفه رشد) نام‌گذاری کرد. در مؤلفه سوم، صفات ظهور خوشه (۰/۵۸۶)، مرحله شیری (۰/۷۳۹) و تعداد دانه در بوته (۰/۵۷۰) دارای ضرایب و ارزش بالا بودند. مؤلفه سوم را می‌توان صفات مربوط به رسیدگی نام‌گذاری کرد. از این مؤلفه‌ها می‌توان برای انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب جو استفاده کرد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس صفات اندازه‌گیری شده

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تفسیر روابط موجود میان صفات و گروه‌بندی آن‌ها بر مبنای این روابط استفاده می‌شود تا از این راه مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد و نیز عوامل پنهانی که موجب پدید آمدن ساختار خاص ماتریس کواریانس (همبستگی) میان صفات شده‌اند، شناسایی شوند و گروه‌هایی از متغیرها که بیشترین همبستگی درون‌گروهی را دارند و با دیگر گروه‌ها کمترین همبستگی را نشان می‌دهند مشخص شوند (Tadesse and Bekele, 2001). مطالعات زیادی در ارتباط با ارزیابی صفات و تعیین ماهیت، اهمیت و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه جو با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و سایر روش‌های چندمتغیره انجام شده است. در بیشتر این تحقیقات، بحث در مورد ارتباط بین صفات با عملکرد دانه و نهایتاً گروه‌بندی آن‌ها شده است (Drikvand *et al.*, 2011; Zeng, 2015). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس میانگین صفات در ۲۸ ژنوتیپ جو انجام شد (جدول

جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ۲۷ ژنوتیپ جو

Table 5- Results of principal components analysis for 27 barley genotypes

| صفت Trait | مؤلفه اصلی Principal Component | | | | | | |
|---|-----------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| تاریخ جوانه‌زنی Germination date | 0.595 | 0.234 | -0.193 | 0.134 | -0.351 | -0.163 | 0.367 |
| رشد گیاهچه Seedling growth | 0.392 | 0.460 | 0.324 | -0.612 | -0.036 | <u>-0.070</u> | -0.102 |
| تاریخ پنجه‌دهی Tillering date | 0.309 | 0.516 | 0.294 | -0.635 | -0.100 | -0.080 | <u>0.014</u> |
| تاریخ ساقه‌دهی Shooting date | 0.021 | 0.880 | -0.223 | 0.095 | 0.099 | 0.128 | -0.265 |
| تاریخ آبستنی Booting date | <u>0.884</u> | 0.133 | -0.065 | 0.164 | -0.233 | 0.105 | -0.102 |
| تاریخ ظهور خوشه Earing date | 0.133 | -0.255 | 0.586 | <u>0.322</u> | 0.229 | 0.066 | <u>0.481</u> |
| تاریخ گلدهی Flowering date | 0.776 | -0.172 | -0.081 | -0.088 | 0.350 | -0.150 | 0.112 |
| مرحله شیری Milk stage | -0.143 | <u>-0.065</u> | <u>0.739</u> | <u>0.004</u> | -0.268 | 0.161 | 0.256 |
| مرحله خمیری Dough stage | <u>-0.096</u> | -0.138 | 0.346 | 0.377 | -0.168 | <u>0.543</u> | -0.320 |
| تاریخ رسیدگی Maturity date | 0.659 | 0.070 | -0.134 | 0.320 | -0.201 | -0.311 | 0.221 |
| تعداد ساقه بارور Fertile shoot number | 0.575 | 0.022 | <u>0.030</u> | -0.335 | 0.098 | 0.330 | 0.041 |
| تعداد گلچه در سنبله Floret number in spike | 0.596 | -0.283 | -0.089 | -0.236 | <u>0.389</u> | 0.352 | -0.045 |
| تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike | 0.588 | 0.032 | -0.012 | 0.046 | 0.504 | -0.318 | 0.025 |
| تعداد دانه در بوته No. of grains per plant | 0.855 | 0.025 | 0.570 | 0.087 | -0.117 | -0.402 | -0.400 |
| وزن کل بوته Plant total weight | 0.271 | -0.377 | 0.317 | 0.309 | 0.295 | -0.276 | -0.444 |
| وزن هزار دانه 1000 grains weight | 0.557 | -0.387 | 0.002 | -0.029 | 0.225 | 0.333 | 0.084 |
| ارتفاع بوته Plant height | 0.069 | <u>0.885</u> | 0.156 | 0.301 | 0.216 | 0.132 | 0.058 |
| طول برگ پرچم Flag leaf length | 0.034 | 0.873 | 0.148 | 0.313 | 0.183 | 0.115 | 0.073 |
| عرض برگ پرچم Flag leaf width | 0.883 | 0.144 | -0.063 | 0.160 | -0.236 | 0.110 | -0.101 |
| تعداد برگ در زمان ظهور سنبله Leaf number in spike emergence | 0.477 | 0.141 | -0.323 | 0.227 | <u>0.018</u> | 0.119 | -0.092 |
| طول ریشک Awn length | 0.736 | 0.458 | 0.127 | 0.023 | 0.350 | -0.064 | 0.162 |

Annicchiarico, 1988). در بررسی دیگری روی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم، دو مؤلفه اول بیشترین میزان تغییرات را توجیه نمود. صفات روز تا ۵۰ درصد خوشه‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و طول سنبله در جهت مثبت و وزن هزار دانه در جهت منفی بیشترین سهم را در توجیه تنوع داشتند. در مؤلفه دوم بالاترین سهم در توجیه تنوع متعلق به صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن

در مطالعه‌ای روی تنوع موجود در بین ۲۶ رقم جو زمستانه تونس از ۱۲ صفت زراعی استفاده گردید و با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ۴ مؤلفه اصلی شناسایی شد که ۸۷ درصد از تنوع کل را توجیه کرد (Hamza et al., 2004). در پژوهشی دیگر با ارزیابی ۷ صفت زراعی و فیزیولوژیک در ۴ گروه از گندم‌های دوروم، دو مؤلفه اصلی شناسایی شد که در مجموع ۶۴ درصد از تغییرات را توجیه کرد (Pecetti and

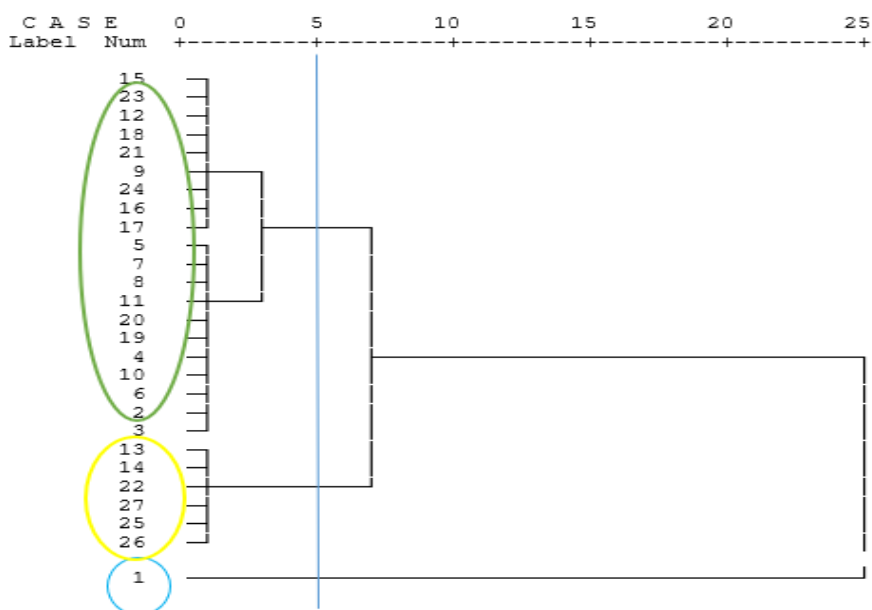
سنبله بود. عامل سوم با توجه ۱۸ درصد از تغییرات کل عامل وزنی نام گذاری شد. در عامل چهارم که ۱۲ درصد تنوع موجود را توجیه نمود، صفات ارتفاع، تعداد گره در ساقه و متوسط طول میان گره دارای بار عاملی مثبت و بالایی بودند. بالاخره در عامل پنجم طول و عرض برگ پرچم و طول غلاف برگ پرچم قرار داشتند (Saeidi, 2003).

تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های جو بهاره

تجزیه کلاستر با فرمول $\sqrt{n}/2$ (تعداد ژنوتیپ‌ها، n) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه جو بهاره را به سه گروه تقسیم‌بندی کرد (شکل ۲). ژنوتیپ ۱ در کلاستر اول، ژنوتیپ‌های ۲۶، ۲۵، ۲۷، ۲۲، ۱۴، ۱۳ در کلاستر دوم و بقیه ژنوتیپ‌ها در کلاستر سوم قرار گرفتند.

دانه در خوشه و تعداد دانه بود. در مؤلفه سوم صفات تعداد دانه در واحد سطح و عملکرد بیولوژیک، بیشتر از سایر صفات در تبیین تغییرات سهمیم بودند (Farahani and Arzani, 2008). در تحقیقی (Hadado *et al.*, 2009)، صفات مورفولوژیکی سنبله در جمعیت‌های محلی جو اندازه‌گیری شد و مشخص شد که تنوع در جو یک رابطه پیچیده با گستردگی در محیط اکوسیستم زراعی دارد. در این تحقیق جوهای با تعداد ردیف نامنظم و شش ردیف بیشترین فراوانی و دو ردیف کمترین فراوانی را داشتند.

در تجزیه به عامل‌ها، حدود ۹۲ درصد واریانس توسط ۵ عامل توجیه شد. عامل اول که ۲۹ درصد واریانس داده‌ها را توجیه کرد، مربوط به ظرفیت پنجه‌دهی گیاهی بود. عامل دوم با توجه ۲۳ درصد واریانس مربوط به صفات مرتبط با ساختمان



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جو بر اساس میانگین صفات مورد ارزیابی با استفاده از روش وارد و معیار فاصله اقلیدسی

Figure 2- Dendrogram of cluster analysis of barley genotypes based on the mean of the evaluated traits using Ward's algorithm and Euclidean distance measure

میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های کلاستر سوم می‌تواند در برنامه‌های بهنژادی برای عملکرد دانه به کار رود. هم‌چنین با توجه به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، سه مؤلفه اصلی اول مجموعاً ۵۲/۸۸ درصد از تنوع صفات را توجیه کردند که مؤلفه اول، مؤلفه عملکرد دانه و مؤلفه دوم تعداد برگ (مؤلفه رشد) نام گذاری شد. از این مؤلفه‌ها می‌توان در امر گزینش برای ژنوتیپ‌های جو بهاره استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

اختلاف بین ژنوتیپ‌های جو بهاره مورد بررسی، از لحاظ تمام صفات غیر از تاریخ گل‌دهی معنی‌دار بود. تجزیه کلاستر، ژنوتیپ‌های جو بهاره را در سه گروه جای داد. ژنوتیپ ۱ در کلاستر اول، ژنوتیپ‌های ۲۶، ۲۵، ۲۷، ۲۲، ۱۴، ۱۳ در کلاستر دوم و بقیه ژنوتیپ‌ها در کلاستر سوم قرار گرفتند. با توجه به

References

- Assefa, K., Cannarozzi, G., Girma, D., Kamies, R., Chanyalew, S., Plaza-Wüthrich, S. and Tadele, Z. 2015. Genetic diversity in tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter]. *Frontiers in Plant Science*, 6: 177.
- Babaei Zarch, M.J., Fotokian, M.H. and Mahmoodi, S. 2014. Evaluation of genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for morphological traits using multivariate analysis methods. *Journal of Crop Breeding*, 6(14): 1-14. (In Persian).
- Baraty, M., Amiri, R., Ebrahimi, M., Naghavi, M.R. and Nikkhah, H.M. 2014. Study of genetic diversity in some agronomic traits of barley using recombinant inbred lines. *Applied Field Crop Research*, 102: 61-70. (In Persian).
- Budakli, E. and Celik, N. 2012. Correlation and path coefficient analyses of grain yield and yield components in two-rowed of barley (*Hordeum vulgare*) varieties. *Notulae Scientia Biologicae*, 4(2): 128-131.
- Daghaghel, R., Sabouri, H., Hosseini Moghaddm, H., Jorjani, E. and Fallahi, H.A. 2018. Mapping genes controlling morphological traits in F3 families caused by becher×kavir cross in barley. *Modares Journal of Biotechnology*, 9(3): 473-482. (In Persian).
- Dido, A.A., Krishna, M.S.R., Assefa, E., Degefu, D.T., Singh, B.J.K. and Tesfaye, K. 2022. Genetic diversity, population structure and relationship of Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces as revealed by SSR markers. *Journal of Genetics*, 101: 1-20.
- Drikvand, R., Samiei, K. and Hossinpoor, T. 2011. Path coefficient analysis in hull-less barley under rainfed condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5: 277-279.
- Ebadi, A., Sahed, K. and Sanjari A.H. 2017. The effect of irrigation cut on dry matter remobilization and some of agronomy traits on spring barley. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(4): 19-37. (In Persian).
- Farahani, Y. and Arzani A. 2008. Investigation of genetic diversity of durum wheat genotypes using multivariate analysis. *Electronic Journal of Crop Production*, 1: 51-64. (In Persian).
- Ferreira, J.R., Pereira, J.F., Turchetto, C., Minella, E., Consoli, L. and Delatorre, C.A. 2016. Assessment of genetic diversity in Brazilian barley using SSR markers. *Genetics and Molecular Biology*, 39(1): 86-96.
- Garcia Del Moral, L.F., Ramos, J.M., Garcia Del Moral, M.B. and Jimenez-Tajeda, M.P. 1991. Ontogenetic approach to grain production analysis. *Crop Science*, 31: 1179-1185.
- Garcia Del Moral, L.F., Ramos, J.M. and Recalde, L. 1985. Relationships between vegetative growth, grain yield and grain protein content in six barley cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 65: 523-532.
- Gozukirmizi, N. and Karlik, E. 2017. Barley (*Hordeum vulgare* L.) improvement past, present and future. in: Kanauchi, M. (ed.), *Brewing Technology*, IntechOpen.
- Hadado, T., Rau, D., Bitocchi, E. and Papa, R. 2009. Genetic diversity of barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from the central highlands of Ethiopia: comparison between the Belg and Meher growing seasons using morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56: 1131-1148.
- Hailu, F., Merker, A., Belay, G. and Johansson, E. 2006. Multivariate analysis of diversity of tetraploid wheat germplasm from Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(6): 1089-1098.
- Hamza, S., Hamida, W.B., Rebai, A. and Harrabi, M. 2004. SSR-based genetic diversity assessment among Tunisian winter barley and relationship with morphological traits. *Euphytica*, 135: 107-118.
- Heidari Sharifabad, H. 2000. *Plant and Drought*. Publications of the Research Institute of Forest and Rangelands. (In Persian).
- Jalata, Z., Ayana, A. and Zeleke, H. 2010. Variability, heritability, and genetic advance for some yield and yield related traits in Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces and crosses. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 5: 44-52.
- Larsson, M.N.A., Leino, M.W. and Hagenblad, J. 2021. Genetic diversity in 19th century barley (*Hordeum vulgare*) reflects differing agricultural practices and seed trade in Jämtland, Sweden. *Diversity*, 13: 315.

- Li, Z., Lhundrup, N., Guo, G., Dol, K., Chen, P., Gao, L., Chemi, W., Zhang, J., Wang, J., Nyema, T., Dawa, D. and Li, H. 2020. Characterization of genetic diversity and genome-wide association mapping of three agronomic traits in qingke barley (*Hordeum vulgare* L.) in the Qinghai-Tibet plateau. *Frontiers in Genetics*, 11: 1-15.
- Memon, S., Yang, S., Liu, X., He, X., Memon, S., Khaskheli, M.I. and Feng, Z. 2021. Assessment of genetic diversity in chinese hullless barley accessions for qualitative traits. *Bioscience Journal*, 37: 37-46.
- Mohammadi, S.A. and Prasanna, B.M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, 43(4): 1235-1248.
- Pearce, S.R., Knox, M., Ellis, T.H.N., Flavell, A.J. and Kumar, A. 2000. Pea Ty1-copia group retrotransposons: transpositional activity and use as markers to study genetic diversity in *Pisum*. *Molecular and General Genetics*, 263(6): 898-907.
- Pecetti, L. and Annicchiarico, P. 1988. Agronomic value and plant type of Italian durum wheat cultivars from different eras of breeding. *Euphytica*, 99: 9-15.
- Puri, Y.P., Qualset, C.D. and Williams, A.W. 1982. Evaluation of yield components as selection criteria in barley breeding. *Crop Science*, 22: 427-431.
- Rezaei, S., Khodarahmi, M. and Mostafavi, Kh. 2012. Study of traits in different barley types using factor analysis under terminal drought stress and without stress conditions. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(3): 149-160. (In Persian).
- Sadegh Qol Moghadam, R., Khoda Rahmi, M. and Ahmadi, G. 2011. Investigation of genetic diversity and factor analysis for grain yield and other morphological traits of bread wheat under drought stress. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7(1): 133-147. (In Persian).
- Saeidi, M. 2003. Multivariate statistical analysis of yield and yield component in barley. M.Sc. Thesis, Agriculture College, University of Zabol. (In Persian).
- Silva, T.N., Moro, G.V., Moro, F.V., Santos, D.M.M.D. and Buzinaro, R. 2016. Correlation and path analysis of agronomic and morphological traits in maize. *Journal of Revista Ciência Agrônômica*, 47: 351-357.
- Tadesse, W. and Bekele, E. 2001. Factor analysis of components of yield in grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Lathyrus Lathyrism Newsletter*, 2: 91-93.
- Tewari, S.N. 1981. Path-coefficient analysis for grain yield and its components in a collection of barley germplasm. Proceeding of the Third International Barley Genetic Symposium. July 22-29, Edinburgh, Scotland, pp. 689-701.
- Valizadeh Kamran, R. 2003. Investigation of genetic diversity in 49 different lines of naked barley. Master Thesis in Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Persian).
- Zaheer, A., Ajmal, S.U., Munir, M., Zubair, M. and Masood, M.S. 2008. Genetic diversity for morphogenetic traits in barley germplasm. *Pakistan Journal of Botany*, 40: 1217-1224.
- Žáková, M. and Benkova, M. 2004. Genetic diversity of genetic resources of winter barley maintained in the genebank in Slovakia. *Journal of Genetic and plant Breeding*, 40: 118-126.
- Zeng, X.Q. 2015. Genetic variability in agronomic traits of a germplasm collection of hullless barley. *Genetic Molecular Research*, 14: 18356-18369.

Evaluation of genetic diversity of spring barley genotypes with respect to some phenological and morphological traits

Ramin Modarresi¹, Alireza Pourmohammad^{1*}, Behzad Sadegzadeh²

¹ Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

² Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh, Iran

*Corresponding Author: Pourmohammad@ymail.com

Received: 24 May 2022

Accepted: 20 July 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.343913.1242

Abstract

Introduction: Barley (*Hordeum vulgare*) is the fourth most important crop in the world. It is commonly used for human food, malt, and animal feed. Through the study of pedigrees, morphological and biological traits, and molecular markers, it is possible to estimate the genetic diversity of crops, which plays an essential role in promoting breeding programs and preserving genetic resources. This study aims to identify superior barley genotypes in terms of phenological and morphological traits, group them using cluster analysis, and reduce the measured traits using principal component analysis.

Materials and Methods: To evaluate the genetic diversity of spring barley genotypes based on phenological and morphological traits, an experiment was conducted at Divandareh Dryland Agricultural Research Station using a randomized complete block design with 27 genotypes in four replications. In this investigation, plant height, tillering date, shooting date, flag leaf width, flag leaf length, awn length, spike length, internode length, diameter at node location, internode diameter, flowering date, dough stage, milk stage, rootlet weight, grain yield per plant, biomass per plant, total biomass, 1000 grains weight, harvest index, number of fertile stems, number of florets per spike, number of grains per spike, number of leaves at spike emergence, germination date, maturity date, number of grains per plant, spike emergence date and total grain yield were evaluated. Analysis of variance was performed, and the method of least significant differences was used to compare the means (LSD). Using Pearson's correlation coefficient, the relationship between the studied traits was determined. Principal component analysis was utilized for data reduction. Using cluster analysis, the studied genotypes were grouped. MSTATC and SPSS softwares were utilized for data analysis.

Results and Discussion: Except for flowering date, differences between genotypes were significant for the majority of traits, indicating a high level of diversity among spring barley genotypes. Greater heritability was observed for total grain yield, number of fertile shoots, main spike length, harvest index, and flag leaf length than for other traits. These traits can be used to segregate generations for indirect grain yield selection due to their high heritability. Path analysis (by stepwise regression) revealed that number of grains per plant and 1000-grain weight had a direct and significant effect on total grain yield, whereas the direct effect of awn weight on grain yield was less than that of number of grains per plant and 1000-grain weight. Therefore, grain number per plant and 1000-grain weight were the most influential factors in spring barley grain yield. Based on the evaluated traits, the cluster analysis divided the studied genotypes into three groups. The genotype 1 was found in the first cluster, the genotypes 26, 25, 27, 22, 14, 13, and the remaining genotypes were found in the third cluster. The first three principal components in principal component analysis explained 52.88 % of the total variance. The respective values for the second and third components were 17.23% and 9.15%. The traits of booting date (0.884), number of grains per spike (0.855), flowering date (0.776), and flag leaf width (0.883) had positive coefficients and high values in the first component. In the second component, plant height (0.885), shooting date (0.880), and flag leaf length (0.873) all had large positive coefficients, whereas 1000 -grain weight (-0.387) and plant weight (-0.377) had large

negative coefficients. The number of leaves can be proposed as the third component. Cluster emergence date (0.586), milk stage (0.739), and number of grains per plant (0.570) had high coefficients in the third component. The third component is maturity-related characteristics.

Conclusion: According to the means, the third cluster of genotypes can be utilized in grain yield breeding programs. Based on the results, the first component shall be designated as the grain yield and total biomass component. This component can be used for spring barley genotype selection.

Keywords: Cluster analysis, Grain yield, Principal components analysis

ترسیب کربن و پتانسیل گرمایش جهانی مزارع گندم آبی و دیم در مناطق نیمه خشک (مطالعه موردی: شهرستان شیروان)

مهدی بابائیان^{۱*}، اسماعیل شیرغانی^۱، مصطفی جعفریان^۲

۱- دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

۲- دانش آموخته دکتری رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: mahdibbn@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.310630.1144

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

به منظور ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام هوایی و ریشه و نیز پتانسیل گرمایش جهانی ارقام آبی و دیم گندم، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در استان خراسان شمالی، شهرستان شیروان اجرا شد. بدین منظور نمونه برداری به روش تصادفی سیستماتیک در ۳۰ مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک انجام شد و مقدار نهاده‌های مصرفی از طریق پرسش‌نامه چهره به چهره به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد ارقام آبی نسبت به ارقام دیم از ضریب تبدیل اندام هوایی بالاتری برخوردار بودند و رقم پیشگام با میانگین ۴۹/۶۸ درصد بیشترین مقدار ضریب تبدیل اندام هوایی را داشت. مقایسه توان ترسیب اندام هوایی ارقام گندم آبی نشان داد رقم میهن با میانگین ۳۳۹۸/۷۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین مجموع توان ترسیب کربن را داشت و رقم حیدری با توان ترسیب ۲۳۲۹/۳۰ کیلوگرم در هکتار کمترین مجموع توان ترسیب کربن را از خود نشان داد. در بین ارقام دیم نیز رقم باران با میانگین ۱۴۲۵/۲ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با رقم آذر ۲ با میانگین ۵۱۲/۶۰ از ترسیب کربن بالاتری برخوردار بود. بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داد CO₂، CH₄ و N₂O تولید شده در مزارع گندم آبی و مزارع گندم دیم به ترتیب ۱۲۱۲/۹۷۵ و ۶۵۱/۳۳ کیلوگرم در هکتار بود و پتانسیل گرمایش جهانی برای یک هکتار گندم آبی و یک هکتار گندم دیم به ترتیب برابر ۲۸۷۵/۶۲۱ و ۹۱۹/۲۶۳ کیلوگرم معادل CO₂ بدست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش کشت رقم میهن (آبی) و رقم باران (دیم) در بوم‌نظام‌های زراعی شهرستان شیروان باعث افزایش توان ترسیب کربن و کاهش انتشار CO₂ خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: دی اکسیدکربن، ضریب تبدیل، گازهای گلخانه‌ای، ماده آلی

مقدمه

تقریباً ۲ تا ۳ برابر کربن موجود در پوشش گیاهی و یا جو است (Schimel, 1995)؛ بنابراین هر عاملی که منابع کربن آلی خاک و کربن موجود در پوشش گیاهی را کاهش دهد باعث افزایش قابل توجهی در غلظت گازهای گلخانه‌ای جو خواهد شد و این مسئله در نهایت به گرم‌تر شدن کره زمین خواهد انجامید. با توجه به نقش فعالیت‌های کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای، بوم‌نظام‌های زراعی باید در جهت کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای مدیریت شوند (Khoramdel et al., 2018).

از جمله راهکارهای اکولوژیکی برای حذف دی‌اکسید کربن، ترسیب کربن در پوشش گیاهی و خاک‌های تحت این پوشش گیاهی، به عنوان یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین راهکارها است (Uri, 2000). در این رابطه پژوهش‌گران اعلام نمودند ترسیب کربن یک عامل مهم در کاهش گرمایش جهانی است

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی، باعث تغییر اقلیم شده و گرمایش جهانی را به دنبال داشته است (Lal, 2004). برخی محققین کربن را مهم‌ترین عنصر گازهای گلخانه‌ای می‌دانند که در دهه‌های اخیر تأثیر زیادی بر تغییرات اقلیمی گذاشته است (Heinemann et al., 2006). غلظت CO₂ در سال ۱۷۵۰ میلادی ppm ۲۸۰، در سال ۱۹۹۹ ppm ۳۶۷ و در سال‌های اخیر نیز حدود ppm ۴۰۲ گزارش شد (Lal, 2004; Tans, 2016). در سطح کره زمین سه منبع مهم کربن آلی، خاک، جو و پوشش گیاهی هستند که در این میان، خاک با حدود ۱۵۸۰ گیگا تن به عنوان بزرگ‌ترین منبع کربن آلی کره زمین شناخته می‌شود به طوری که مقدار کربن آن

CO₂ به ازای یک هکتار بود که ۰/۷۶ درصد آن مربوط به CH₄، ۲۷/۲۲ درصد آن مربوط به CO₂ و ۷۲/۰۲ درصد آن مربوط به N₂O محاسبه گردید (Babaeian et al., 2021).

در پژوهشی دیگر در استان خراسان شمالی برای تولید یک هکتار کلزا مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای معادل ۱۴۲۲/۰۳ کیلوگرم در هکتار و مجموع پتانسیل گرمایش جهانی ۲۴۱۳/۳۸ کیلوگرم معادل CO₂ گزارش شد (Babaeian et al., 2022). ارزیابی نظام‌های تولید زعفران در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی نیز نشان داد مجموع پتانسیل گرمایش جهانی برای یک هکتار برابر ۱۳/۵۱ تن، کیلوگرم معادل CO₂ به ازای یک هکتار بود (Khorramdel et al., 2016). آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۸ نشان داد از ۱۰۷۹۷۹ هکتار اراضی آبی استان خراسان شمالی ۴۷۲۷۴ آن به کشت گندم آبی و از ۱۴۹۱۳۴ هکتار اراضی دیم این استان، ۹۹۰۰۰ هکتار آن به کشت گندم دیم اختصاص یافت که نشان‌دهنده جایگاه ویژه گندم آبی و دیم در بین محصولات کشاورزی استان خراسان شمالی است (Anonymous, 2019). لذا با توجه به اینکه کاهش میزان ماده آلی خاک و کاهش پتانسیل ترسیب کربن اراضی کشاورزی یکی از دلایل مهم افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم است، مطالعه جریان تغییر مواد آلی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بوم نظام‌های زراعی بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی توان ترسیب کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم و ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی در بوم نظام‌های تولید گندم استان خراسان شمالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن

به منظور ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی (ساقه و سنبله) و اندام زیرزمینی (ریشه) ارقام آبی و دیم گندم پژوهشی، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در استان خراسان شمالی، شهرستان شیروان اجرا شد. ارقام آبی مورد بررسی شامل رقم‌های میهن، پیشگام و حیدری بودند و ارقام دیم مورد مطالعه شامل رقم‌های آذر ۲ و باران بودند. جهت انجام پژوهش نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک (Chambers, 1983) از شش نقطه در ۳۰ مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری

(Wiesmeier et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر نیز نشان داده شد که برگرداندن ۵۰ درصد از بقایای گیاهی توان ترسیب کربن خاک را افزایش داد (Yan et al., 2007). پژوهشی دیگر نشان داد که ترسیب کربن در نظام کشت گندم-برنج در مزارع دارای کود دامی ۵۵ درصد و در مزارع دارای کود شیمیایی ۷۰ درصد بیشتر از نظام کشت گندم-ذرت بود (Kukal and Benbi, 2009). کربن ترسیب شده می‌تواند در بخش‌های مختلف اکوسیستم شامل بیوماس، لاشبرگ و خاک اراضی ذخیره شود (Su et al., 2003). مطابق گزارش‌های منتشر شده بین میزان ذخیره کربن پوشش گیاهی، فرم‌های رویشی و گستردگی سطوح اندام‌های گیاهی ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود داشت (Najmoddini, 2013). در آزمایشی روی گندم دیم نیز نشان داده شد در بین اندام‌های گیاهی، سنبله‌ها بیشترین و ریشه‌ها کمترین میزان ترسیب کربن را داشتند به طوری که میزان ترسیب کربن در زیست‌توده گیاهی ۱/۸۸۴ تن در هکتار بود و میزان کربن آلی خاک ۱۶/۳۳۲ تن در هکتار محاسبه شد که نشان داد گندم از توانایی بالایی در ترسیب کربن برخوردار است (Jafarian and Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013). در گیاه روغنی کلزا پژوهش‌گران دریافته‌اند توان ترسیب کربن ساقه کلزا ۲/۴ برابر توان ترسیب برگ بود (Khorramdel et al., 2016).

با توجه به پایین بودن میزان ماده آلی خاک در نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران به ویژه بوم‌نظام‌های کشاورزی خراسان شمالی، استفاده از راهکارهایی که بتواند محتوی کربن ماده آلی خاک را افزایش دهد از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش گرمای جهانی انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای در سال‌های اخیر بوده است و در بوم‌نظام‌های کشاورزی نیز مهم‌ترین دلایل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای مصرف کودها و سموم شیمیایی و همچنین سوخت‌های فسیلی است (Khorramdel et al., 2018)؛ لذا بررسی میزان انتشار این گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی تولید محصولات زراعی از اهمیت بالایی برخوردار است. پتانسیل گرمایش جهانی روشی برای محاسبه میزان تأثیر یک محصول کشاورزی در ایجاد گرمایش جهانی به شمار می‌رود که متأثر از میزان سوخت دیزل، مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس و میزان مصرف الکتروسیته است. در همین رابطه پتانسیل گرمایش جهانی چغندر قند در خراسان شمالی برابر ۹۰۴۸/۸۵ کیلوگرم معادل

پارافین تعیین گردید و برای اندازه‌گیری میزان ترسیب کربن از معادله ۲ استفاده شد.

$$C_c = 10000 \times \%OC \times BD \times E \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این معادله، C_c میزان کربن ترسیب شده در سطح یک مترمربع بر حسب گرم در هر مترمربع، OC : درصد کربن آلی، BD : وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و E : عمق نمونه خاک به سانتی‌متر است.

برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

به منظور ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی گندم میزان مصرف سوخت دیزل، الکتریسیته و کود و سموم شیمیایی از طریق تکمیل ۳۰ پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از کشاورزان منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. تعداد پرسشنامه از رابطه کوکران (Snedecor and Cochran, 1980) به دست آمد.

$$n = (N t^2 s) / (Nd^2 + t^2 s^2) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در این معادله، N : اندازه جمعیت آماری، t : استیودنت ضریب اطمینان (بر اساس احتمال ۹۵ درصد)، S : واریانس، d : دقت احتمالی مطلوب و n : حجم نمونه است. میزان مصرف نهاده‌های مورد استفاده به ازای یک هکتار در بوم‌نظام‌های گندم آبی و دیم شهرستان شیروان در جدول ۱ ارائه شده است.

خاک انجام شد (Mahdavi *et al.*, 2009). برداشت اندام‌های رویشی و زایشی شامل دانه + سنبله، ساقه، برگ و ریشه در بهار در سه مرحله فنولوژیک (ساقه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک) انجام شد. برای مطالعه خاک، از بین پلات‌های مستقر شده در امتداد هر ترانسکت، شش پروفیلی به عمق ۳۰ سانتی‌متر در زیر هر گیاه حفر و از آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. برای تعیین ضرایب تبدیل در اندام‌های مورد نظر از روش احتراق (Abdi *et al.*, 2008; Foroozeh and Mirzaali, 2006) استفاده شد. ابتدا اندام‌های (هوایی و زیرزمینی) برداشت شده به تفکیک به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک شدند و سپس دو گرم از هر نمونه به مدت سه ساعت در کوره احتراق با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. خاکستر نمونه‌ها جهت خنک شدن در دسیکاتور قرار گرفته و سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند و برای محاسبه محتوی کربن اندام‌های گیاهی از معادله ۱ استفاده شد (Polidori *et al.*, 2008).

$$OC = OM \times 0.54 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این معادله OC و OM ، به ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار ماده آلی (درصد) است. میزان کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی و بلک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد، وزن مخصوص ظاهری با روش کلوخه و

جدول ۱- میانگین نهاده‌های مصرفی در بوم‌نظام‌های گندم در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 1- Mean of consumed inputs in wheat agroecosystems during season year of 2020-2021

| ارقام Cultivars | الکتریسیته Electricity | پتاسیم K (Kg) | فسفر P (Kg) | نیترژن N (Kg) | سوخت Fuel (L) |
|-----------------------------|---------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| گندم آبی Irrigated wheat | 590 | 100 | 100 | 150 | 150 |
| گندم دیم Rainfed wheat | - | 50 | 50 | 50 | 115 |

صورت معادل دی‌اکسید کربن محاسبه گردید (Tzivilakis *et al.*, 2005).

$$GWP = CO_2 \text{ flux} + (N_2O \text{ flux} \times 310) + (CH_4 \text{ flux} \times 21) \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادله GWP : پتانسیل گرمایش جهانی، CO_2 : $flux$ انتشار CO_2 ، $N_2O \text{ flux}$: انتشار اکسید نیترژن و CH_4 $flux$: انتشار متان است.

به دلیل عدم وجود ضریب انتشار CO_2 برای آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها و مصرف بسیار ناچیز این ترکیبات شیمیایی در مزارع مورد بررسی، از برآورد نقش آن‌ها در پتانسیل گرمایش جهانی مزارع گندم خودداری شد. با توجه به اینکه که هر یک از گازهای گلخانه‌ای بر پتانسیل گرمایش جهانی تأثیر متفاوتی دارند، لذا این شاخص با استفاده از معادله ۴ به

جدول ۲- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

Table 2- Greenhouse gas emission and global warming potential coefficients

| منبع Source | متان CH ₄ (g) | اکسید دی نیتروژن N ₂ O (g) | دی اکسید کربن CO ₂ (g) | نهاده Input |
|-----------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|--|
| (Kramer <i>et al.</i> , 1999) | 5.20 | 0.70 | 3560 | سوخت دیزل Diesel(L) |
| (Snyder <i>et al.</i> , 2009) | 3.70 | 0.03 | 3100 | کود نیتروژن (اوره) Nitrogen fertilizer (urea) (kg) |
| (Snyder <i>et al.</i> , 2009) | 1.80 | 0.02 | 1000 | کود فسفات Phosphate fertilizer (kg) |
| (Snyder <i>et al.</i> , 2009) | 1 | 0.01 | 700 | کود پتاس Potassium fertilizer (kg) |
| (Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005) | 0.02 | 8.82 | 61.20 | الکتریسیته Electricity (kWh) |
| (Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005) | 21 | 310 | 1 | پتانسیل گرمایشی جهانی Global warming potential (CO ₂ eq) |

مخصوص ظاهری ۱/۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و خاک مزارع دیم دارای وزن مخصوص ظاهری ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بودند. همچنین میانگین ماده آلی خاک در مزارع آبی و دیم به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۴۴ درصد بود. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین منابع افزایش ماده آلی خاک برگرداندن بقایای گیاهی محصول قبل به زمین است، به نظر می‌رسد تولید کمتر زیست‌توده در اراضی دیم نسبت به اراضی آب شهرستان شیروان باعث کاهش میزان ماده آلی موجود در خاک اراضی دیم نسبت به اراضی آبی شده است.

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ارزیابی توان بالقوه ترسیب کربن در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۳ تکرار با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع گندم آبی و مزارع گندم دیم به صورت مجزا در جدول ۳ ذکر شده است. بر اساس نتایج جدول ۳ خاک مزارع آبی دارای وزن

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع گندم آبی و دیم

Table 3- Soil chemical characteristics of irrigated and rainfed wheat fields

| محل آزمایش Tretment site | وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm) | پتاس K (mg/Kg) | فسفر P (mg/Kg) | نیتروژن N (%) | کربن آلی OC (%) | اسیدیته pH | هدایت الکتریکی EC (dS/m) | عمق خاک Soil depth (cm) |
|--------------------------------|--|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| گندم آبی Irrigated Wheat | 1.51 | 450 | 15 | 0.083 | 0.80 | 7.60 | 6.44 | 0-30 |
| گندم دیم Rainfed Wheat | 1.34 | 135 | 6 | 0.050 | 0.44 | 7.75 | 0.63 | 0-30 |

در ارقام گندم به طور معنی‌داری مختلف بودند ($p \leq 0/01$) (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد مقادیر وزن خشک، کربن آلی و ضرایب تبدیل به کربن آلی و ترسیب کربن اندام هوایی و ریشه

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس وزن خشک، کربن آلی، ضریب تبدیل به کربن آلی و ترسیب کربن اندام‌های هوایی و ریشه ارقام گندم

Table 4- Analysis of variance for dry weight, organic matter, conversion coefficient and carbon sequestration of shoots and roots of irrigated and rainfed wheat cultivars

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی df | مجموع توان ترسیب کربن Total Carbon sequestration potential | توان ترسیب کربن اندام هوایی Shoot Carbon sequestration potential | توان ترسیب کربن ریشه Root Carbon sequestration potential | ضریب تبدیل Conversion coefficient | محتوی ماده آلی Organic matter Content | وزن ماده خشک Dry matter weight |
|----------------------------|------------------|---|---|---|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
| رقم گندم Wheat cultivar | 4 | 1.52** | 2.36** | 0.06** | 450.63** | 0.258** | 96683.22** |
| خطا Error | 20 | 0.13 | 0.21 | 0.43 | 10.36 | 0.0032 | 2567.04 |
| کل Total | 14 | - | - | - | - | - | - |

**معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** : Significant at 1% probability level

می‌یابد (Nobakht *et al.*, 2011). در پژوهشی دیگر گزارش شد، نوع و ترکیب گونه‌ها از طریق تأثیر در ورودی کربن به خاک، مقدار کربن و ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Schulp *et al.*, 2008).

ضریب تبدیل به کربن آلی اندام هوایی و ریشه

ضریب تبدیل اندام هوایی و ریشه ارقام آبی و دیم گندم اختلاف معنی‌داری داشتند ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). نتایج به دست آمده نشان داد ارقام آبی نسبت به ارقام دیم ضریب تبدیل اندام هوایی بالاتری برخوردار بودند به طوری که رقم پیشگام و رقم میهن به ترتیب با میانگین ۴۹/۶۸ و ۴۹/۶۲ درصد بیشترین مقدار ضریب تبدیل را داشتند و رقم حیدری با میانگین ۴۳/۳۳ کمترین مقدار ضریب تبدیل اندام هوایی را نشان داد (شکل ۱). در بین دو رقم دیم نیز رقم باران نسبت به رقم آذر ۲ از ضریب تبدیل بالاتری برخوردار بود. برخلاف نتایج مشاهده شده در ضریب تبدیل اندام هوایی، ضریب تبدیل ریشه ارقام دیم در مقایسه با ارقام آبی بیشتر بود به طوری که بیشترین ضریب تبدیل ریشه با میانگین ۴۵/۵۷ درصد در رقم آذر ۲ مشاهده گردید و ارقام باران، حیدری و پیشگام نیز به ترتیب با مقادیر ۳۹/۵۸، ۳۹/۳۳ و ۳۶/۱۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند و رقم میهن نیز با میانگین ۳۲/۵۰ درصد دارای کمترین مقدار ضریب تبدیل ریشه بود (شکل ۱).

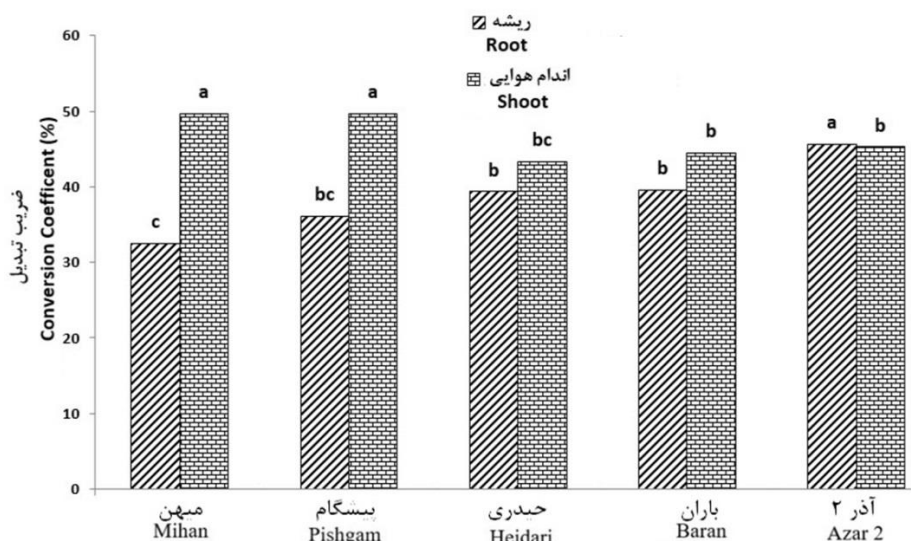
کاهش ضریب تبدیل اندام هوایی ارقام دیم در مقایسه با ارقام آبی احتمالاً تحت تأثیر بالا بودن مواد معدنی در اندام هوایی

توان ترسیب کربن خاک

میانگین ترسیب کربن خاک مزارع گندم آبی برابر با ۳/۶۲ تن در هکتار بود در حالی که میزان ترسیب کربن در اراضی دیم ۱/۷۶ تن در هکتار به دست آمد. پایین بودن میزان ترسیب کربن در اراضی دیم مربوط به درصد پایین کربن آلی خاک در این اراضی نسبت به اراضی آبی گندم بود. میانگین کربن آلی به دست آمده از دیمزارهای گندم ۰/۴۴ درصد به دست آمد در حالی که این مقدار در اراضی آبی گندم ۰/۸ درصد بود. تولید بالاتر زیست توده در گندم آبی باعث می‌شود مقدار ماده آلی بیشتری در مقایسه با اراضی دیم به زمین اضافه شود و همین مسئله باعث بالا رفتن درصد کربن آلی خاک می‌گردد. محققانی نیز میزان ترسیب کربن مزارع گندم خراسان رضوی را ۴/۰۲ تن در هکتار برآورد نمودند (Mollafilabi and Shabahng, 2020). محققان دیگری پتانسیل ترسیب کربن خاک مزارع کلزا در استان خراسان رضوی را ۳/۴۶ تن در هکتار گزارش کردند (Khorramdel *et al.*, 2016). همچنین پتانسیل ترسیب کربن در خاک درختچه‌های انار وحشی و گونه‌های بوته‌ای چندساله و علفی یک‌ساله مراتع جلگه‌ای میان کاله ۷ و ۲ تن در هکتار برآورد گردید (Tamartash *et al.*, 2012). در گزارشی آمده است، ترسیب کربن خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد؛ به طوری که اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلندمدت کربن آلی خاک افزایش

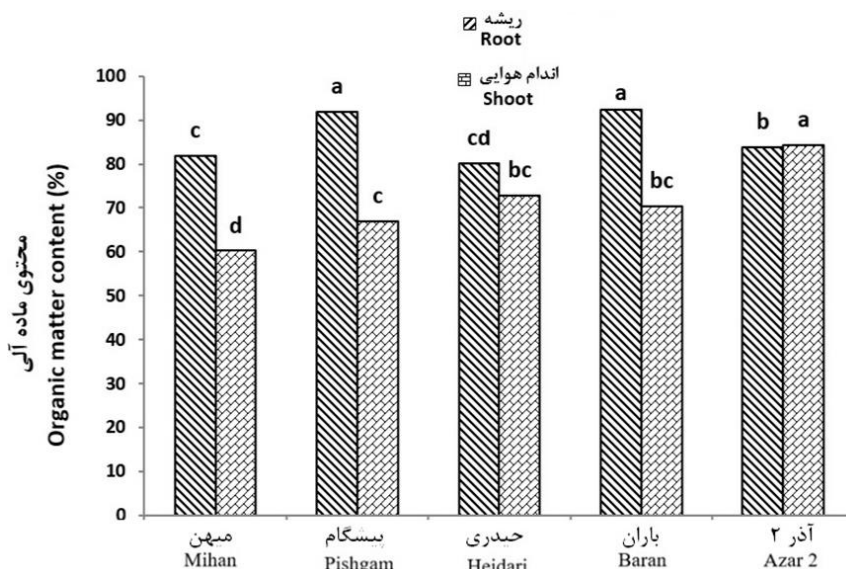
است. از طرف دیگر، بالا بودن ضریب تبدیل ریشه ارقام دیم مربوط به میزان کم آب در بافت ریشه ارقام دیم است. نتایج این پژوهش نشان داد ضریب تبدیل اندام هوایی در ارقام آبی و ارقام دیم گندم، بالاتر از ضریب تبدیل ریشه بود. مشابه نتایج به دست آمده در این پژوهش نتایج محققان در خراسان رضوی نشان داد ضریب تبدیل اندام هوایی گندم بالاتر از ضریب تبدیل ریشه است. آن‌ها ضریب تبدیل اندام هوایی گندم را ۵۲ درصد و ضریب تبدیل ریشه را ۳۱/۹۹ درصد گزارش نمودند (Mollafilabi and Shabahng, 2020). در پژوهشی دیگر میانگین ضرایب تبدیل اندام هوایی کلزا ۴۸ درصد بالاتر از ریشه به دست آمد (Khorrarnadel *et al.*, 2016). همچنین در استان آذربایجان غربی ضریب تبدیل اندام هوایی گونه *Helichrysum aucheri* به طور معنی‌داری بیشتر از ضریب تبدیل ریشه این گونه گیاهی بود (Jafarian and Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013).

است. از طرف دیگر، بالا بودن ضریب تبدیل ریشه ارقام دیم مربوط به میزان کم آب در بافت ریشه ارقام دیم است. نتایج این پژوهش نشان داد ضریب تبدیل اندام هوایی در ارقام آبی و ارقام دیم گندم، بالاتر از ضریب تبدیل ریشه بود. مشابه نتایج به دست آمده در این پژوهش نتایج محققان در خراسان رضوی نشان داد ضریب تبدیل اندام هوایی گندم بالاتر از ضریب تبدیل ریشه است. آن‌ها ضریب تبدیل اندام هوایی گندم را ۵۲ درصد و ضریب تبدیل ریشه را ۳۱/۹۹ درصد گزارش نمودند



شکل ۱- مقایسه میانگین ضریب تبدیل به کربن آلی اندام هوایی و ریشه ارقام گندم

Figure 1- Mean comparison of the conversion coefficient to organic carbon of shoots and roots of wheat cultivars



شکل ۲- مقایسه میانگین محتوی ماده آلی اندام هوایی و ریشه ارقام گندم

Figure 2- Mean comparison of organic matter of shoots and roots of wheat cultivars

در پژوهشی در این زمینه، میانگین کربن ترسیب شده در کل اندام‌های گیاهی سویا در اراضی تحت نظام مرسوم را $3281/4$ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (Moushani *et al.*, 2019). در ارتباط با توان ترسیب کربن ریشه نتایج به دست آمده نشان داد توان ترسیب کربن ریشه ارقام دیم گندم بیشتر از ارقام آبی بود. به طوری که بیشترین مقدار کربن ترسیب شده ریشه با میانگین $32/40$ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم آذر ۲ بود و کمترین توان ترسیب کربن ریشه با میانگین $16/50$ کیلوگرم در رقم میهن مشاهده گردید. در ارقام دیم به دلیل نیاز گیاه برای جذب آب تحت شرایط کم‌آبی، سیستم ریشه‌ای توسعه بیشتری می‌یابد و همین مسئله باعث افزایش توان ترسیب کربن ریشه در ارقام دیم نسبت به ارقام آبی می‌شود.

در مجموع نتایج به دست آمده نشان داد توان ترسیب کربن اندام هوایی ارقام آبی و دیم گندم بیش از توان ترسیب کربن ریشه این ارقام است. تولید بالای زیست‌توده گیاهی در اندام هوایی در مقایسه با زیست‌توده ریشه یکی از دلایل بالا بودن توان ترسیب اندام هوایی در مقایسه با ریشه است از طرفی اگرچه بافت ریشه دارای بافت خشبی‌تری نسبت به بافت ساقه است، ولی به نظر می‌رسد که وجود ترشحات ریشه‌ای (Daudu *et al.*, 2009) و نیز نسبت پایین‌تر کربن به نیتروژن (Russell *et al.*, 2005) بافت ریشه موجب کاهش توان ترسیب این بافت در مقایسه با اندام هوایی شده است. بدین ترتیب، این‌گونه به نظر می‌رسد که اندام‌های با بافت چوبی‌تر (مانند ساقه) از توان بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و افزایش نسبت اندام‌های هوایی چوبی در گیاهان زراعی، افزایش توان ترسیب کربن را به همراه خواهد داشت (Khorramdel *et al.*, 2016). مقایسه مجموع پتانسیل ترسیب کربن (اندام هوایی و ریشه) ارقام گندم نشان داد ارقام آبی در مقایسه با ارقام دیم از پتانسیل ترسیب کربن بالاتری برخوردار بودند به طوری که مجموع پتانسیل ترسیب کربن ارقام آبی $2828/53$ کیلوگرم در هکتار بود و مجموع پتانسیل ترسیب کربن ارقام دیم $698/90$ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (شکل ۵). مقایسه ارقام آبی گندم نیز نشان داد رقم میهن با میانگین $3398/70$ کیلوگرم در هکتار بیشترین توان ترسیب کربن را داشت و رقم حیدری با توان ترسیب $2329/30$ کیلوگرم در هکتار کمترین توان ترسیب کربن را از خود نشان داد (شکل ۵). در بین ارقام دیم نیز رقم باران با

محتوی ماده آلی اندام هوایی و ریشه نیز به طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) در ارقام گندم، مختلف بودند (جدول ۴). بیشترین محتوی ماده آلی اندام هوایی در بین ارقام مورد مطالعه به رقم باران با میانگین $92/35$ درصد و رقم پیشگام با میانگین 92 درصد اختصاص داشت که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. ارقام آذر ۲ و میهن نیز به ترتیب با میانگین $83/80$ و $81/90$ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند و کمترین مقدار نیز در رقم حیدری با میانگین $80/25$ درصد ملاحظه شد (شکل ۲).

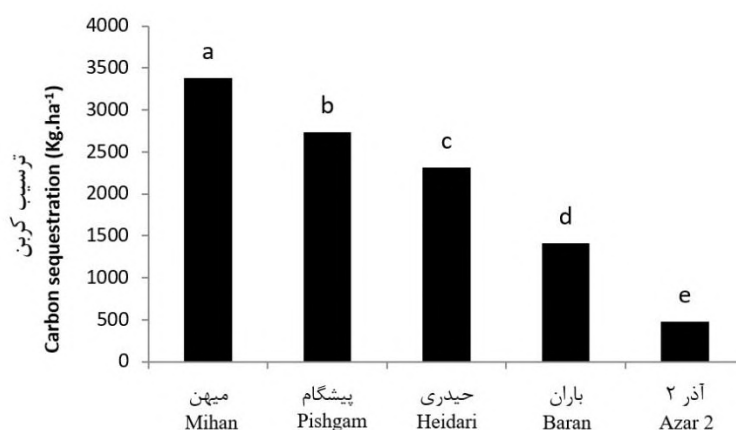
مقایسه میانگین محتوی ماده آلی ریشه ارقام دیم و آبی گندم نشان داد بیشترین مقدار محتوی ماده آلی ریشه با میانگین $45/57$ درصد مربوط رقم آذر ۲ بود و ارقام باران، حیدری، پیشگام و میهن به ترتیب با میانگین $39/58$ ، $39/33$ ، $36/15$ و $32/50$ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۲). به طور کلی محتوی ماده آلی اندام هوایی در مقایسه با محتوی ماده آلی ریشه در ارقام میهن، پیشگام، حیدری و باران بالاتر بود که با نتایج به دست آمده توسط برخی از محققان از جمله (Khorramdel Mollafilabi and Shabahng, 2020) (et al., 2016) مطابقت داشت.

توان ترسیب کربن اندام هوایی و ریشه

اندام‌های هوایی و ریشه ارقام گندم به طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) دارای پتانسیل ترسیب کربن مختلف بودند (جدول ۴). نتایج این پژوهش نشان داد متوسط توان ترسیب کربن اندام هوایی ارقام مورد بررسی $1599/60$ کیلوگرم در هکتار بود در حالی که متوسط ترسیب کربن ریشه در این ارقام 21 کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم میهن با $3382/20$ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین توان ترسیب کربن اندام هوایی بود و رقم‌های پیشگام، حیدری، باران و آذر ۲ به ترتیب با میانگین $2737/4$ ، $2311/60$ ، $1406/30$ و $480/20$ کیلوگرم در هکتار، در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این نتایج نشان داد ارقام آبی گندم (میهن، پیشگام و حیدری) از توان ترسیب کربن اندام هوایی بالاتری در مقایسه با ارقام دیم (باران و آذر ۲) برخوردار بودند. همچنین در بین ارقام آبی گندم، رقم میهن و در بین ارقام دیم گندم، رقم باران توان ترسیب کربن اندام‌های هوایی بالاتری داشتند (شکل ۳).

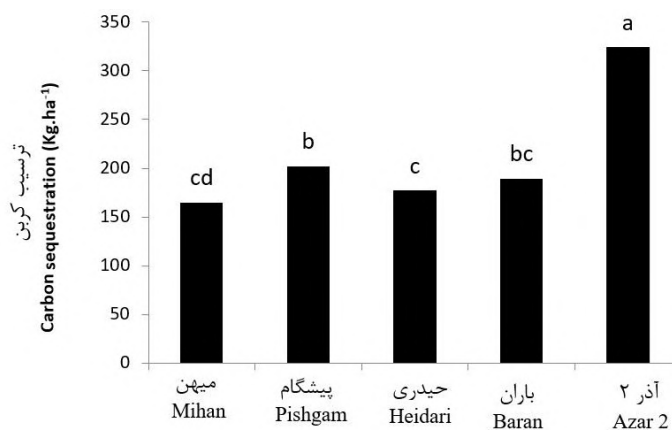
2013). در پژوهشی دیگر بررسی مزارع گندم خراسان رضوی نیز نشان داد مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم برابر ۸/۲۵ تن در هکتار بود (Mollafilabi and Shabahng, 2020). بنابراین، با توجه به پایین بودن ماده آلی خاک در بوم‌نظام‌های زراعی مناطق خشک و شهرستان شیروان و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی خاک، مصرف بقایای گندم می‌تواند باعث بهبود ماده آلی خاک شود و پتانسیل ترسیب کربن خاک این مناطق را افزایش دهد (Hajabbasi and Mosaddeghi *et al.*, 2000). Hemmat, 2000; این افزایش پتانسیل ترسیب کربن خاک، در درازمدت باعث افزایش تولیدات گیاهی، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش فرسایش خاک است (Jafarian and Tayefeh Seyed Alikhani, 2013).

متوسط ۱۴۲۵/۲۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با رقم آذر ۲ با میانگین ۵۱۲/۶۰ از توان ترسیب کربن بالاتری برخوردار بود (شکل ۵). مشابه با یافته‌های این پژوهش، پژوهش‌گران گزارش نمودند میزان ترسیب کربن در گونه‌ها و اندام‌های گیاهی، متفاوت بوده و با افزایش سطح تاج پوشش و درصد چوبی شدن، افزایش یافت (Tamartash *et al.*, 2012). در بررسی دیگری پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های سه گونه مرتعی گزارش شد، در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین توان و برگ‌ها کمترین توان را داشتند (Foroozeh and Mirzaali, 2006). همچنین در آزمایشی روی گندم دیم در منطقه کیاسر نشان داده شد که اندام هوایی بیشترین و ریشه‌ها کمترین میزان ترسیب کربن را داشتند. آن‌ها میزان ترسیب کربن در زیست‌توده گیاهی گندم دیم را ۱/۸۸۴ تن در هکتار گزارش نمودند (Jafarian and Tayefeh Seyed Alikhani, 2013).



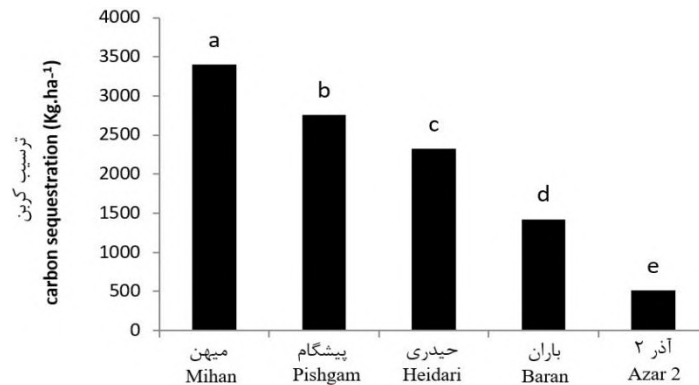
شکل ۳- مقایسه میانگین پتانسیل ترسیب کربن اندام هوایی ارقام گندم

Figure 3- Mean comparison of carbon sequestration potential of the shoots of wheat cultivars



شکل ۴- مقایسه میانگین پتانسیل ترسیب کربن ریشه ارقام گندم

Figure 4- Mean comparison of carbon sequestration potential of the root of wheat cultivars



شکل ۵- مقایسه میانگین پتانسیل کل ترسیب کربن (اندام هوایی و ریشه) ارقام گندم

Figure 5- Mean comparison of total carbon sequestration potential (shoots and roots) of wheat cultivars

سوخت در بوم‌نظام‌های گندم آبی مهم‌ترین دلایل تولید بیشتر گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با بوم‌نظام‌های گندم دیم بود. میزان انتشار CO_2 ، N_2O و CH_4 در بوم‌نظام‌های گندم آبی به ترتیب $1205/100$ ، $6/250$ و $1/625$ کیلوگرم در هکتار بود و در بوم‌نظام‌های گندم دیم این مقادیر به ترتیب $649/400$ ، $1/0105$ و $0/923$ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. سوخت دیزل در هر دو بوم‌نظام آبی و دیم بیشترین نقش را در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای داشت و کود نیتروژن، فسفر، پتاسیم و الکتریسیته در رتبه‌های بعدی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار داشتند.

انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش زمین

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مزارع گندم آبی و دیم به صورت جداگانه در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CH_4 و N_2O ، CO_2) در اثر مصرف سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و الکتریسیته در مزارع گندم آبی در شهرستان شیروان به میزان $1212/975$ کیلوگرم در هکتار بود در حالی که این میزان برای مزارع گندم دیم $651/335$ کیلوگرم در هکتار (جدول ۵) به دست آمد. مصرف بالای کودهای شیمیایی، استفاده از نیروی الکتریسیته جهت آبیاری و مصرف

جدول ۵- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم در هکتار) در کشت گندم آبی و دیم

Table 5- Greenhouse gases emission rate (kg.ha^{-1}) in irrigated and rainfed wheat cultivation

| نهاده Input | گندم آبی Irrigated wheat | | | گندم دیم Rainfed wheat | | | مجموع گازها Total Gases |
|------------------------------------|---|---|----------------------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------|
| | دی اکسید کربن CO_2 (Kg/ha) | اکسید دی نیتروژن N_2O (Kg/ha) | متان CH_4 (Kg/ha) | دی اکسید کربن CO_2 (Kg/ha) | اکسید دی نیتروژن N_2O (Kg/ha) | متان CH_4 (Kg/ha) | |
| سوخت دیزل Diesel | 534 | 1.050 | 0.780 | 409.400 | 0.008 | 0.598 | 410.006 |
| کود نیتروژن Nitrogen fertilizer | 465 | 0.004 | 0.555 | 155.000 | 0.001 | 0.185 | 155.186 |
| کود فسفر Phosphate fertilizer | 100 | 0.002 | 0.180 | 50.000 | 1.001 | 0.090 | 51.901 |
| کود پتاس Potassium fertilizer | 70 | 0.001 | 0.100 | 35.000 | 0.0005 | 0.050 | 35.050 |
| الکتریسیته Electricity | 36.10 | 5.20 | 0.011 | - | - | - | - |
| مجموع Total | 1205.100 | 6.250 | 1.625 | 649.400 | 1.0105 | 0.923 | 651.3335 |

۶۴۹/۴۰۰ کیلوگرم معادل CO₂ دارای بیشترین نقش بود و N₂O و CH₄ به ترتیب با ۲۵۰/۴۸۰ و ۱۹/۳۸۳ کیلوگرم معادل CO₂ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند.

در مطالعه دیگر پتانسیل گرمایش جهانی تولید شده در مزارع گندم در خراسان رضوی معادل ۲۳۷۷/۸۶ کیلوگرم معادل CO₂ به دست آمد (Akbari *et al.*, 2019). پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش نمودند در مزارع گندم در ایران ۱۱۳۷ کیلوگرم معادل CO₂ گازهای گلخانه‌ای تولید می‌شود (Soltani *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای که روی چغندر قند انجام شد میزان گرمایش جهانی برای یک هکتار این محصول ۹۸۴۷/۷۷ کیلوگرم معادل CO₂ در هکتار به دست آمد (Yousefi *et al.*, 2014). مشابه این نتایج پتانسیل گرمایش جهانی محصول چغندر قند در استان خراسان شمالی نیز به میزان ۹۰۴۸/۸۵ کیلوگرم معادل CO₂ گزارش شد (Babaeian *et al.*, 2021).

محاسبه تأثیر نهاده‌های ورودی مزارع گندم آبی و دیم نشان داد کل پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار گندم آبی معادل ۲۸۷۵/۶۲۱ کیلوگرم معادل CO₂ بود و کل پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار گندم دیم به میزان ۹۱۹/۲۶ کیلوگرم معادل CO₂ به دست آمد (جدول ۶). در میان نهاده‌های ورودی در مزارع گندم آبی، الکتریسیته با ۱۶۴۸/۳۳ کیلوگرم معادل CO₂ دارای بیشترین نقش در پتانسیل گرمایش جهانی بود و در مزارع گندم دیم، سوخت دیزل با ۶۷۱/۵۰ کیلوگرم معادل نقش مؤثرتری نسبت به سایر نهاده‌های ورودی در پتانسیل گرمایش جهانی داشت (جدول ۶). در میان گازهای گلخانه‌ای مؤثر در پتانسیل گرمایش جهانی در مزارع گندم آبی، N₂O با ۱۶۴۶/۸۷ کیلوگرم معادل CO₂ بیشترین سهم را داشت و گازهای CO₂ و CH₄ به ترتیب با ۱۲۰۵/۱۰۰ و ۲۳/۶۴۶ کیلوگرم معادل CO₂ در رده‌های بعدی قرار گرفتند و در مزارع گندم دیم نیز، CO₂ با

جدول ۶- پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل CO₂) در کشت گندم آبی و دیم

Table 6- Global warming potential (kg CO₂ eq) in irrigated and rainfed wheat cultivation

| گندم دیم | | | | گندم آبی | | | | نهاده Input |
|---------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------------------------|
| Rainfed wheat | | | | Irrigated wheat | | | | |
| GWP | CH ₄ | N ₂ O | CO ₂ | GWP | CH ₄ | N ₂ O | CO ₂ | |
| 671.508 | 12.558 | 249.550 | 409.400 | 582.930 | 16.380 | 32.550 | 534 | سوخت دیزل Diesel |
| 159.350 | 3.885 | 0.465 | 155.000 | 467.550 | 1.155 | 1.395 | 465 | کود نیتروژن Nitrogen fertilizer |
| 52.500 | 1.890 | 0.310 | 50.000 | 104.400 | 3.780 | 0.620 | 100 | کود فسفر Phosphate fertilizer |
| 36.205 | 1.050 | 0.155 | 35.000 | 72.41 | 2.100 | 0.310 | 70 | کود پتاس Potassium fertilizer |
| - | - | - | - | 1648.331 | 0.231 | 1612 | 36.100 | الکتریسیته Electricity |
| 919.263 | 19.38 | 250.48 | 649.400 | 2875.621 | 23.646 | 1646.875 | 1205.100 | مجموع Total |

در بین ارقام آبی، رقم میهن با توان ترسیب ۳۳۸۲/۲۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین توان ترسیب کربن اندام هوایی را داشت و در بین ارقام دیم رقم باران با ۱۴۰۶/۳۰ کیلوگرم در هکتار توان ترسیب کربن اندام هوایی بالاتری را نشان داد و رقم آذر ۲ نیز با ۴۸۰/۲۰ کیلوگرم در هکتار کمترین توان ترسیب کربن در اندام

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش ارقام آبی گندم در مقایسه با ارقام دیم از توان ترسیب کربن بالاتری در اندام هوایی برخوردار بودند. هم‌چنین در بین اندام‌های گیاه، توان ترسیب کربن اندام هوایی گندم بیشتر از توان ترسیب ریشه بود.

نتایج به دست آمده نشان داد بوم‌نظام‌های گندم آبی در مقایسه با بوم‌نظام‌های گندم دیم به میزان ۵۹/۹۶ درصد گازهای گلخانه‌ای بیشتر و به میزان ۷۳ درصد پتانسیل گرمایش جهانی بیشتری را تولید کردند. بوم‌نظام‌های آبی گندم به دلیل مصرف بیشتر کود نیتروژن، استفاده بیشتر از ادوات کشاورزی و آبیاری تحت فشار، به لحاظ زیست‌محیطی اثرات منفی بسیار بیشتری را در مقایسه با بوم‌نظام‌های دیم گندم داشتند. در استان خراسان شمالی با توجه به شرایط اقلیمی و دسترسی بسیار محدود به آب رودخانه و قنوات جهت آبیاری اراضی آبی و وابستگی این اراضی به نیروی الکتریسیته جهت استحصال آب‌های زیرزمینی باعث شده در بین نهاده‌های مصرفی نیز الکتریسیته دارای بیشترین نقش در پتانسیل گرمایش جهانی باشد در حالی که در اراضی دیم میزان مصرف سوخت فسیلی دارای بیشترین تأثیر بر پتانسیل گرمایش جهانی بود. لذا انجام مدیریت صحیح آبیاری و استفاده از روش‌های نوین جهت کاهش مصرف آبیاری و استفاده از پمپ‌های آب با کارایی بالا و متناسب با عمق چاه‌های آب اراضی آبی گندم می‌تواند باعث کاهش مصرف الکتریسیته شود و در اراضی دیم استفاده از ادوات مرکب، رعایت ترافیک مزرعه و کاربرد سامانه‌های حفاظتی می‌تواند کاهش مصرف سوخت دیزل را به همراه داشته باشد که در مجموع باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی خواهد شد.

هوایی را داشت. البته مقایسه توان ترسیب کربن ریشه ارقام آبی و دیم گندم نشان داد ارقام دیم توان ترسیب ریشه بالاتری داشتند و در این بین رقم آذر ۲ با میانگین ۳۲/۴۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین توان ترسیب کربن ریشه را داشت در حالی که رقم میهن با میانگین ۱۶/۵۰ کیلوگرم در هکتار کمترین توان ترسیب ریشه بود. بررسی مجموع توان ترسیب کربن (اندام هوایی+ریشه) نشان داد ارقام آبی از توان ترسیب کربن بالاتری برخوردار بودند به طوری که در بین ارقام آبی مورد مطالعه، رقم میهن با ۳۳۹۸/۷۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان توان ترسیب کربن را داشت و در بین ارقام دیم نیز رقم باران با میانگین ۱۴۲۵/۲۰ کیلوگرم در هکتار توان ترسیب کربن بالاتری نسبت به رقم آذر ۲ داشت. مقایسه میزان ترسیب کربن خاک مزارع مورد بررسی نشان داد میانگین ترسیب کربن خاک مزارع گندم آبی ۳/۶۲ تن در هکتار و میانگین ترسیب کربن خاک مزارع دیم ۱/۷۶ تن در هکتار بود. نتایج به دست آمده نشان داد بوم‌نظام‌های گندم آبی در مقایسه با بوم‌نظام گندم دیم شهرستان شیروان از توان ترسیب کربن بالاتری برخوردار بودند. بر اساس یافته‌های این پژوهش در بوم‌نظام‌های آبی رقم میهن و در بوم‌نظام‌های دیم رقم باران توانایی ترسیب کربن بالاتری را ایجاد می‌کردند که بهتر است از این دو رقم در کشت گندم در شهرستان شیروان استفاده شود.

References

- Abdi, N.A., Madah, A.H. and Zahedi, A.G.H.** 2008. Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 15(2): 269-282. (In Persian).
- Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshedi, A., Ghanbari, A. and Khorramdel, S.** 2019. Effect of tillage systems and crop residues on soil bulk density and chemical properties under Corn (*Zea mays* L.) -Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 11(3): 1123-1138.
- Anonymous.** 2019. Yearbook of agricultural statistics. (In Persian).
- Chambers, J.C.** 1983. Methods for vegetation sampling and analysis on revegetated mined lands US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range. (Vol. 151).
- Daudu, C.K., Muchaonyerwa, P. and Mnkeni, P.N.S.** 2009. Litterbag decomposition of genetically modified maize residues and their constituent *Bacillus thuringiensis* protein (Cry1Ab) under field conditions in the central region of the Eastern Cape, South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(3-4): 153-158.
- Faroozesh, M.R. and Mirzaali, E.** 2006. The effects of enclosure on carbon sequestration in the dominant species and soil surface in saline range lands (Case study of Gomishan rangelands). *Abstract Book of 8th International Conference on Development of Dry Lands. Beijing, China. Pp, 35-36.*

- Hajabbasi, M.A. and Hemmat, A.** 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 56(3-4): 205-212. (In Persian).
- Heinemann, A.B., Dehnamaia, A., Dourado-Neto, D., Ingram, K.T. and Hoogenboom, G.** 2006. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. *European Journal of Agronomy*, 24(1): 52-61.
- Ingram, J.S.I. and Fernandes, E.C.M.** 2001. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(1): 111-117.
- Jafarian, Z. and Tayefeh Seyyed Alikhani, L.** 2013. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar region. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(1): 31-41. (In Persian).
- Khorrandel, S., Rezvani Moghaddam, P. and Jafari, L.** 2016. Evaluating the potential of carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi. *Science Natural Resources*, 9(3): 22-43.
- Kramer, K.J., Moll, H.C. and Nonhebel, S.** 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 72(1): 9-16.
- Kukul, S.S. and Benbi, D.K.** 2009. Soil organic carbon sequestration in relation to organic and inorganic fertilization in rice-wheat and maize-wheat systems. *Soil and Tillage Research*, 102(1): 87-92.
- Lal, R.** 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2): 1-22.
- Mahdavi, K., Sanadgol, A., Azarnivand, H., Kafaki, S.B., Jafari, M., Maleki, M. and Malekian, A.** 2009. Effects of removing aerial biomass and density on carbon sequestration and weight of *Atriplex lentiformis*. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8(2): 183-186.
- Mollafilabi, A. and Shabahng, J.** 2020. Evaluation of carbon sequestration for above-ground and below-ground tissues and global warming potential of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agroecology*, 12(2): 265-279.
- Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Hemmat, A. and Afyuni, M.** 2000. Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 55(1-2): 87-97.
- Moushani, S., Soltani, A. and Asadi, M.E.** 2019. Comparison of carbon sequestration potential of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in two conventional and conservation cropping systems (Case study: Gorgan city). *Journal of Plant Production Research*, 26(3): 235-253.
- Najmoddini, N.** 2013. Effects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case Study: Watershed Gavdareh in Kurdistan province). *The 2nd National Conference on Climate Change and Agriculture, August, 23*.
- Nobakht, A., Pourmajidian, M. and Hojjati, S.M.** 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (case study: Dehmian Forest Management Plan, Mazindaran). *Iranian Journal of Forest*, 3(1): 13-23.
- Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A. and Maimone, F.** 2008. Organic PM 2.5: Fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the Pittsburgh aerosol. *Aerosol Science and Technology*, 42(3): 233-246.
- Russell, A.E., Laird, D., Parkin, T.B. and Mallarino, A.P.** 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 69(2): 413-422.
- Schimel, D.S.** 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1(1): 77-91.
- Schulp, C.J.E., Nabuurs, G.J., Verburg, P.H. and de Waal, R.W.** 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management*, 256(3): 482-490.
- Snedecor, G.W. and Cochran, W.G.** 1980. Statistical Methods Iowa State University Press, Ames. *Statistical Methods, 7th Ed. The Iowa State University Press, Ames*.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L. and Fixen, P.E.** 2009. Review of greenhouse gas emissions from

- crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4): 247-266.
- Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E. and Soltani, E.** 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50(1): 5461.
- Su, Y.Z., Zhao, H.L. and Zhang, T.H.** 2003. Influences of grazing and enclosure on carbon sequestration in degraded sandy grassland, Inner Mongolia, north China. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 46(4): 321-328.
- Tamartash, R., Tatian, M.R. and Yousefian, M.** 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. *Journal of Environmental Studies*, 38(2): 45-54.
- Tans, P.** 2016. Annual mean atmospheric CO₂ values for Mauna Loa from Pieter Tans, NOAA/ESRL (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>) and Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography (scrippsco2.ucsd.edu/).
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A. and Jaggard, K.** 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2): 101-119.
- Uri, N.D.** 2000. Global climate change and the effect of conservation practices in US agriculture. *Environmental Geology*, 40(1): 41-52.
- Walkley, A. and Black, I.A.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- Wiesmeier, M., Hübner, R., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützow, M. and Kögel Knabner, I.** 2014. Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Global Change Biology*, 20(2): 653-665.
- Yan, H., Cao, M., Liu, J. and Tao, B.** 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(4): 325-335.
- Yousefi, M., Khoramivafa, M. and Mondani, F.** 2014. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, 92(10): 501-505.

Carbon sequestration and global warming potential of irrigated and rainfed wheat fields in semi-arid regions (Case study: Shirvan)

Mahdi Babaeian^{1*}, Esmaeel Shirghani¹, Mostafa Jafarian²

¹ Agricultural Faculty of Shirvan, University of Bojnord, Bojnord, Iran

² Ph.D graduated of Mechanic of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding Author: mahdibbn@gmail.com

Received: 16 October 2021

Accepted: 6 December 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.310630.1144

Abstract

Introduction: Carbon sequestration in biomass and soils is one of the simplest and least expensive ecological strategies for removing carbon dioxide (Uri, 2000). According to researchers, carbon sequestration is an important factor in reducing global warming (Wiesmeier *et al.*, 2014). It was demonstrated that returning fifty percent of plant residues increased the soil's capacity to sequester carbon (Yan *et al.*, 2007). Another study revealed that the wheat-rice cultivation system sequestered 55% more carbon in fields with animal manure and 70% more carbon in fields with chemical fertilizer than the wheat-corn system (Kukul and Benbi, 2009). Given the low levels of soil organic matter in Iran's arid and semi-arid regions, particularly in the agricultural ecosystems of North Khorasan, it is crucial to employ strategies that increase the carbon content of soil organic matter. Therefore, the purpose of this study was to assess the carbon sequestration capacity of the aerial and subterranean portions of wheat and the global warming potential of the wheat production ecosystems in the province of North Khorasan.

Materials and Methods: In order to assess the carbon sequestration and global warming potentials of irrigated and rainfed wheat cultivars, an experiment was conducted in Shirvan, North Khorasan province, during the 2020-2021 growing season. For this purpose, systematic random sampling was conducted in 30 farms with 0-30 cm of soil depth, and a face-to-face questionnaire was used to assess greenhouse gas emissions and global warming potential. The studied irrigated varieties included Mihan, Pishgam, and Heydari, while the studied rainfed varieties include Azar 2 and Baran. In order to carry out the research, systematic random sampling (Chambers, 1983) was done from six points in 30 farms from a soil depth of 0-30 cm (Mahdavi *et al.*, 2009). In the spring, vegetative and reproductive organs such as seed + spike, stem, leaf, and root were harvested at three distinct phenological stages (shooting, flowering and physiological ripening). To study the soil, six 30-cm-deep profiles were dug under each plant and soil samples were collected. The combustion method (Abdi *et al.*, 2008; Foroozesh and Mirzaali, 2006) was utilized to determine the organ conversion coefficients.

Results and Discussion: The results indicated that irrigated cultivars had a higher shoot conversion efficiency than rainfed cultivars, with the Pishgam cultivar having the highest average conversion efficiency at 49.68%. Among the irrigated cultivars studied, the Mihan cultivar had the highest total carbon sequestration capacity, averaging 3,398.70 kg/ha. Among rainfed cultivars, the Baran cultivar had a higher total carbon sequestration than the Azar 2 cultivar, which had an average of 512.60 kg/ha. The amount of greenhouse gases (CO₂, N₂O, and CH₄) produced in irrigated and rainfed wheat fields in Shirvan was estimated to be 1626.932 kg/ha and 651.33 kg/ha, respectively, and the global warming potential of one hectare of wheat was equal to 3404.890 kg of carbon dioxide and one hectare of rainfed wheat was equal to 919.263 kg of carbon dioxide. The cultivation of Mihan (irrigated) and Baran (rainfed) cultivars in the agroecosystem of North Khorasan will increase carbon sequestration capacity and decrease CO₂ emissions, according to the findings of this study.

Conclusion: Based on the results of this study, the aerial carbon sequestration capacity of irrigated wheat cultivars was greater than that of rainfed cultivars. Moreover, among plant organs, the wheat leaves had a greater capacity for carbon sequestration than the wheat roots. Mihan was the cultivar with the highest aerial carbon sequestration capacity among irrigated cultivars, while Baran was the cultivar with the highest aerial carbon sequestration capacity among rainfed cultivars.

Keywords: Carbon dioxide, Conversion coefficient, Greenhouse gases, Organic matter

اثر بیوجار و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در شرایط عدم تنش و تنش خشکی

طاہره امامی^{*۱}

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

* مسئول مکاتبه: t.emami@pnu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320762.1172

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹

چکیده

به منظور بررسی اثر بیوجار (در سه سطح بدون بیوجار به عنوان شاهد، ۲۰ تن در هکتار و ۴۰ تن در هکتار) و اسید سالیسیلیک (در سه سطح عدم مصرف، ۰/۵ میلی مولار و ۱ میلی مولار) در دو محیط رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی) آزمایش تجزیه مرکب در دو مکان، بصورت اسپلیت پلات- فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۹ انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کربوهیدرات‌های محلول، پروتئین کل، فعالیت آنزیم پرولین و عملکرد بیولوژیک بودند. نتایج نشان داد که کاربرد بیوجار و اسید سالیسیلیک در هر دو مکان سبب افزایش عملکرد بیولوژیک و میزان کلروفیل a نسبت به شاهد گردیدند. بیشترین افزایش عملکرد بیولوژیک ۴۵/۹۷ و ۴۵/۴۲ درصد به ترتیب در ترکیب تیماری ۴۰ تن بیوجار و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و ترکیب تیماری ۲۰ تن بیوجار و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۰/۵ درصد در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد بود. میزان صفت پرولین در همه ترکیبات تیماری کاهش یافت؛ به جز در ترکیب تیماری عدم تنش خشکی و استفاده از ۴۰ تن بیوجار و محلول‌پاشی ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک که ۲۵/۷۱ درصد افزایش نشان داد. بیشترین افزایش کارتنوئید (۳۶/۶۶ درصد) در صورت استفاده از ۴۰ تن بیوجار و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط ۵۰ درصد تنش خشکی بدست آمد. هم‌چنین در صورت استفاده از ۲۰ تن بیوجار و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک یک درصد در شرایط تنش خشکی ۵۰ درصد میزان کارتنوئید (۳۳/۳۳ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت. استفاده از بیوجار و اسید سالیسیلیک در بهبود اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی در گیاه سرخارگل مفید بود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، پرولین، عملکرد بیولوژیک، کارتنوئید، کربوهیدرات محلول، کلروفیل

مقدمه

فیزیولوژی گیاهان تأثیرگذار است (Hasanvandi et al., 2014). استفاده از موادی که سبب القای واکنش گیاه نسبت به شرایط تنش شود و بتواند اثرات ناشی از تنش‌های محیطی را کاهش دهد مهم می‌باشد (Yang et al., 2021). اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید^۲ یک هورمون گیاهی از ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدان محلول در آب است که صدمات ناشی از تنش خشکی را در گیاه کاهش می‌دهد (Raskin, 1992; Abbaszadeh et al., 2020). بسته به غلظت به کار رفته، نوع گونه گیاهی، دوره‌ی رشدی و شرایط محیطی، اسید سالیسیلیک اثرات متفاوتی روی فرآیندهای رشدی گیاهان دارد (Eraslan et al., 2007; Abbaszadeh et al., 2020). گزارشات حاکی از آن است که مصرف خارجی اسید سالیسیلیک

سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) گیاهی است علفی، چندساله و متعلق به تیره آفتابگردان یا میناسانان^۱، که اسانس و عصاره آن در صنایع داروسازی، غذایی، بهداشتی و آرایشی کاربرد فراوانی دارد و خصوصیات ضد میکروبی، ضد اکسیداسیون و خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد، ضد آلرژی، ضد تومور و ضد التهاب به آن‌ها نسبت داده شده است (Gualandi, 2010; Kim et al., 2014; Parsons et al., 2018). کمبود آب و عدم کارایی روش‌های آبیاری عوامل اصلی محدودکننده توسعه بخش کشاورزی به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند (Yang et al., 2021). خشکی یکی از تنش‌های مهم کنترل‌کننده عملکرد محصولات بوده و مشخص شده که روی بسیاری از فرآیندهای

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۹ در استان ایلام در دو شهرستان ایوان (منطقه ۱، طول جغرافیایی: ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی: ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی) و شهرستان دهلران (منطقه ۲، طول جغرافیایی: ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی: ۳۲ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی) بر روی گیاه دارویی سرخارگل اجرا گردید.

آزمایش تجزیه مرکب در دو منطقه، بصورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور آبیاری در سه سطح شاهد (عدم تنش)، تنش ۵۰ درصد و تنش ۷۰ درصد به عنوان فاکتور اصلی (A)، اسید سالیسیلیک به عنوان فاکتور دوم (B) در سه سطح (عدم مصرف، ۰/۵ میلی‌مولار و ۱ میلی‌مولار) و بیوجار سبوس جو به عنوان فاکتور سوم (C) در سه سطح (بدون بیوجار به عنوان شاهد، ۲۰ تن در هکتار و ۴۰ تن در هکتار)، فاکتورهای فرعی می‌باشد. بدین ترتیب در این آزمایش فاکتور آبیاری در کرت اصلی و سطوح مختلف اسید سالیسیلیک و بیوجار در کرت‌های فرعی قرار گرفت.

اسید سالیسیلیک به صورت سه مرحله در مرحله نهایی رشد ساقه، ابتدای گل‌دهی قبل از شروع اعمال تنش و در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی، در کرت‌های مربوطه محلول‌پاشی گردید (Hasan *et al.*, 2021). به منظور افزایش میزان تأثیرگذاری، بیوجار زیر بذر قرار داده شد.

برای اعمال تنش خشکی میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی از طریق معادله ۱ تعیین گردید:

معادله (۱): $100 \times \text{وزن خاک خشک} / (\text{وزن خاک خشک} + \text{وزن خاک تر})$

- وزن خاک تر) = درصد رطوبت در ظرفیت زراعی
روش کار به این صورت بود که ابتدا ردیف‌های کاشت در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی مشابه هم آبیاری شدند و با قرار دادن بشر مدرج در زیر یکی از سوراخ‌های تیپ حجم آب مصرفی اندازه‌گیری گردید. از عمق توسعه ریشه (۳۰ - ۰ سانتی‌متری) بعد از سپری شدن ۲۴ ساعت از آبیاری نمونه‌برداری انجام شد و توزین گردیدند. نمونه‌ها به آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و درصد رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی مشخص گردید. تنش خشکی در سه سطح شاهد (عدم تنش)، تنش ۵۰ درصد و تنش ۷۰ درصد ظرفیت زراعی اعمال گردید (Rezaie Alulu *et al.*, 2020).

سبب بهبود رشد، افزایش مقاومت به تنش خشکی و کاهش اثر مضر تنش‌های اکسیداتیو در مراحل مختلف رشد گیاه می‌شود (Gharib, 2007; Abbaszadeh *et al.*, 2020; Zafar *et al.*, 2021). در بررسی سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در گیاه همیشه بهار تحت شرایط آبیاری محدود دریافتند که اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و زراعی این گیاه داشته و توانسته اثرات مخرب تنش خشکی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد (Moradi Marjane and Goldani, 2011). همچنین در بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک در گیاه بابونه آلمانی گزارش شد که استفاده از اسید سالیسیلیک منجر به تغییراتی در ترکیب‌های کومارینی و فنلی گیاه شده منجر به افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها شده است (Pastirova *et al.*, 2004). کمبود آب باعث کاهش معنی‌داری در صفات عملکرد و اجزای عملکرد و صفت سطح برگ کلزا گردید ولی تیمار با اسید سالیسیلیک موجب کاهش این اثرات و بهبود صفات عملکردی و افزایش سطح برگ شد (Miar Sadeghi *et al.*, 2011).

بیوجار نوعی زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور مقادیر کم اکسیژن و یا عدم حضور آن انجام می‌شود (Abd El-Mageed *et al.*, 2021). بیوجار ضمن بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تأثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک، فضایی را برای حفظ مواد مغذی ایجاد می‌کند (Mukherjee and Zimmerman, 2013). در بررسی تأثیر بیوجار در گیاه نعنا فلفلی گزارش کردند که افزودن بیوجار به خاک میزان فسفر گیاه را تحت تأثیر قرار داد و بر نسبت ساقه به ریشه و صفات فیزیولوژیک مؤثر و معنی‌دار بود (Rezaeian, 2014).

درک مکانیزم‌های پاسخ گیاهان به تنش خشکی در مناطق مستعد خشک‌سالی ضرورت دارد. از آنجایی‌که مطالعات انجام شده در بررسی تأثیر بیوجار و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و بررسی اثرات متقابل این مواد در شرایط کم‌آبی بر رشد و عملکرد گیاه سرخارگل و میزان جذب و نگهداری آب در این گیاه محدود می‌باشد؛ این آزمایش با هدف بررسی ارتباط بین صفات فیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی سرخارگل تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی انجام گردید.

داده شد. سپس نمونه‌ها از حمام خارج و درون یخ قرار داده شدند تا دمای آن به دمای اتاق برسد، به نحوی که اگر به آن دست زده شود احساس گرما نشود. در این مرحله در زیر هود، به هر نمونه مقدار چهار سی سی تولون اضافه کرده و خوب تکان داده شد تا کاملاً مخلوط شوند. پس از چند لحظه دو فاز حاصل شد که فاز پایینی شفاف‌تر بوده و فاز بالایی قرمز رنگ (بسته به میزان پرولین برگ) بود. از تولون به عنوان شاهد در دستگاه اسپکتروفوتومتر برای اندازه‌گیری طول موج نوری استفاده شد. میزان چهار سی سی از فاز بالایی را برداشته و درون اسپکتروفوتومتر تحت طول موج ۵۲۰ نانومتر قرار داده و عدد قرائت شده به جای متغیر X در معادله ۴ قرار داده شد. Y بدست آمده را در معادله ۵ جای‌گذاری کرده تا میزان پرولین برگ بر حسب میکرومول بر میلی گرم برگ بدست آید.

معادله (۵):

$$Y=42/281X+4/6698$$

$$\text{میزان پرولین} = \frac{Y \times 5}{200 \text{ (میلی گرم برگ)}}$$

برای آماده کردن محلول ناین هیدرین به ۱/۲۵ گرم پودر ناین هیدرین (این مقدار برای ۲۵ نمونه در یک تکرار کافی است)، مقدار ۳۰ سی سی اسید استیک اضافه کرده و سپس روی بخار آب نگه داشته و به آرامی تکان داده تا به کلی حل شود پس از آن مقدار ۲۰ سی سی از ترکیب (۲۰/۵ سی سی اورتوفسفریک + ۱۲ سی سی آب مقطر مخلوط شده) برداشته و به آن اضافه می‌گردد.

غلظت پروتئین محلول کل با استفاده از روش (Bradford *et al.*, 1976) اندازه‌گیری گردید که بر اساس آن ۰/۲ گرم نمونه برگی در نیتروژن مایع خورد شده و مقدار ۲۰ میلی گرم PVP (پلی وینیل پروپیلیدین) به آن اضافه شد سپس ۱/۵ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم با اسیدیته هفت حاوی سدیم متا‌پایسولفیت (حاوی ۰/۱۹ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر بافر) به نمونه در حال خورد شدن اضافه گردید. نمونه به دست آمده با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دمای چهار درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس فاز رویی که حاوی پروتئین‌های محلول نمونه بود برداشته شد و ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۷۵ میکرولیتر گلیسرول ۵۰ درصد مخلوط گردید. به منظور اندازه‌گیری پروتئین ۳۰ میکرولیتر عصاره برگ را با ۷۲۰ میکرولیتر محلول برادفورد مخلوط نموده و پس از پنج دقیقه میزان جذب نوری محلول با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید. با توجه به منحنی استاندارد که برای رسم آن از سرم آلبومین گاوی (BSA) استفاده شد و

صفات مورد مطالعه در این پژوهش شامل عملکرد بیولوژیک، کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کربوهیدرات محلول، پروتئین کل، پرولین بودند. برای استخراج اسیدآمین پیرولین از بافت‌های برگ از روش (Bates *et al.*, 1973) با استفاده از معرف ناین هیدرین و برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئید از روش (Arnon, 1949) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید در ابتدا ۰/۳۳ گرم از نمونه برگی را درون هاون چینی ریخته، به منظور سهولت کار با مقداری ازت مایع آن را خوب خورد کرده و سپس استون ۸۰ درصد اضافه گردید و خوب له شد سپس از کاغذ صافی عبور داده شد. این کار آن قدر انجام شد تا مواد باقی‌مانده درون کاغذ صافی سفید و فاقد کلروفیل شود به طوری که نباید حجم عصاره از ۱۰ سی سی بیشتر شود. عصاره حاصله درون فالکون ریخته و درون سانتریفیوژ با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. از استون ۸۰ درصد به عنوان شاهد در دستگاه اسپکتروفوتومتر استفاده گردید. میزان جذب نوری هر یک از نمونه‌ها در این دستگاه در طول موج‌های ۶۶۱/۶، ۶۴۴/۸ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شده و پس از قرار دادن در معادلات ۲-۴، میزان کلروفیل a، b بر حسب میلی گرم بر گرم و کارتنوئید نمونه برگی محاسبه گردید.

معادله (۲):

$$a = \frac{((11/24 \times A_{661/6} - 2/04 \times A_{644/8})) \times \text{mg leaf tissue}}{\text{ml Aseton}}$$

معادله (۳):

$$b = \frac{((20/13 \times A_{644/8} - 4/19 \times A_{661/6})) \times \text{mg leaf tissue}}{\text{ml Aseton}}$$

معادله (۴):

$$\text{غلظت کارتنوئید} = \frac{(((1000 \times A_{470} - 1/9Ca - 63/14Cb)) \times \text{mg leaf tissue})}{214}$$

برای اندازه‌گیری میزان اسیدآمین پیرولین برگ ابتدا ۰/۲ گرم از قسمت پهنک برگ را جدا کرده، سپس در هاون چینی بوسیله مقداری ازت مایع خوب خورد شد. آنگاه ۱۰ سی سی اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد درون هاون ریخته و نمونه برگی خوب له شد و بعد از آن از کاغذ صافی عبور داده و از محلول حاصل میزان دو سی سی برداشته به همراه دو سی سی محلول آماده شده ناین هیدرین و دو سی سی اسید استیک درون لوله آزمایش درپوش‌دار ریخته و به مدت یک ساعت درون حمام آب گرم قرار

تیماری ۴۰ تن بیوچار و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و هم‌چنین ترکیب تیماری ۲۰ تن بیوچار با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۰/۵ درصد در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد به میزان ۴۵/۴۲ درصد بود (جدول ۲).

کلروفیل a و b

مقایسه میانگین برهمکنش اثرات سه گانه تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوچار نشان داد که میزان کلروفیل a در همه ترکیبات تیماری روندی افزایشی را داشت (به جز در تنش خشکی ۵۰ درصد با ۲۰ تن بیوچار و محلول‌پاشی یک درصد اسید سالیسیلیک که کاهش نشان داد) به گونه‌ای که بیشترین افزایش (۳۳/۷۹ درصد) در تنش خشکی ۷۵ درصد با ۴۰ تن بیوچار و استفاده از محلول‌پاشی یک درصد اسید سالیسیلیک به دست آمد. به‌طور کلی در شرایط استفاده از محلول‌پاشی یک درصد اسید سالیسیلیک به همراه استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن بیوچار با اعمال تنش خشکی ۷۵ درصد میزان کلروفیل a نسبت به شرایط عدم تنش خشکی و تنش خشکی ۵۰ درصد نه تنها کاهش نداشته بلکه افزایش چشم‌گیری نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوچار نشان داد بیشترین میزان افزایش در کلروفیل b (۵۸/۱۳ درصد) در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد و استفاده از ۲۰ تن بیوچار به همراه محلول‌پاشی ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک بود. در صورتی‌که از محلول‌پاشی یک درصد اسید سالیسیلیک استفاده شد؛ میزان افزایش کلروفیل b نسبت به حالت عدم استفاده و محلول‌پاشی ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک ۲۰ درصد شد. هم‌چنین در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد و استفاده از ۴۰ تن بیوچار افزایش کلروفیل b در شرایط عدم استفاده از اسید سالیسیلیک، ۰/۵ و یک درصد به ترتیب ۵۶، ۱۵/۷۸ و ۳۶/۸۴ درصد شد که نشان‌دهنده تأثیر بیوچار در افزایش کلروفیل b می‌باشد (جدول ۲).

کربوهیدرات‌های محلول

مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوچار نشان داد که شرایط عدم تنش خشکی، تنش ۵۰ درصد و تنش ۷۵ درصد و استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار تحت شرایط عدم استفاده از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، محلول‌پاشی ۰/۵ و یک درصد اسید سالیسیلیک، در همه ترکیبات تیماری مورد

هم‌چنین میزان جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر پروتئین نمونه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر به دست آمد.

برای تعیین میزان کربوهیدرات‌های محلول در یک لوله سربسته میزان ۰/۲ گرم از بافت برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط گردید و به مدت یک ساعت در داخل حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. به یک میلی‌لیتر از هر نمونه سرد شده، یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد و پنج میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه گردید. قرائت در طول موج ۴۸۳ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد و میزان کربوهیدرات‌های به دست آمده بر حسب میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر از جدول استاندارد استخراج گردید (Irrigoyen et al., 1992). تجزیه آماری به صورت آزمایش تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در نرم‌افزار SAS انجام گرفت.

نتایج

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش اثرات سه‌گانه تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوچار برای همه صفات به جز پروتئین معنی‌دار بود (جدول ۱) که بدین معنی است که گیاه در شرایط اعمال سطوح مختلف تنش خشکی در صورت استفاده از سطوح مختلف فاکتورهای مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی نشان داد. پروتئین از نظر اثر اصلی مکان در سطح احتمال یک درصد و از نظر اثرات اصلی تنش خشکی و بیوچار در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل چهارگانه فقط برای دو صفت کارتنوئید و پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

عملکرد بیولوژیک

مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوچار نشان داد که به ترتیب در شرایط عدم تنش خشکی، تنش ۵۰ و ۷۵ درصد و با استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار و سطوح متفاوت محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (عدم محلول‌پاشی، ۰/۵ و یک درصد اسید سالیسیلیک)، در همه ترکیبات تیماری عملکرد بیولوژیک افزایش یافت (به جز در شرایط تنش خشکی ۷۵ درصد و استفاده از ۴۰ تن بیوچار و محلول‌پاشی ۵۰ درصد اسید سالیسیلیک که ۱/۱۴ درصد کاهش نشان داد). بیشترین افزایش عملکرد بیولوژیک (۴۵/۹۷ درصد) در ترکیب

استفاده میزان کربوهیدرات محلول کاهش یافت؛ به گونه‌ای که کمترین میزان کاهش کربوهیدرات محلول (۶/۳۱ درصد) مربوط به ترکیب ۲۰ تن بیوجار و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در تنش خشکی ۷۵ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که در صورت استفاده از ۴۰ تن بیوجار و سطوح متفاوت محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سطوح تنش خشکی میزان کربوهیدرات محلول کاهش بیشتری نسبت به شرایطی که از ۲۰ تن بیوجار استفاده شد، نشان داد (جدول ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر اسید سالیسیلیک و بیوجار بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد سرخارگل تحت تأثیر تنش خشکی

Table 1- Analysis of variance of the effect of salicylic acid and biochar on physiological traits and yield of Echinacea under drought stress

| منابع تغییرات Source of variance | درجه آزادی Df | عملکرد بیولوژیک Biological yield | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کارتنوئید Carotenoid | کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates | پروتئین Protein | پرولین Proline |
|--|---------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---|---------------------|--------------------|
| مکان Location | 1 | 1.99** | 1.13** | 1.02** | 0.004** | 51.39* | 5.43* | 3.82** |
| خطای مکان Location error | 4 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.0004 | 114.82 | 1.71 | 0.74 |
| تنش خشکی Drought stress | 2 | 980.24** | 64.36** | 9.55** | 0.51** | 18315.24** | 834.86** | 206.05** |
| مکان × تنش خشکی drought × Location stress | 2 | 0.08 ^{ns} | 0.11** | 0.06** | 0.001** | 0.75 ^{ns} | 0.62 ^{ns} | 8.12** |
| خطای اصلی Main error | 8 | 0.03 | 0.0008 | 0.002 | 0.00001 | 19.01 | 1.80 | 0.51 |
| اسید سالیسیلیک Salicylic acid | 2 | 24.85** | 1.13** | 1.10** | 0.01** | 6623.99** | 1.70 ^{ns} | 2.97** |
| مکان × اسید سالیسیلیک salicylic × Location acid | 2 | 0.01 ^{ns} | 0.012* | 0.002 ^{ns} | 0.0008** | 4.32 ^{ns} | 0.004 ^{ns} | 2.31** |
| بیوجار Biochar | 2 | 29.27** | 1.02** | 0.012** | 0.02** | 4443.58** | 2.75* | 24.40** |
| مکان × بیوجار biochar × Location | 2 | 0.02 ^{ns} | 0.014** | 0.01** | 0.0008** | 0.90 ^{ns} | 0.01 ^{ns} | 0.26 ^{ns} |
| تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × Drought stress salicylic acid | 4 | 1.23** | 0.07** | 0.22** | 0.0004** | 631.65** | 0.03 ^{ns} | 1.95** |
| تنش خشکی × بیوجار × Drought stress biochar | 4 | 0.78** | 0.02** | 0.007** | 0.0001** | 150.13** | 0.05 ^{ns} | 3.92** |
| اسید سالیسیلیک × بیوجار × Salicylic acid biochar | 4 | 0.72** | 0.02** | 0.01** | 0.0005** | 145.32** | 0.05 ^{ns} | 0.43 ^{ns} |
| مکان × تنش خشکی × اسید سالیسیلیک drought × Location salicylic acid × stress | 4 | 0.002 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 0.0005** | 4.32 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 4.07** |
| مکان × تنش خشکی × بیوجار drought × Location biochar × stress | 4 | 0.004 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 0.0006 ^{ns} | 0.0006** | 0.61 ^{ns} | 0.006 ^{ns} | 2.61** |
| مکان × اسید سالیسیلیک × بیوجار salicylic × Location biochar × acid | 4 | 0.02 ^{ns} | 0.002 ^{ns} | 0.0006 ^{ns} | 0.0006** | 1.54 ^{ns} | 0.002 ^{ns} | 0.93** |
| تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوجار × Drought stress × salicylic acid biochar | 8 | 0.49** | 0.01** | 0.01** | 0.0002** | 54.93** | 0.06 ^{ns} | 0.61* |
| مکان × تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوجار drought × Location salicylic acid × stress biochar × | 8 | 0.01 ^{ns} | 0.0008 ^{ns} | 0.0004 ^{ns} | 0.0004** | 1.54 ^{ns} | 0.002 ^{ns} | 0.85** |
| خطای باقی مانده Remaining error | 96 | 0.04 | 0.002 | 0.001 | 0.0003 | 7.99 | 0.81 | 0.24 |
| ضریب تغییرات CV (%) | - | 2.62 | 2.20 | 3.89 | 1.62 | 7.79 | 7.92 | 11.86 |

**، * و ^{ns}؛ به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌داری است.

** , * and ^{ns} indicates significance in $P < 0.01$, $P < 0.05$ and non-significance, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوجار بر صفات مورد مطالعه (برش دهی در سطح تنش خشکی و اسید سالیسیلیک)

Table 2- Mean comparison of interactions effects of drought stress × salicylic acid × biochar interaction on the studied traits (Slicing at drought stress and salicylic acid)

| تنش خشکی Drought stress | اسید سالیسیلیک Salicylic acid | بیوجار Biochar | عملکرد بیولوژیک Biological yield (t×ha ⁻¹) | کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g FW) | کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g FW) | کربوهیدرات های محلول Soluble carbohydrate (µg glucose in g FW) | |
|---|----------------------------------|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------|
| شاهد Control | شاهد Control | شاهد Control | 11.20±0.16 ^c | 2.47±0.04 ^c | 1.21±0.03 ^c | 29.86±0.82 ^a | |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 12.06±0.09 ^b | 2.59±0.03 ^b | 1.36±0.02 ^b | 23.98±1.08 ^b | |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 12.93±0.04 ^a | 2.69±0.02 ^a | 1.53±0.01 ^a | 19.94±0.80 ^c | |
| | | LSD (5%) | 0.36 | 0.09 | 0.06 | 3.03 | |
| | | شاهد Control | 12.00±0.07 ^b | 2.60±0.04 ^c | 1.27±0.03 ^c | 25.55±0.88 ^a | |
| | | ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | 12.74±0.05 ^a | 2.68±0.02 ^b | 1.35±0.01 ^b | 20.41±0.79 ^b | |
| | شاهد Control | یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 12.82±0.04 ^a | 2.92±0.01 ^a | 1.57±0.01 ^a | 13.37±0.89 ^c |
| | | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 12.80±0.06 ^c | 2.74±0.03 ^c | 1.27±0.03 ^c | 25.55±0.88 ^a |
| | | | LSD (5%) | 0.18 | 0.06 | 0.04 | 2.82 |
| | | | شاهد Control | 13.87±0.03 ^b | 2.86±0.02 ^b | 1.54±0.02 ^b | 15.15±1.70 ^b |
| | | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 14.64±0.11 ^a | 3.22±0.01 ^a | 1.78±0.02 ^a | 8.49±1.50 ^c |
| | | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.23 | 0.62 | 0.06 | 4.67 |
| تنش خشکی ۵۰ درصد Drought stress 50% | شاهد Control | شاهد Control | 5.49±0.16 ^c | 2.79±0.04 ^c | 0.75±0.04 ^c | 54.54±0.93 | |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 6.58±0.09 ^b | 2.95±0.05 ^b | 0.90±0.03 ^b | 46.83±0.91 ^b | |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 7.14±0.06 ^a | 3.09±0.03 ^a | 1.05±0.02 ^a | 39.53±0.74 ^c | |
| | | LSD (5%) | 0.36 | 0.10 | 0.06 | 2.83 | |
| | | شاهد Control | 6.79±0.09 ^b | 3.16±0.05 ^b | 1.20±0.05 ^b | 45.31±0.83 ^c | |
| | | ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | 6.91±0.05 ^b | 3.15±0.04 ^b | 1.19±0.04 ^b | 25.33±1.27 ^b | |
| | شاهد Control | یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 7.68±0.05 ^a | 3.26±0.03 ^a | 1.40±0.05 ^a | 15.84±1.28 ^a |
| | | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 7.19±0.05 ^b | 3.20±0.03 ^b | 1.19±0.05 ^b | 34.33±1.03 ^a |
| | | | LSD (5%) | 0.18 | 0.07 | 0.06 | 3.68 |
| | | | شاهد Control | 70.26±0.06 ^b | 3.24±0.02 ^b | 1.49±0.04 ^a | 21.03±2.12 ^b |
| | | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 8.49±0.09 ^a | 3.45±0.03 ^a | 1.53±0.06 ^a | 12.67±0.79 ^c |
| | | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.19 | 0.08 | 0.08 | 4.46 |
| تنش خشکی ۷۵ درصد Drought stress 75% | شاهد Control | شاهد Control | 3.06±0.13 ^c | 0.86±0.08 ^c | 0.43±0.06 ^c | 79.92±1.00 ^a | |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 3.84±0.09 ^b | 1.05±0.06 ^b | 0.57±0.05 ^b | 74.87±0.76 ^b | |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 4.45±0.08 ^a | 1.15±0.05 ^a | 0.68±0.03 ^a | 66.84±0.95 ^c | |
| | | LSD (5%) | 0.25 | 0.07 | 0.08 | 3.19 | |
| | | شاهد Control | 3.98±0.11 ^c | 0.93±0.08 ^c | 0.50±0.05 ^c | 66.83±0.94 ^a | |
| | | ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | 4.22±0.06 ^b | 1.05±0.05 ^b | 0.60±0.04 ^b | 44.46±1.14 ^b | |
| | شاهد Control | یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 5.81±0.05 ^a | 1.20±0.05 ^a | 0.78±0.04 ^a | 44.89±0.95 ^b |
| | | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.19 | 0.04 | 0.05 | 3.35 |
| | | | LSD (5%) | 4.37±0.05 ^b | 1.09±0.05 ^b | 0.57±0.05 ^c | 55.32±1.69 ^a |
| | | | شاهد Control | 4.32±0.18 ^b | 1.14±0.04 ^b | 0.66±0.04 ^b | 42.52±3.16 ^b |
| | | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 6.04±0.08 ^a | 1.31±0.05 ^a | 0.85±0.03 ^a | 30.11±2.75 ^c |
| | | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.32 | 0.06 | 0.06 | 8.93 |

حروف یکسان در هر ستون برش داده شده، نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD است. میانگین ± خطای استاندارد.

Means with the same letter are not significantly different according to LSD test at 0.05. Mean ± standard error.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان × تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوچار بر صفات مورد مطالعه (برش دهی در سطح سال، تنش خشکی و اسید سالیسیلیک) (مکان اول)

Table 4- Mean comparison of interactions effects of location × drought stress × salicylic acid × biochar on the studied traits (Slicing at year, drought stress and salicylic acid) (location 1)

| تنش خشکی Drought stress | اسید سالیسیلیک Salicylic acid | بیوچار Biochar | کارتنوئید Carotenoid (mg/g FW) | پرولین Proline (mg/g FW) |
|--|---|---|--------------------------------------|-----------------------------|
| شاهد Control | شاهد Control | شاهد Control | 0.004 ^c ±0.42 | 0.04 ^a ±2.24 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.001 ^b ±0.43 | 0.01 ^b ±2.14 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.002 ^a ±0.45 | 0.01 ^c ±2.05 |
| | | LSD (5%) | 0.011 | 0.07 |
| | ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.003 ^c ±0.41 | 0.02 ^a ±2.06 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.003 ^b ±0.43 | 0.02 ^b ±1.91 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.005 ^a ±0.46 | 0.03 ^c ±1.74 |
| | | LSD (5%) | 0.014 | 0.09 |
| | یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.002 ^c ±0.43 | 0.17 ^b ±3.50 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.002 ^b ±0.47 | 0.11 ^a ±4.40 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.001 ^a ±0.48 | 0.33 ^c ±2.21 |
| | | LSD (5%) | 0.007 | 0/78 |
| تنش خشکی ۵۰ درصد Drought stress 50% | شاهد Control | شاهد Control | 0.001 ^c ±0.36 | 0.14 ^a ±4.55 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.001 ^b ±0.38 | 0.16 ^b ±3.88 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.003 ^a ±0.39 | 0.01 ^b ±3.89 |
| | | LSD (5%) | 0.007 | 0.43 |
| | ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.002 ^c ±0.30 | 0.02 ^a ±5.91 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.004 ^b ±0.40 | 0.30 ^b ±4.45 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.001 ^a ±0.41 | 0.02 ^c ±3.64 |
| | | LSD (5%) | 0.01 | 0.41 |
| | یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.005 ^b ±0.38 | 0.12 ^a ±5.95 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | .003 ^a ±0.42 | 0.17 ^b ±5.21 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.005 ^a ±0.43 | 0.11 ^c ±4.06 |
| | | LSD (5%) | 0.016 | 0.48 |
| تنش خشکی ۷۵ درصد Drought stress 75% | شاهد Control | شاهد Control | 0.006 ^b ±0.23 | 0.21 ^a ±8.06 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.006 ^b ±0.23 | 0.01 ^b ±6.20 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.003 ^a ±0.25 | 0.07 ^b ±6.06 |
| | | LSD (5%) | 0.015 | 0.46 |
| | ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.003 ^b ±0.24 | 0.03 ^a ±6.09 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.004 ^a ±0.26 | 0.03 ^a ±5.85 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.004 ^a ±0.27 | 0.21 ^b ±4.18 |
| | | LSD (5%) | 0.013 | 0.44 |
| | یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.003 ^b ±0.25 | 0.34 ^a ±6.21 |
| | | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.005 ^a ±0.28 | 0.41 ^b ±4.92 |
| | | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.003 ^a ±0.29 | 0.20 ^{ab} ±5.17 |
| | | LSD (5%) | 0.014 | 1.14 |

حروف یکسان در هر ستون برش داده شده، نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD است. میانگین ± خطای استاندارد.

Means with the same letter are not significantly different according to LSD test at 0.05. Mean ± standard error.

ادامه جدول ۴ - مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان × تنش خشکی × اسید سالیسیلیک × بیوجار بر صفات مورد مطالعه (برش دهی در سطح مکان، تنش خشکی و اسید سالیسیلیک) (مکان دوم)

Table 4- (Continued)- Mean comparison of interactions effects of location × drought stress × salicylic acid × biochar on the studied traits (Slicing at year, drought stress and salicylic acid) (location 2)

| اسید سالیسیلیک Salicylic acid | بیوجار Biochar | کارتنوئید (mg/g FW) Carotenoids | پرولین (mg/g FW) Proline |
|--|---|------------------------------------|-----------------------------|
| شاهد Control | شاهد Control | 0.41±0.004 ^c | 3.93±0.21 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.43±0.002 ^b | 2.04±0.01 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.44±0.003 ^a | 1.79±0.11 ^b |
| | LSD (5%) | 0.011 | 0.49 |
| ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.41±0.004 ^c | 1.91±0.02 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.43±0.003 ^b | 1.81±0.02 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.44±0.002 ^a | 1.69±0.03 ^c |
| | LSD (5%) | 0.011 | 0.09 |
| یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.42±0.003 ^b | 1.72±0.01 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.44±0.005 ^a | 1.61±0.58 ^a |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.45±0.004 ^a | 1.52±0.58 ^a |
| | LSD (5%) | 0.015 | 1.65 |
| شاهد Control | شاهد Control | 0.350.002 ^c | 4.02±0.02 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.36±0.001 ^b | 3.83±0.02 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.38±0.002 ^a | 3.74±0.01 ^b |
| | LSD (5%) | 0.008 | 0.09 |
| ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.39±0.009 ^{ab} | 3.74±0.02 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.38±0.004 ^b | 3.60±0.02 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.40±0.002 ^a | 3.49±0.02 ^c |
| | LSD (5%) | 0.02 | 0.08 |
| یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.38±0.003 ^c | 3.43±0.02 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.40±0.002 ^b | 3.29±1.16 ^a |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.41±0.002 ^a | 3.27±1.16 ^a |
| | LSD (5%) | 0.009 | 3.29 |
| شاهد Control | شاهد Control | 0.21±0.006 ^b | 8.46±0.31 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.21±0.003 ^b | 6.58±0.15 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.24±0.002 ^a | 4.81±0.42 ^c |
| | LSD (5%) | 0.015 | 1.10 |
| ۰/۵ میلی گرم در لیتر 0.5 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.22±0.003 ^c | 7.45±0.29 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.24±0.003 ^b | 5.55±0.03 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.026±0.004 ^a | 5.11±0.27 ^b |
| | LSD (5%) | 0.011 | 0.80 |
| یک میلی گرم در لیتر 1 mg×L ⁻¹ | شاهد Control | 0.23±0.004 ^b | 8.31±0.33 ^a |
| | ۲۰ تن در هکتار 20 t×ha ⁻¹ | 0.26±0.005 ^a | 6.51±0.53 ^b |
| | ۴۰ تن در هکتار 40 t×ha ⁻¹ | 0.27±0.009 ^a | 5.01±0.12 ^c |
| | LSD (5%) | 0.024 | 1.29 |

حروف یکسان در هر ستون برش داده شده، نشان دهنده عدم معنی داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD است. میانگین ± خطای استاندارد.

Means with the same letter are not significantly different according to LSD test at 0.05. Mean ± standard error.

بحث

مطالعات روی برخی گیاهان دارویی نشان‌دهنده تأثیر اعمال تنش خشکی در کاهش عملکرد می‌باشد (Fatima et al., 2002; Eman et al., 2008). کاهش عملکرد بیولوژیک با افزایش شدت تنش تأییدکننده این مطلب است که گیاه از همان ابتدای رشد بسته به وجود منابع میزان رشد خود را تنظیم می‌کند و به دلیل کمبود آب در این تیمار در کل دوره، رشد طولی و تقسیم سلولی در مقایسه با سایر تیمارها کمتر بوده است (Eman et al., 2008). بهبود عملکرد بیولوژیک در نتایج به‌دست آمده مطالعه حاضر می‌تواند به دلیل تأثیر غیرمستقیم بیوچار و اسید سالیسیلیک بر میزان ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک باشد. احتمالاً بهبود شرایط آبی گیاه در اثر استفاده از بیوچار می‌تواند دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک باشد. هم‌چنین محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک هم با ایجاد ممانعت از تبخیر برگ آبی کمک شایانی به بهبود روند رشدی گیاه داشته است. اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی قرار دارند؛ می‌تواند نقش حفاظتی و دفاعی داشته و مقاومت گیاه را در برابر آن‌ها افزایش دهد (Abreu and Munné-Bosch, 2008). استفاده از اسید سالیسیلیک نیز توانسته است از کاهش تعداد برگ و گل بکاهد. تنش خشکی باعث تجزیه کلروفیل به منظور آزادسازی نیتروژن جهت استفاده مجدد در برگ‌های جوان مریم گلی شد (Rong-Hua et al., 2006). از دست رفتن آب بافت‌های برگ نه تنها مانع ساختن کلروفیل می‌شود؛ بلکه به نظر می‌رسد که تخریب کلروفیل را هم باعث می‌گردد، هم‌چنین کمبود آب باعث شکسته شدن کلروپلاست و کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (Heidari-Sharifabad, 2011). محتوای نسبی کلروفیل برگ‌های گیاه در ارتباط با میزان فتوسنتز آن بوده و احتمالاً حفظ محتوای بالای کلروفیل موجب حفظ عملکرد تحت شرایط تنش کمبود آب می‌گردد (Abreu and Munne-Bosh, 2008).

در بررسی تأثیر کود بیولوژیک و بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه لوبیا چشم بلبلی افزودن بیوچار به میزان ۹۱ تن در هکتار توانست بر میزان کلروفیل a و b، تأثیر افزایشدهنده نسبت به شاهد ایجاد کند (Yaghoobi, 2014). افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل a، b و کارتنوئید در گیاهان تحت شرایط استفاده از اسید سالیسیلیک و بیوچار می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیک کارآمد به منظور

استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی، باعث افزایش تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است (Khaleesi, 2014). باتوجه به نتایج آزمایش به نظر می‌رسد این روند به دلیل استفاده از بیوچار باشد چنان که در صورت استفاده از بیوچار آب مورد نیاز گیاه تأمین و گیاه از حالت تنش خارج شده بنابراین گیاه با افزایش میزان رنگیزه سبز روبرو است و از میزان کارتنوئید کاسته می‌شود. هم‌چنین اعمال محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث می‌شود که برگ گیاه به تنش مقاوم و از میزان کارتنوئید برگ کاسته شود. القای سنتز کارتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند به دلیل نقش حفاظتی آن‌ها در تشکیلات فتوسنتزی باشد؛ زیرا این رنگیزه‌ها مسئول خاموش کردن اکسیژن یکتایی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و نهایت تنش اکسیداتیو می‌باشند (Koyro, 2006). کارتنوئیدها علاوه بر خاموش کردن اکسیژن یکتایی، به طور مستقیم می‌توانند توسط این رادیکال آزاد اکسید شوند. به علاوه قادرند حالت برانگیخته سه تایی کلروفیل را خاموش نمایند؛ بنابراین به طور غیرمستقیم نیز تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند. هم‌چنین کارتنوئیدها از طریق سازوکاری که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می‌شوند (Loggini et al., 1999).

کاهش میزان پروتئین محلول برگ در شرایط تنش کمبود آب در گزارش‌های محققین بیان شده است (Ranja et al., 2001; Robiul Islam et al., 2010). روبیسکو مهم‌ترین و فراوان‌ترین پروتئین محلول برگ است. هر گونه کاهش در غلظت پروتئین محلول نشان دهنده کاهش غلظت روبیسکو بوده که این امر می‌تواند کاهش فعالیت فتوسنتز جاری را در پی داشته باشد (Saeidi et al., 2011). کاهش محتوی پروتئین محلول تحت تنش می‌تواند نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال آزاد، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و نیز تجمع اسیدآمینو آزاد از جمله پرولین مرتبط باشد (Ranja et al., 2001).

گزارش شده است که بیوچار بر چرخه عناصر و جلوگیری از هدر روی کربن، نیتروژن و فسفر در خاک تأثیر فوق‌العاده‌ای دارد که دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی می‌باشد که با سرعت‌های متفاوتی آزاد گردیده و تأثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک دارند (Mukherjee et al., 2013). افزودن بیوچار باعث کاهش آبشویی نیترات و افزایش نیتروژن در محدوده‌ی ریشه می‌

اسید سالیسیلیک در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی از قبیل تنش خشکی قرار دارند؛ می‌تواند نقش حفاظتی و دفاعی داشته و مقاومت گیاه را در برابر آن‌ها افزایش دهد (Abreu and Munne-Bosh, 2008). در این بین، احتمالاً اسید سالیسیلیک با ایجاد مقاومت برگی از تأثیرات تنش خشکی کاسته و میزان پرولین را افزایش داده است. تنش خشکی ضمن کاهش محتوای آب در بافت‌های گیاهان، باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات بیوشیمیایی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد (French and Turner, 1991). استفاده از بیوجار و اسید سالیسیلیک باعث کاهش فشارهای محیطی شده و میزان آن‌ها را در حد مطلوبی کاهش می‌دهد (Yaghoobi, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

به عنوان نتیجه‌گیری کلی گیاه در شرایط اعمال سطوح مختلف تنش خشکی در صورت استفاده از سطوح مختلف فاکتورهای مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی نشان داد که مشخص گردید در مجموع استفاده از بیوجار و اسید سالیسیلیک در بهبود اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی در گیاه سرخارگل مفید بود.

شود (Novak et al., 2009). سطح ویژه بالای بیوجار، فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آن‌ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت حفظ مواد غذایی خاک را بهبود بخشیده و موجب افزایش غلظت پروتئین گیاه و کاهش میزان کربوهیدرات می‌گردد (Li et al., 2014).

افزایش و تجمع پرولین در برگ‌های تحت تنش به علت افزایش سنتز و کاهش اکسیداسیون است. پرولین علاوه بر تنظیم اسمزی به عنوان محافظ در برابر تنش نیز عمل می‌کند. بدین ترتیب که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم با درشت مولکول‌ها اثر متقابل داشته و از این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها در شرایط تنش کمک می‌کند (Koc et al., 2010). تجمع پرولین در شرایط تنش کمبود آب تأثیر بیولوژیک متعددی دارد. هنگامی که کمبود آب اتفاق می‌افتد و یا پتانسیل آب محلول خاک کاهش می‌یابد؛ تولید پرولین آزاد افزایش یافته و سبب افزایش فشار اسمزی شیره سلولی می‌گردد (Kuznetsov and Shevyakova, 1999). بعضی از پژوهش‌گران معتقدند که تجمع پرولین در گیاه به هنگام کمبود آب نقش ذخیره کربن و نیتروژن را بازی می‌کند که نقش آن در مراحل بعد از تنش حائز اهمیت است (Kavikishore et al., 2005).

References

- Abbaszadh, B., Layeghhaghi, M., Azimi, R. and Hadi, N. 2020. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 144: 345-367.
- Abd El-Mageed, T.A., Belal, E.E., Rady, M.O.A., Abd El-Mageed, S.A., Mansour, E., Awad, M.F. and Semida, W.M. 2021. Acidified biochar as a soil amendment to drought stressed (*Vicia faba* L.) plants: influences on growth and productivity, nutrient status, and water use efficiency. *Agronomy*, 11: 2-18.
- Abreu, M. and Munné-Bosch, S. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of drought-induced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 64: 105-112.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248-254.
- Delauney, A.J. and Verma, D.P.S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal*, 4: 215-223.
- Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. In: Biochar for environmental management: science and technology (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S.), Earthscan.

- Eman, E.A., Hendawi, S.T., Azza, E.E.D. and Omer, E.A.** 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* plant. *American Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science*, 4(4): 443-450.
- Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M.** 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 113: 120-128.
- Fatima, S., Farooqi, A.H.A. and Sharma, S.** 2002. Physiological and metabolic responses of different genotypes of *Cymbopogon martinii* and *C. winterianus* to water stress. *Plant Growth Regulation*, 37: 143-149.
- French, R.J. and Turner, N.C.** 1991. Water deficit change dry matter partitioning and seed yield in narrow leafed lupines. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42: 471-484.
- Gharib, F.A.E.** 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(2): 294-301.
- Ghosh, D., Roy, K. and Mallik, S.C.** 1981. Effect of fertilizers and spacing on yield and others characters of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Indian Agriculture*, 25: 191-197.
- Gualandi, R.J.** 2010. Fungal endophytes enhance growth and production of natural products in *Echinacea purpurea* (Moench.). Masters Thesis, The University of Tennessee, Knoxville.
- Hasanbeige, H., Saidi, M. and Mohammadi, M.** 2021. Effects of gibberellic acid and salicylic acid application on morphophysiological characteristics and essential oil yield of *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 36(6): 1038-1051.
- Hasanvandi, M.S., Ayneband, A., Rafiee, M., Mojadam, M. and Rasekh, A.** 2014. Effects of supplemental irrigation and super absorbent polymer on yield and seed quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under dry-farming conditions. *Bulletin of Environment, Pharmacology, and Life Sciences*, 3(12): 174-185
- Heidari-Sharifabad, H.** 2001. Plant aridity and drought. Research Institute of Forests and Rangelands Publication, Tehran. (In Persian).
- Irrigoyen, J.H., Emerich, D.W. and Sanchez Diaz, M.** 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. *Physiologia Plantarum*, 84: 55-66.
- Kavikishore, P.B., Sangam, S., Amrotha, R.N., Laxmi, P. and Naidu, S.** 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants. Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88: 424-438.
- Khaleesi, Kh.** 2014. The effect of nitrogen and biochar on quantitative and qualitative traits of maize in low irrigation conditions. Master Thesis, School of Agriculture. Shahroud University of Technology. (In Persian).
- Kim, H.R., Oh, S.K., Lim, W., Lee, H.K., Moon, B.I. and Seoh, J.Y.** 2014. Immune enhancing effects of *Echinacea purpurea* root extract by reducing regulatory T cell number and function. *Natural Product Communications*, 9: 511-514.
- Koc, E., İlek, C. and Üstun, A.S.** 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23: 1-6.
- Koyro, H.W.** 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56: 136-149.
- Kuznetsov, V.V. and Shevyakova, N.I.** 1999. Proline under stress: biological role, metabolism and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 46: 274-286.

- Li, J.H., Lv, G.H., Bai, W.B., Liu, Q., Zhang, Y.C. and Song, J.Q. 2014. Modification and use of biochar from wheat straw (*Triticum aestivum* L.) for nitrate and phosphate removal from water. *Desalination and Water Treatment*, 57(10): 4681-4693.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. and Navari-Izzo, F. 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology*, 119: 1091-1099.
- Miar Sadeghi, S., Shekari, F., Fotovet, R. and Zangani, E. 2011. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*brassica napus*) under water deficit condition. *Iranian Journal of Plant Biology*, 2(6): 55-69.
- Mirjalili, M.H., Salehi, P., Naghdi Badi, H. and Sonboli, A. 2006. Volatile constituents of the flowerheads of three Echinacea species cultivated in Iran. *Flavour and Fragrance Journal*, 21: 355-358.
- Moradi Marjane, E. and Goldani, M. 2011. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*calendula officinalis* L.) under limited irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(1): 33-45.
- Mukherjee, A. and Zimmermann A.R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma*, 194: 122-130.
- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W. and Busscher, W.J. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3: 195-206.
- Parsons, J.L., Cameron, S.I., Harris, C.S. and Smith, M.L. 2018. Echinacea biotechnology: advances, commercialization and future considerations. *Pharmaceutical Biology*, 56: 485-494.
- Pastirova, A., Repcak, M. and Eliasova, A. 2004. Salicylic acid induces changes of coumarin metabolites in *Matricaria chamomilla* L. *Plant Science*, 167(4): 819-824.
- Ranjan, R., Bohra, S.P. and Jeet, A.M. 2001. Plant senescence. Jodhpur, *Agrobios New York*, pp. 18-42.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annul Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 439-463.
- Reddy, A.R., Chiatanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189-1202.
- Rezaeian, A. 2014. Effect of Biochar and mycorrhiza on absorption, transport and accumulation of cadmium in the peppermint plant. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Shahrod. (In Persian).
- Rezaie Alulu, A., Kheiry, A., Sani Khani, M. and Arghavani, M. 2020. The effect of salicylic acid, glycine betaine and gamma amino butyric acid foliar spray on Carla antioxidant activity under water deficit stress. *Plant Ecophysiology*, 12(40): 140-151.
- Robiul Islam, M.R., Hu, Y., Mao, S., Jia, P., Eneji, A.E. and Xue, X. 2010. Effect of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 813-819.
- Rong-Hua, L.I., Pei-Guo, G.U.O., Baumz, M., Grando, S. and Ceccarelli, S. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Science*, 10: 751-757.
- Saedi, M., Moradi, F., Ahmadi, E., Sepehri, R., Najafian, G. and Shaabani, A. 2011. The effect of terminal drought stress on physiological characteristics and source-sink relationship in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 12(4): 392-408.
- Sepaskhah, A.R., Tavakoli, A.R. and Mousavi S.F. 2000. Principles and applications of deficit irrigation. Tehran: Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). P. 288. (In Persian).

- Shah, S., Sander, S., White, C.M., Rinaldi, M. and Coleman, C.** 2007. Evaluation of *Echinacea* for the prevention and treatment of the common cold: a metaanalysis. *The Lancet Infectious Diseases*, 7: 473-480.
- Siddique, M.R.B., Hamid A. and Islam M.S.** 2000. Drought stress effects on water relations of wheat *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41: 35-39.
- Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. and Koca, H.** 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168: 223-231.
- Yaghoobi, M.** 2014. Effect of some biological fertilizer and biochar on plant growth and yield of cowpea. Master Thesis, Shahroud University of Technology. (In Persian).
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S.** 2021. Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7: 2-36.
- Zafar, Z., Rasheed, F., Atif, R.M., Javed, M.A., Maqsood, M. and Gailing, O.** 2021. Foliar application of salicylic acid improves water stress tolerance in *Conocarpus erectus* L. and *Populus deltoides* L. Saplings: evidence from morphological, physiological, and biochemical changes. *Plants*, 10: 2-16.
- Zhang, Z., Pang, X., Duan, X., Ji, Z.L. and Jiang, Y.** 2005. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. *Food Chemistry*, 90: 47-52.

Effect of biochar and salicylic acid on physiological traits and yield of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) under non-stress and drought stress conditions

Tahereh Emami^{1*}

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

*Corresponding Author: t.emami@pnu.ac.ir

Received: 20 December 2021

Accepted: 14 April 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.320762.1172

Abstract

Introduction: Echinacea (*Echinacea purpurea* L.) is a herbaceous, perennial plant in the sunflower family; its essential oil and extract are widely used in the pharmaceutical, food, health, and cosmetic industries; and it has antimicrobial, anti-oxidant, and radical -neutralizing properties. Anti-allergy, anti-tumor, and anti-inflammatory properties have been ascribed to them. In arid and semiarid regions, a lack of water and inefficient irrigation techniques are the primary factors limiting the development of the agricultural sector. Drought is one of the most influential stresses on crop performance, and it is well known that it affects a number of physiological processes in plants. This investigation sought to determine the impact of biochar and salicylic acid on the physiological traits and yield of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) under non-stress and drought -stress conditions.

Materials and Methods: In order to examine the effect of biochar (in three levels without biochar as control, 20 t×ha⁻¹ and 40 t×ha⁻¹) and salicylic acid (in three levels of zero, 0.5 mM and 1 mM) in two humid environments (no stress and drought stress), a factorial experiment in split plot experiment was carried out in Ilam province (two locations) in a randomized complete block design with three replicates in 2020. The evaluated traits included chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, soluble carbohydrates, total protein, proline activity, and biological yield.

Results and Discussion: The results indicate that the highest increase in biological yield was 45.97% and 45.42%, respectively, in the treatment combination of 40 tons of biochar and no salicylic acid foliar spray and the treatment combination of 20 t ha⁻¹ of biochar and 0.5% salicylic acid foliar spray in the condition of 75% drought stress. Proline content decreased in all treatment compounds; except in the combination of non-drought stress treatment and use of 40 t ha⁻¹ of biochar and 0.5% salicylic acid which increased by 25.71%. The highest increase in carotenoids (36.66%) was obtained if 40 t ha⁻¹ of biochar were used and salicylic acid was not sprayed under 50% drought stress. Also, the results show that by using 20 t ha⁻¹ of biochar and spraying 1% salicylic acid under 50% drought stress, the amount of carotenoids increased by 33.33% compared to the control.

Conclusion: As one of the growth regulators, salicylic acid was used to increase plant tolerance to stresses such as drought. In addition, biochar had a positive impact on the enhancement of several physiological characteristics and echinacea yield. *Echinacea purpurea* L. appears to benefit from the use of biochar and salicylic acid to mitigate the negative effects of drought stress.

Keywords: Biological yield, Carotenoids, Chlorophyll, Proline, Protein, Soluble carbohydrates

واکنش‌های فیزیولوژیکی و زراعی ارقام مختلف کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به هیدروپرایمینگ در شرایط تنش خشکی

فتح اله نادعلی^{۱،۲*}، حمیدرضا اصغری^۲، حمید عباس دخت^۲، وجیه درستکار^۲، محمود باقری^۴

۱- مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳- گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۴- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسؤل مکاتبه: f.nadali@areo.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.333785.1211

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی ایستگاه تحقیقات پسته دامغان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح ۱۰۰ (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد براساس نیاز آبی گیاه به عنوان عامل اصلی، رقم در سه سطح Titicaca، Q26 و Q29 و پرایمینگ در دو سطح عدم پرایمینگ و هیدروپرایمینگ به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند که به صورت فاکتوریل در تیمار فرعی خرد شدند. تنش خشکی شدید سبب کاهش شاخص پایداری غشاء برگ (۲۱/۲ درصد)، مقدار کلروفیل (۳۸/۷ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۳/۱ درصد)، وزن هزار دانه (۱۸/۲ درصد)، تعداد پانیکول در بوته (۲۷/۵ درصد)، تعداد دانه در پانیکول (۷/۷۱ درصد) و عملکرد دانه (۴۰/۴ درصد) گردید. استفاده از هیدروپرایمینگ موجب افزایش شاخص پایداری غشاء (۳/۵۵ درصد)، مقدار کلروفیل برگ (۱۶/۷ درصد)، وزن هزار دانه (۵/۳۱ درصد) و نیز تعداد پانیکول در بوته (۱۵/۳ درصد) شد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شامل کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز برگ در شرایط تنش ۵۰ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳۹/۵ درصد و ۴۲/۵ درصد افزایش یافت. تنش خشکی هم‌چنین موجب افزایش درصد پروتئین بذر و نیز کاهش عملکرد دانه در کینوا گردید. در شرایط تنش خشکی، بین سه رقم مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. رقم Titicaca نسبت به سایر ارقام به خشکی مقاوم‌تر بود و در منطقه دامغان کشت این رقم پیشنهاد می‌گردد. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد هیدروپرایمینگ در جهت بهبود صفات فیزیولوژیکی در گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پروتئین دانه، پیش تیمار، تنش کم‌آبیری، عملکرد دانه

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران از اهمیت بیشتری برخوردار است. به همین دلیل بایستی به دنبال گیاهانی بود که در این شرایط محصول مناسبی تولید نمایند. کشت گیاهان مقاوم به خشکی همانند کینوا، می‌تواند راهکاری برای جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی باشد (Vega-Galves et al., 2010). تحقیقات کینوا از سال ۱۳۸۸ در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر آغاز و کشت آن همراه با تحقیقات، در مناطق مختلف کشور در نیمه دوم دهه ۹۰ توسعه پیدا کرده است. سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۲۰۰۰ هکتار (اطلاعات منتشر نشده وزارت جهاد کشاورزی) می‌باشد که در سال‌های مختلف نوسان داشته و مناطق کشت آن شامل استان‌های

در بین تنش‌های محیطی تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد (Franklin et al., 2010). اولین پاسخ گیاهان به تنش خشکی کاهش رشد است، زیرا تنش خشکی موجب کاهش فشار تورژانس می‌شود (Farooq et al., 2008). در شرایط تنش خشکی، گیاه به منظور ادامه دادن جذب آب، انواع مواد محلول سازگار با وزن مولکولی کم مانند قندهای محلول، پرولین، گلايسين‌بتائين، هورمون‌ها و پروتئین‌ها را در سلول‌های خود تجمع داده و موجب کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش جذب آب می‌شود (Salek Mearaji et al., 2020). این موضوع در

تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار در صفات مورفولوژی، فیزیولوژی و عملکرد دانه در گیاهان می‌شود؛ بنابراین یافتن راهکاری کارآمد برای کاهش آثار منفی ناشی از تنش و هم‌چنین معرفی ارقام مقاوم به خشکی الزامی است. با توجه به اینکه تا به حال تحقیقی به منظور بررسی اثر هیدروپرایمینگ در راستای بهبود شرایط تنش خشکی در ارقام مختلف کینوا در منطقه دامغان انجام نشده است و سندی در این مورد یافت نگردید، در این تحقیق به بررسی این موضوع پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت آزمایش اسپلینت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. آزمایش در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات پسته دامغان واقع در جنوب شهرستان دامغان با مختصات جغرافیایی طول شمالی ۵۳/۱۵ درجه و عرض شمالی ۳۴/۴۵ درجه با ارتفاع ۱۱۷۰ متری از سطح دریا، در سال ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل میزان آبیاری در سه سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی، ۷۵ درصد نیاز آبی و ۵۰ درصد نیاز آبی به عنوان عامل اصلی بود. رقم در سه سطح Titicaca، Q26 و Q29 و پرایمینگ در دو سطح عدم پرایمینگ و هیدروپرایمینگ به عنوان عامل فرعی قرار گرفتند. بذور مورد استفاده در این پژوهش، از موسسه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج تهیه شد. برخی از مشخصات ارقام مورد استفاده در این پژوهش و آمار هواشناسی منطقه مورد آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

یزد، اهواز، اصفهان، البرز، کرمانشاه و چند استان دیگر محدود می‌شود (Bagheri, 2018).

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd گیاهی یکساله از خانواده تاج خروسپان است. پروتئین بذر گیاه کینوا معادل ۱۳ تا ۲۱ درصد گزارش شده است. بذر این گیاه تمامی اسیدهای آمینه ضروری بدن انسان را دارا می‌باشد و ارزش غذایی بالایی دارد (Keshtkar et al., 2021). محققان نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش تعداد خوشه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل و عملکرد دانه در کینوا می‌گردد (Salek Mearaji et al., 2020). محققان دیگری نیز گزارش کردند که تنش خشکی در کینوا موجب کاهش سطح برگ (Stikic et al., 2015)، ارتفاع بوته (Sun et al., 2014) و تعداد شاخه فرعی (Dawood, 2018) شده است.

از جمله روش‌هایی که برای کاهش اثرات تنش در گیاهان استفاده می‌شود می‌توان به آماده‌سازی بذر قبل از کاشت یا پرایمینگ، اشاره کرد (Cavusoglu and Kabar, 2010). هیدروپرایمینگ یکی از انواع پرایمینگ است که در این روش بذور با آب خالص تیمار می‌شوند. در این روش که بسیار ساده و ارزان می‌باشد، مقدار جذب آب توسط بذر از روش مدت زمانی که بذور در تماس با آب خالص هستند، کنترل می‌شود (Abbasdokht and Edalatpishe, 2013). پرایمینگ بذور، سبب بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاه کینوا شده است (Jisha et al., 2013). در پژوهشی مشخص گردید که هیدروپرایمینگ سبب کوتاه شدن دوره جوانه‌زنی بذور کینوا در شرایط تنش خشکی می‌شود (Daur, 2018).

پژوهش‌های انجام شده نشان‌دهنده این می‌باشد که بروز

جدول ۱- ویژگی‌های ارقام مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Characteristics of cultivars used in this research

| رقم Cultivar | مبدأ Source | ویژگی‌ها Characteristics |
|-----------------|--------------------|---|
| Titicaca | دانمارک Denmark | مقاوم به شوری، زودرس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی Salinity resistant, early, suitable for spring and neutral day cultivation |
| Q26 | شیلی Chile | متوسط‌رس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی Medium, suitable for spring and neutral day cultivation |
| Q29 | شیلی Chile | متوسط‌رس، مناسب برای کشت بهاره و روز خنثی Medium, suitable for spring and neutral day cultivation |

دست انجام شد. تراکم بوته ۴۰ بوته در متر مربع بود (Bagheri, 2018). با استفاده از اطلاعات خاک‌شناسی و بر اساس توصیه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع

عملیات آماده‌سازی زمین از جمله شخم عمیق و دو دیسک عمود بر هم در پاییز سال قبل انجام گرفت. عملیات کاشت در تاریخ ۳۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸ در عمق یک‌ونیم سانتی‌متر و توسط

جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی، نمونه‌برداری در زمان گل‌دهی کامل (۴۵ روز پس از اعمال تیمار خشکی) صورت گرفت. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی و به روش برداشت پنج بوته از هر تیمار به‌طور تصادفی انجام شد. سطح تمامی برگ‌های پنج بوته فوق با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل A3 Light box ساخت کشور انگلستان به ثبت رسید. جهت اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید، ابتدا از نمونه‌های منجمد شده به میزان یک گرم بافت برگ با تری‌کلرواستیک‌اسید (TCA) پنج درصد (وزنی به حجمی) در هاون چینی روی یخ هموژنیزه شد (Wang *et al.*, 2016). عصاره هموژن شده به لوله فالکون منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. دو میلی‌لیتر از سوپرناتانت به دست آمده با دو میلی‌لیتر محلول تیوباری‌توریک‌اسید (TBA) ۰/۶۷ درصد (وزنی به حجمی) به خوبی مخلوط و سپس نمونه‌ها را در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. بلافاصله پس از این مرحله لوله‌های فالکون به مدت ۱۵ دقیقه در یک ظرف یخ قرار داده شد. سپس میزان مالون‌دی‌آلدئید با اندازه‌گیری جذب نور در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت و با استفاده از ضریب خاموشی ($\epsilon = 155 \mu\text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) محاسبه شد. محلول بلانک حاوی ۲۵۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۰/۱ درصد بود که با دو میلی‌لیتر معرف TBA ۰/۵ درصد مخلوط شده بود و تمامی تیمارها با محلول بلانک سنجیده شد.

جهت انجام تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه، تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک مزرعه نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

طبیعی استان سمنان (شاهرود) میزان ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۱۷۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان آماده‌سازی زمین و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه نوبت (بعد از تنک، قبل از ظهور پانیکول و در زمان ظهور پانیکول) و همراه با آب آبیاری (با استفاده از تانک کود و تزریق به سیستم آبیاری تحت فشار) در مزرعه آزمایشی استفاده شد.

آزمایش مورد نظر ۱۸ تیمار و چهار تکرار داشت. هر کرت آزمایش شامل چهار خط کاشت، فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر (Bagheri, 2018) (پس از تنک) به طول هشت متر بود. برای جلوگیری از تداخل آبیاری، در بین هر کرت اصلی دو خط نکاشت، قرار داده شد. جهت انجام هیدروپرایمینگ بذور، کلیه ارقام مورد استفاده در آزمایش با ۵۰ درصد وزنی آب مقطر مخلوط و بطور منظم بذور را هر دو ساعت یک‌بار به آرامی هم زده تا آب به‌طور کامل توسط بذور جذب شود، سپس بذور در دمای محیط آزمایشگاه خشک و بعد از آن اقدام به کشت گردید.

جهت آبیاری مزرعه از لوله تیپ به‌صورت جداگانه برای هر خط کاشت استفاده گردید. آبیاری مزرعه هر چهار روز یک‌بار تا سبز شدن و رسیدن گیاه به حدود شش برگی به‌صورت یکنواخت ادامه داشت. پس از آن اعمال تیمارهای تنش صورت گرفت. برای اعمال تیمار با استفاده از برنامه CROPWAT نیاز آبی برای گیاه کینوا محاسبه و اعمال تیمار بر اساس ۱۰۰ درصد، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی در مزرعه اعمال گردید. آبیاری در هر هفته یک بار انجام و میزان آب آبیاری در کرت‌های اصلی با استفاده از کنتور در هر بار آبیاری یادداشت شد. در پایان فصل میزان آب آبیاری برای هر تیمار محاسبه و به ترتیب ۶۸۸۰، ۵۱۶۰ و ۳۴۴۰ متر مکعب در هکتار بود.

جدول ۲- برخی از پارامترهای هواشناسی شهر دامغان

Table 2- Some meteorological parameters of Damghan

| ماه Month | دما Temperature (°C) | رطوبت نسبی Relative humidity (%) | بارندگی Rainfall (mm) |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| اردیبهشت May | 23.91 | 34.43 | 4.31 |
| خرداد June | 29.61 | 30.71 | 29.00 |
| تیر July | 32.02 | 27.90 | 0 |
| مرداد August | 28.56 | 30.35 | 0 |
| شهریور September | 25.49 | 36.48 | 0 |

جدول ۳- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 3- Characteristics of the tested farm soil

| بافت خاک Soil texture | فسفر P | پتاسیم K ⁺ | سدیم Na ⁺ | کلسیم Ca ²⁺ | کلر Cl ⁻ | بیکربنات HCO ₃ ⁻ | هدایت الکتریکی EC | اسیدیته pH | کربن آلی O.C | نیتروژن N |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------------|---------------|-----------------|--------------|
| | (Meq.l ⁻¹) | | | | (dS m ⁻¹) | | | (%) | (%) | |
| لومی - رسی Clay-Loam | 5.56 | 318 | 13.8 | 9.4 | 24.8 | 0.53 | 2.97 | 7.6 | 0.57 | 0.04 |

جهت ثبت فعالیت آنزیم کاتالاز، مقدار ۰/۰۵ گرم بافت تر گیاهچه با دو میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH=۶/۸ در هاون چینی سرد هموزن شد و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. از فاز شفاف رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس ضریب خاموشی (E) برابر با ۴۰ mM⁻¹ cm⁻¹ در دقیقه به ازای یک میلی‌گرم پروتئین بیان شد (Kar and Mishra, 1976).

جهت تعیین فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، مخلوطی به حجم دو میلی‌لیتر تهیه شد که این مخلوط شامل ۱/۷ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، عصاره آنزیمی (۱۰۰ میکرولیتر)، آسکوربیک اسید ۰/۵ میلی‌مولار و (۵۰ میکرولیتر)، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار ۵۰ میکرولیتر و آب اکسیژنه ۱/۲ میلی‌مولار (۱۰۰ میکرو-لیتر) بود، محلول بلانک فاقد آب اکسیژنه بوده و با اضافه کردن آب اکسیژنه در آخرین مرحله به مخلوط تهیه شده، فعالیت آنزیمی شروع شد. ضریب خاموشی آسکوربات‌پراکسیداز (E) برابر با mM⁻¹ cm⁻¹ ۲/۸ می‌باشد (Nakano and Asada, 1981). برای محاسبه میزان فعالیت آنزیم از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد و تغییرات جذب نور در طول موج ۲۹۰ نانو متر در طول مدت چهار دقیقه ثبت شد. ضریب خاموشی آسکوربات‌پراکسیداز (E) نیز برابر با mM⁻¹ cm⁻¹ ۲/۸ است.

بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی دانه و قطع آبیاری و خشک شدن نسبی پانیکول‌ها برای تعیین عملکرد دانه، برداشت از دو خط وسط (۸۵ روز بعد از اعمال خشکی) به طول چهار متر (چهار متر مربع) انجام شد و پس از آن عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد. اجزای عملکرد دانه کینوا شامل وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول با توجه به پنج بوته برداشت شده از هر کرت محاسبه و اندازه‌گیری

برای تعیین میزان پرولین موجود در برگ‌های کینوا، ابتدا از هر نمونه بطور مجزا مقدار ۰/۲۵ گرم بافت گیاهی را به پنج میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک‌اسید سه درصد آماده شده اضافه نموده و سپس نمونه در هاون چینی در یک محیط سرد مخلوط و همگن شد (Bathes et al., 1973). مخلوط به دست آمده را به فالدون منتقل، سپس در سانتریفیوژ دمای چهار درجه سانتی‌گراد در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد، پس از آن دو میلی‌لیتر از عصاره سوپرناتانت را به یک لوله فالدون جدید منتقل نموده و به همه لوله‌ها مقدار دو میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسیداستیک‌گلاسیال اضافه شد. به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از سرد شدن نمونه‌ها در حمام آب یخ، به هریک از لوله‌ها مقدار چهار میلی‌لیتر تولون اضافه نموده و آن را به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم زده شد. آنگاه به اندازه لازم از فاز بالایی در کووت ریخته و غلظت پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و با توجه به منحنی استاندارد، پرولین محلول بر حسب میکروگرم بر گرم بافت تر تعیین شد. درصد نیتروژن بذور کینوا با دستگاه کج‌دال (مدل Behr-D-40599 Duselldorf) ثبت شد (Fowler et al., 1989).

مقدار ۰/۰۵ گرم از بافت برگی با دو میلی‌لیتر از بافر استخراج شامل تریس ۵۰ میلی‌مولار، کلرید منیزیم ۱۰۰ میلی‌مولار، ساکارز ۲۵۰ میلی‌مولار، تراپتون X-100 نیم درصد، بتامرکاپتوانانول ۱۰ میلی‌مولار و PMSF یک میلی‌مولار با pH=۸ در هاون چینی سرد هموزن شد. سپس با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه، دمای چهار درجه سانتی‌گراد و مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. از فاز شفاف رویی برای سنجش آنزیم‌ها استفاده شد. جهت تعیین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز از ریبوفلاوین و متیونین استفاده شد (Beauchamp and Fridovich, 1971).

یکی از دلایل افت سطح برگ در تنش خشکی به کاهش سرعت و گسترش سطح برگ به واسطه اختلال در فتوسنتز در شرایط تنش برمی‌گردد. اولین سازوکار گیاهان برای مقابله با تنش خشکی، افت سطح برگ و افت تعرق است (Shao *et al.*, 2008). علت افت سطح برگ در تنش خشکی را با حساسیت بالای تقسیم سلولی و سرعت رشد سلول‌ها به کم‌آبی مرتبط دانسته‌اند. مشابه نتایج تحقیق حاضر سایر محققان گزارش کردند که وقوع تنش خشکی، به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ کینوا را کاهش داد (Solimaninya *et al.*, 2020; Jamali *et al.*, 2018; Sharifan *et al.*, 2017).

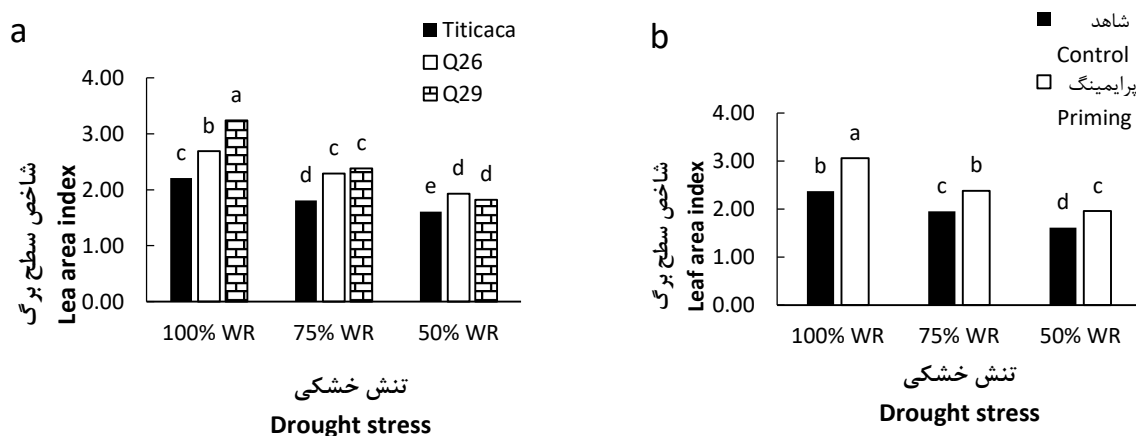
دلیل اینکه پرایمینگ موجب افزایش شاخص سطح برگ شد را می‌توان با تسریع در سبز شدن و استقرار گیاه مرتبط دانست. در راستای تحقیق حاضر، محققان دیگری نیز به این نتیجه رسیدند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ کینوا می‌شود (Amiryousefi *et al.*, 2021; Kaman *et al.*, 2011). گزارشی شده است که پرایمینگ بذر را امکان عبور بذر از مرحله جوانه‌زنی در شرایط تنش را بهتر فراهم می‌آورد و گیاهچه‌های حاصل، شانس بیشتری برای ادامه رشد و توسعه داشته و توانایی بالاتری جهت تحمل و غلبه بر شرایط نامساعد محیطی خواهند یافت (Elewa *et al.*, 2017). مقدار شاخص سطح برگ این گیاه در حالت معمول بین چهار تا شش است و شاخص سطح برگ این تحقیق با آن هم‌خوانی دارد.

شد. نرمال‌سازی و تبدیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ در زمان گل‌دهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد شاخص سطح برگ تحت تأثیر تنش خشکی، رقم، پرایمینگ و اثر متقابل تنش خشکی با رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ نیز در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تنش خشکی در هر سه رقم باعث کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ شد. رقم Q29 در ۱۰۰٪ WR بالاترین میزان شاخص سطح برگ را دارا بود که برابر با ۳/۲۴ به ثبت رسید. انجام تنش خشکی به مقدار ۷۵٪ WR در ارقام Titicaca، Q26 و Q29، شاخص سطح برگ را به ترتیب ۱۸/۰، ۱۴/۸ و ۲۶/۵ درصد نسبت به شرایط ۱۰۰٪ WR کاهش داد. اعمال تنش خشکی در سطح ۵۰٪ WR کمترین مقدار شاخص سطح برگ را در تمامی ارقام به خود اختصاص داد (شکل ۱a). استفاده از هیدروپرایمینگ در تمامی سطوح آبیاری، موجب افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ گردید (شکل ۱b).



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی و رقم (a) و تنش خشکی و پرایمینگ (b)

Figure 1- Mean comparison of leaf area index under the influence of drought stress and cultivar (a) and drought stress and priming (b)

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، رقم و پرایمینگ
 Table 4- Analysis of variance of traits measured in quinoa under drought stress, cultivar and priming

| منابع تغییر Source of variation | درجه آزادی Degrees of freedom | عملکرد دانه Seed yield | شاخص سطح برگ Leaf area index | کلروفیل کل Chlorophyll | نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll | تعداد دانه در پانیکول Number of seeds per panicle | تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant | وزن هزار دانه 1000 seeds weight | درصد پروتئین Protein percentage |
|--|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|---|------------------------------------|------------------------------------|
| تکرار Replication | 3 | 20102.78 ^{ns} | 0.05 ^{ns} | 96.06 ^{ns} | 2.08 ^{ns} | 212.71 ^{ns} | 0.18 ^{ns} | 0.01 ^{ns} | 0.26 ^{ns} |
| تنش خشکی Drought stress(a) | 2 | 1758189.75 ^{**} | 5.25 ^{**} | 8066.15 ^{**} | 3.83 ^{ns} | 4643.46 ^{ns} | 14.42 ^{**} | 0.95 ^{**} | 115.01 ^{**} |
| خطای اول Error _a | 6 | 4544.37 ^{ns} | 0.03 ^{ns} | 16.89 ^{ns} | 3.19 ^{ns} | 1111.51 ^{ns} | 0.68 [*] | 0.01 ^{ns} | 0.200 ^{ns} |
| رقم (b) Cultivar | 2 | 63184.71 ^{**} | 2.31 ^{**} | 81.92 ^{ns} | 0.90 ^{ns} | 14366.04 ^{**} | 3.27 ^{**} | 0.02 ^{ns} | 22.12 ^{**} |
| پرایمینگ (c) Priming | 1 | 357505.58 ^{**} | 4.20 ^{**} | 2522.03 ^{**} | 1.75 ^{ns} | 3418.81 ^{ns} | 7.72 ^{**} | 0.17 ^{**} | 0.60 ^{ns} |
| a*b | 4 | 33433.85 ^{**} | 0.39 ^{**} | 37.60 ^{ns} | 3.60 ^{ns} | 2247.83 ^{ns} | 1.22 ^{**} | 0.01 ^{ns} | 0.81 [*] |
| a*c | 2 | 3804.06 ^{ns} | 0.18 [*] | 57.67 ^{ns} | 4.50 ^{ns} | 2755.97 ^{ns} | 0.67 ^{ns} | 0.005 ^{ns} | 2.91 ^{**} |
| b*c | 2 | 574.48 ^{ns} | 0.055 ^{ns} | 7.56 ^{ns} | 3.69 ^{ns} | 3718.39 ^{ns} | 0.63 ^{ns} | 0.01 ^{ns} | 1.96 ^{**} |
| a*b*c | 4 | 8954.22 ^{ns} | 0.041 ^{ns} | 18.32 ^{ns} | 0.52 ^{ns} | 283.22 ^{ns} | 0.03 ^{ns} | 0.008 ^{ns} | 5.16 ^{**} |
| خطای دوم Error _b | 45 | 7206.84 | 0.037 | 56.48 | 2.94 | 2382.40 | 0.28 | 0.01 | 0.22 |
| ضریب تغییرات c.v (%) | - | 8.01 | 8.70 | 9.80 | 17.63 | 16.33 | 11.45 | 5.28 | 2.94 |
| برش دهی اثرات متقابل Interaction slicing | درجه آزادی Degrees of freedom | | | | | | | | |
| a*b برش دهی b در هر سطح a (Slicing of b in a levels) | | | | | | | | | |
| a1 | 2 | 94558.0 ^{**} | 2.13 ^{**} | - | - | - | 4.02 ^{**} | - | 6.71 ^{**} |
| a2 | 2 | 20022.0 ^{ns} | 0.75 ^{**} | - | - | - | 1.47 ^{**} | - | 6.55 ^{**} |
| a3 | 2 | 15473.0 ^{ns} | 0.20 ^{**} | - | - | - | 0.23 ^{ns} | - | 10.47 ^{**} |
| a*c برش دهی c در هر سطح a (Slicing of c in a levels) | | | | | | | | | |
| a1 | 1 | - | 2.78 ^{**} | - | - | - | - | - | 5.49 ^{**} |
| a2 | 1 | - | 1.09 ^{**} | - | - | - | - | - | 0.0003 ^{ns} |
| a3 | 1 | - | 0.70 ^{**} | - | - | - | - | - | 0.94 [*] |
| b*c برش دهی c در هر سطح b (Slicing of c in b levels) | | | | | | | | | |
| b1 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 1.33 [*] |
| b2 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 1.19 [*] |
| b3 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 ^{**} |
| a*b*c برش دهی b*c در هر سطح a (Slicing of b*c in a levels) | | | | | | | | | |
| a1 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | 4.98 ^{**} |
| a2 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | 3.14 ^{**} |
| a3 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | 7.57 ^{**} |

ns, * و ** به ترتیب: عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** respectively: non significantly, significance at the level of five percent and one percent.

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در کینوا تحت تأثیر تنش خشکی، رقم و پرایمینگ

Table 4- Analysis of variance of traits measured in quinoa under drought stress, cultivar and priming

| منابع تغییر Source of variation | درجه آزادی Degrees of freedom | مالون دی آلدیید Malon dialdehyde | شاخص پایداری غشاء Membrane Stability Index | نسبت کلروفیل a/b chlorophyll a/ chlorophyll b | محتوای نسبی آب Relative water content | پروترین Proline | سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase | کاتالاز Catalase | آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|---------------------|---|----------------------|--|
| تکرار Replication | 3 | 13.73 ^{ns} | 79.57 ^{ns} | 2.08 ^{ns} | 159.60 ^{ns} | 3.37 ^{ns} | 0.003 ^{ns} | 0.0004 ^{ns} | 0.023 ^{ns} |
| تنش خشکی drought (a) | 2 | 331.05 ^{**} | 2707.52 ^{**} | 3.83 ^{ns} | 1051.57 ^{**} | 40.56 ^{**} | 4.45 ^{**} | 0.44 ^{**} | **5.17 |
| خطای اول Error _a | 6 | 2.98 ^{ns} | 12.93 ^{ns} | 3.19 ^{ns} | 8.70 ^{ns} | 2.63 ^{ns} | 0.01 ^{ns} | *0.001 | 0.006 ^{ns} |
| رقم (b) Cultivar | 2 | 9.82 ^{**} | 12.00 ^{ns} | 0.90 ^{ns} | 6.30 ^{ns} | 4.38 ^{ns} | 3.53 ^{**} | 0.52 ^{**} | 4.85 ^{**} |
| پرایمینگ (c) Priming | 1 | 6.46 [°] | 226.24 ^{**} | 1.75 ^{ns} | 4.88 ^{ns} | 0.11 ^{ns} | 0.87 ^{**} | 0.26 ^{**} | 1.02 ^{**} |
| a*b | 4 | 1.39 ^{ns} | 7.16 ^{ns} | 3.60 ^{ns} | 5.73 ^{ns} | 0.85 ^{ns} | 0.06 ^{**} | 0.48 ^{**} | 0.04 ^{**} |
| a*c | 2 | 2.29 ^{ns} | 7.84 ^{ns} | 4.50 ^{ns} | 12.34 ^{ns} | 0.39 ^{ns} | 0.14 ^{**} | 0.07 ^{**} | 0.18 ^{**} |
| b*c | 2 | 0.80 ^{ns} | 21.50 ^{ns} | 3.69 ^{ns} | 90.05 ^{ns} | 0.64 ^{ns} | 0.02 ^{ns} | 0.06 ^{**} | 0.06 ^{**} |
| a*b*c | 4 | 0.90 ^{ns} | 18.98 ^{ns} | 0.52 ^{ns} | 8.13 ^{ns} | 0.34 ^{ns} | 0.05 ^{**} | 0.05 ^{**} | 0.05 ^{**} |
| خطای دوم Error _b | 45 | 1.58 | 10.48 | 2.94 | 40.44 | 1.63 | 0.01 | 0.0005 | 0.009 |
| ضرب تغییرات C.V (%) | - | 8.46 | 9.00 | 17.63 | 8.97 | 17.65 | 4.23 | 4.67 | 5.23 |
| برش دهی اثرات متقابل Interaction slicing | درجه آزادی Degrees of freedom | | | | | | | | |
| a*b | | | | | | | | | |
| برش دهی a در هر سطح (Slicing of b in a levels) | | | | | | | | | |
| a1 | 2 | - | - | - | - | - | 1.63 ^{**} | 0.002 [*] | 1.37 ^{**} |
| a2 | 2 | - | - | - | - | - | 0.82 ^{**} | 0.005 ^{**} | 2.09 ^{**} |
| a3 | 2 | - | - | - | - | - | 1.21 ^{**} | 1.47 ^{**} | 1.47 ^{**} |
| a*c | | | | | | | | | |
| برش دهی c در هر سطح (Slicing of c in a levels) | | | | | | | | | |
| a1 | 1 | - | - | - | - | - | 0.44 ^{**} | 0.02 ^{**} | 0.85 ^{**} |
| a2 | 1 | - | - | - | - | - | 0.70 ^{**} | 0.01 ^{**} | 0.53 ^{**} |
| a3 | 1 | - | - | - | - | - | 0.01 ^{ns} | 0.38 ^{**} | 0.01 ^{ns} |
| b*c | | | | | | | | | |
| برش دهی b در هر سطح (Slicing of c in b levels) | | | | | | | | | |
| b1 | 1 | - | - | - | - | - | - | 0.33 ^{**} | 0.28 ^{**} |
| b2 | 1 | - | - | - | - | - | - | 0.02 ^{**} | 0.12 ^{**} |
| b3 | 1 | - | - | - | - | - | - | 0.02 ^{**} | 0.74 ^{**} |
| a*b*c | | | | | | | | | |
| برش دهی a در هر سطح (Slicing of b*c in a levels) | | | | | | | | | |
| a1 | 5 | - | - | - | - | - | 0.74 ^{**} | 0.01 ^{**} | 0.73 ^{**} |
| a2 | 5 | - | - | - | - | - | 0.47 ^{**} | 0.008 ^{**} | 0.94 ^{**} |
| a3 | 5 | - | - | - | - | - | 0.52 ^{**} | 0.71 ^{**} | 0.64 ^{**} |

ns, * و ** به ترتیب: عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** respectively: non significantly, significance at the level of five percent and one percent.

شاخص پایداری غشاء

خشکی بیشتر بوده که باعث اکسید شدن آنتی‌اکسیدان‌ها، تجزیه رنگیزه‌ها، صدمه دیدن غشاهای سلولی، افزایش نشت‌پذیری الکترولیت‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشاء گردیده است. مشابه این نتایج را پژوهش‌گران دیگر نیز در کینوا گزارش کرده‌اند (Sadak *et al.*, 2019). غشاء سلولی از اندام‌هایی آغازین است که تحت شرایط تنش خشکی، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث صدمه دیدن غشاء و در نهایت مرگ آن می‌شود (Akbari *et al.*, 2016).

تنش خشکی و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد بر شاخص پایداری غشاء تأثیر معنی‌دار داشت و این در حالی است که رقم بدون تأثیر بود (جدول ۴). بررسی نتایج تحقیق حاکی از آن است که انجام تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص پایداری غشاء شد. کمترین شاخص پایداری غشاء در ۵۰٪WR مشاهده شد که معادل ۲۵/۷ درصد بود (جدول ۴). استفاده از هیدروپرایمینگ موجب افزایش این صفت از ۳۴/۱ به ۳۷/۷ شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در شرایط تنش

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات اندازه‌گیری شده در کینوا

Table 5- Comparison of the mean of the main effects of the measured traits in quinoa

| تیمارها Treatments | مالون‌دی-آلدئید Malon Dialdehyde ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ FW) | شاخص پایداری غشاء Membrane stability index (%) | کلروفیل Chlorophyll (mg. g ⁻¹ FW) | محتوای نسبی آب Relative water content (%) | پروترین Proline ($\mu\text{mol.g}^{-1}$ FW) | وزن هزار دانه 1000 seeds weight (g) | تعداد پانیکول در بوته No. of panicles per plant | تعداد دانه در پانیکول Number of seeds per panicle | عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹) |
|----------------------------|---|---|---|--|---|--|--|--|--|
| تنش خشکی Drought stress | | | | | | | | | |
| 100% WR | 11.10 c | 46.91 a | 94.62 a | 77.85 a | 5.98 c | 2.14 a | 5.48 a | 314.79 a | 1337.96 a |
| 75% WR | 15.02 b | 35.26 b | 77.34 b | 70.09 b | 7.17 b | 1.90 b | 4.44 b | 290.90 b | 1042.66 b |
| 50% WR | 18.52 a | 25.70 c | 57.97 c | 64.68 c | 8.58 a | 1.75 c | 3.97 b | 290.51 b | 797.41 c |
| ارقام Cultivars | | | | | | | | | |
| Titicaca | 14.93 ab | 35.21 a | 75.18 a | 71.42 a | 7.49 a | 1.90 a | 4.22 b | 322.27 a | 1023.61 b |
| Q26 | 15.49 a | 36.03 a | 78.72 a | 70.78 a | 7.49 a | 1.96 a | 4.74 a | 300.51 ab | 1118.14 a |
| Q29 | 14.21 b | 36.62 a | 76.03 a | 70.41 a | 6.75 a | 1.93 a | 4.93 a | 273.43 b | 1036.27 b |
| پرایمینگ Priming | | | | | | | | | |
| شاهد Control | 14.58 b | 34.18 b | 70.72 b | 71.13 a | 7.28 a | 1.88 b | 4.30 b | 305.63 a | 988.88 b |
| پرایمینگ Priming | 15.18 a | 37.73 a | 82.56 a | 70.61 a | 7.21 a | 1.98 a | 4.96 a | 291.84 a | 1129.81 a |

حروف کنار اعداد، نمایانگر مقایسات میانگین LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The letters next to the numbers represent comparisons of the mean LSD at the 5% probability level. Means with similar letters are not significantly different at the 5% probability level.

محتوای نسبی آب برگ

معنی‌دار ۷/۷۶ و ۱۳/۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی به دلیل تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند

در این تحقیق تنها تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ کینوا تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). اعمال دو سطح ۷۵٪WR و ۵۰٪WR تنش خشکی موجب کاهش

رادیکال‌های آزاد سیستم دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی مانند پرولین را افزایش می‌دهند (Shahid *et al.*, 2014). پرولین موجب حفظ تعادل آب، حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود. این ماده به‌عنوان رایج‌ترین اسمولیت انباشته شده در شرایط تنش عمل می‌کند (Soleimaninya *et al.*, 2020). ارقام با سازوکار کارا تر قادرند که باعث افزایش تجمع پرولین شده و از طریق تنظیم اسمزی مقاومت خود را نسبت به تنش کم‌آبی افزایش دهند. هم‌چنین پرولین به عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد (Amini *et al.*, 2015).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

تنش خشکی، رقم، پرایمینگ، اثرات متقابل دوجانبه و سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز تأثیرگذار بود (جدول ۴). برش‌دهی^۱ فیزیکی اثرات سه‌جانبه عامل‌ها نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در هر سه سطح آبیاری مربوط به هیدروپرایمینگ رقم Titicaca بود. رقم Q26 بدون دریافت پرایمینگ، در هر سه سطح آبیاری، کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را به خود اختصاص داد. نتایج بیان‌گر این است که اعمال تنش ۷۵٪WR نسبت به شاهد موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز شد و این در حالی است که تنش ۵۰٪WR، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۶). بررسی برش‌دهی اثرات آنزیم کاتالاز نشان داد که در شرایط ۱۰۰٪WR رقم Titicaca بدون دریافت پرایمینگ، فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتری را دارا بود و اعمال پرایمینگ در این شرایط در دو رقم Titicaca و Q29 رقم موجب کاهش ۲۵/۴ و ۱۲/۵ درصد معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد (جدول ۶). فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط ۷۵٪WR با اعمال پرایمینگ در رقم Titicaca اختلافی با شاهد نشان نداد. این در حالی بود که در دو رقم Q26 و Q29، استفاده از پرایمینگ موجب کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد. فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهانی که ۵۰٪WR را تجربه کرده بودند، زمانی که پرایمینگ را نیز دریافت کردند، تا سطح معنی‌داری کاهش نشان داد (جدول ۶).

از طریق تغییر دادن صفاتی مانند پتانسیل اسمزی سلول‌ها به تنش پاسخ می‌دهند. سایر پژوهش‌گران نیز نشان دادند که تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاه کینوا می‌شود (Soleimaninya *et al.*, 2020).

کلروفیل

نسبت کلروفیل a به b در این پژوهش از تیمارهای آزمایش تأثیر نپذیرفت. این در حالی است که اثرات تنش خشکی و پرایمینگ (در سطح یک درصد) بر کلروفیل کل معنی‌دار بودند (جدول ۴). انجام تنش خشکی در سطوح ۷۵٪WR و ۵۰٪WR به ترتیب موجب کاهش ۱۸/۲ و ۳۸/۷ درصدی کلروفیل نسبت به ۱۰۰٪WR شدند (جدول ۵). کلروفیل کل در گیاهان حاصل از بذور هیدروپرایم شده به میزان ۱۶/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۵). در بین سه رقم مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری از لحاظ کلروفیل مشاهده نشد (جدول ۵). کاهش مقدار کلروفیل برگ می‌تواند به‌واسطه کاهش سنتز کلروفیل و هم‌چنین نتیجه تخریب آن باشد (Elewa *et al.*, 2017). پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین در گیاهان، اسید گلوتامیک است. در شرایط تنش خشکی، میزان سنتز پرولین از اسید گلوتامیک افزایش می‌یابد که این امر کاهش اندازه کلروفیل در تنش خشکی را توجیه می‌کند. مشابه این نتایج را محققان دیگر در کینوا گزارش کردند (Jamali *et al.*, 2018). احتمالاً پرایمینگ با سرعت بخشیدن به مراحل ابتدایی رشد و سپس استقرار گیاه سبب افزایش غلظت کلروفیل شده است؛ بنابراین استفاده از هیدروپرایمینگ جهت تسریع در جوانه‌زنی و استقرار گیاه و سریع‌تر بسته شدن کانوپی گیاه مفید می‌باشد. محققان دیگر گزارش دادند که تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل در کینوا می‌شود (Anaya *et al.*, 2015; Elewa *et al.*, 2017).

پرولین

پرولین موجود در برگ گیاه کینوا در این آزمایش تنها از تنش خشکی تأثیر پذیرفت (جدول ۴). پرولین در برگ گیاهانی که تنش خشکی ۷۵٪WR و ۵۰٪WR را تجربه کرده بودند، به ترتیب ۱/۱۹ و ۲/۶۰ میکرومول بر گرم (۱۹/۸ درصد و ۴۳/۴ درصد) بیشتر از شاهد بود (جدول ۶). زمانی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، به‌دلیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تنش اکسیداتیو در گیاه اتفاق می‌افتد. گیاهان برای دفاع در برابر

اندازه مالون‌دی‌آلدئید موجود در برگ کینوا اثر معنی‌دار داشت (جدول ۴). با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان مالون‌دی‌آلدئید $3/35$ و $8/66$ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۵). در میان سه رقم مورد بررسی، رقم Q26 نسبت به رقم Q29 اندازه مالون‌دی‌آلدئید بیشتری را دارا بود و رقم Titicaca نسبت به دو رقم دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. استفاده از هیدروپرایمینگ باعث افزایش معنی‌داری مالون‌دی‌آلدئید از $5/14$ میکرومول بر گرم تر برگ در گیاهان شاهد به $1/15$ میکرومول بر گرم تر برگ (معادل $95/3$ درصد) شد (جدول ۵). تنش خشکی باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه می‌شود و از این طریق نشت الکترولیت‌ها و غلظت مالون‌دی‌آلدئید افزایش می‌یابد. افزایش غلظت این ماده تحت تأثیر تنش خشکی در گیاه کینوا گزارش شده است (Sadak et al., 2019).

عملکرد، اجزای عملکرد دانه و درصد پروتئین

درصد پروتئین موجود در بذر کینوا در این پژوهش از تنش خشکی، رقم، اثرات متقابل تنش خشکی و پرایمینگ، رقم و پرایمینگ و اثر سه جانبه عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. اثر متقابل دو جانبه تنش خشکی و رقم نیز در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت مؤثر بود (جدول ۴). برداشته‌های فیزیکی اثرات سه جانبه عامل‌ها نشان داد که اعمال تنش خشکی موجب افزایش درصد پروتئین در بذور گردید (جدول ۶). استفاده از هیدروپرایمینگ در شرایط آبیاری نرمال در دو رقم Titicaca و Q29 اختلافی با شاهد نشان نداد ولی در رقم Q26 سبب کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اعمال پرایمینگ در شرایط $75/WR$ ، در رقم Titicaca موجب کاهش درصد پروتئین شد و در رقم Q26 موجب افزایش درصد پروتئین گردید. رقم Q29 از پرایمینگ در این شرایط تأثیر نپذیرفت (جدول ۶). در شرایط تنش خشکی شدید ($50/WR$) نتایج متفاوتی به دست آمد. به این صورت که درصد پروتئین با اعمال پرایمینگ در رقم Titicaca کاهش یافت. در رقم Q26، درصد پروتئین از هیدروپرایمینگ تأثیر نپذیرفت و رقم Q29 کاهش درصد پروتئین را نشان داد (جدول ۶). در تحقیق حاضر دلیل افزایش درصد پروتئین می‌تواند با کاهش وزن هزار دانه مرتبط باشد. تحقیقات نشان داده است که کاهش در اندازه دانه تحت تأثیر تنش خشکی

در مورد فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که با اعمال تنش خشکی، فعالیت این آنزیم در برگ‌های گیاه کینوا افزایش نشان داد (جدول ۴). در شرایط نرمال آبیاری ($100/WR$)، استفاده از پرایمینگ موجب کاهش معنی‌دار این صفت در تمامی ارقام شد. بالاترین فعالیت این آنزیم در شرایط $75/WR$ مربوط به رقم Q26 بدون دریافت پرایمینگ بود که معادل $2/54$ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود (جدول ۶). اعمال پرایمینگ در سطح تنش خشکی $75/WR$ نیز در تمامی ارقام موجب کاهش فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز گردید. در شرایط تنش خشکی $50/WR$ رقم Q26 به همراه دریافت پرایمینگ، بالاترین فعالیت این آنزیم را دارا بود و کمترین فعالیت این آنزیم در این شرایط مربوط به رقم Titicaca با دریافت هیدروپرایمینگ بود که معادل $1/83$ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه بود (جدول ۶). دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا در این پژوهش را می‌توان این‌طور بیان کرد که این آنزیم‌ها جزء سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌باشند که برای کاهش خسارت ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال شده در شرایط تنش خشکی افزایش یافته‌اند. در راستای تحقیق حاضر محققان گزارش کردند که تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در کینوا می‌گردد (Soleimaninya et al., 2020; Aziz et al., 2018). فعالیت کمتر آنزیم‌ها در $100/WR$ احتمالاً به دلیل نیاز کمتر گیاه در این شرایط است. پژوهش‌گران بیان کردند که پتانسیل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها از نظر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در مقاومت به تنش خشکی مؤثر است (Lata et al., 2011). در تیمارهای تحت تنش خشکی به علت ممانعت از باز شدن روزنه‌ها، مقدار جذب دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد و به دنبال آن افزایش غلظت گونه‌های فعال اکسیژن اتفاق می‌افتد، گیاه سیستم آنتی‌اکسیدانی خود از جمله سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات‌پراکسیداز را در جهت پالایش گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. گزارش شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها راهکاری برای سازگاری کلی گیاهان برای غلبه بر تنش‌های اکسیداتیو است (Khazaey et al., 2019).

مالون‌دی‌آلدئید

نتایج تحقیق بیانگر این است که تنش خشکی و رقم (در سطح احتمال یک درصد) و پرایمینگ (در سطح احتمال پنج درصد) بر

منجر به افزایش پروتئین دانه در گیاه کینوا می‌شود که درصد پروتئین بذر کینوا تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Sadeghizade *et al.*, 2021). محققان دیگری نیز گزارش کردند می‌گیرد (Hinojosa *et al.*, 2018).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌جانبه تنش خشکی، رقم و پرایمینگ صفات اندازه‌گیری شده در کینوا (برش‌دهی فیزیکی در سطح تنش خشکی انجام شده است)

Table 6- Mean comparison of tripartite interactions of drought stress, cultivar and priming of traits measured in quinoa (physical slicing performed at drought stress level)

| تنش خشکی Drought stress | رقم Cultivar | پرایمینگ Priming | سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase (U. mg ⁻¹ pro.min ⁻¹) | کاتالاز Catalase (U. mg ⁻¹ pro.min ⁻¹) | آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (U. mg ⁻¹ pro.min ⁻¹) | درصد پروتئین Protein percentage | |
|----------------------------|-----------------|---------------------|---|---|--|---------------------------------------|---------|
| 100% WR | Titicaca | شاهد Control | 2.79 b | 0.48 a | 1.15 c | 15.20 a | |
| | | پرایمینگ Priming | 2.99 a | 0.29 e | 0.95 d | 14.79 ab | |
| | Q26 | شاهد Control | 1.86 e | 0.39 c | 2.08 a | 14.47 b | |
| | | پرایمینگ Priming | 2.12 d | 0.43 b | 1.64 b | 12.11 d | |
| | Q29 | شاهد Control | 2.24 d | 0.40 bc | 1.54 b | 13.61 c | |
| | | پرایمینگ Priming | 2.60 c | 0.35 d | 1.06 cd | 13.50 c | |
| | 75% WR | Titicaca | شاهد Control | 3.03 b | 0.45 b | 1.53 e | 17.24 a |
| | | | پرایمینگ Priming | 3.31 a | 0.47 b | 1.26 f | 16.55 b |
| | | Q26 | شاهد Control | 2.34 d | 0.52 a | 2.54 a | 15.46 c |
| | | | پرایمینگ Priming | 2.77 c | 0.40 c | 2.29 b | 16.35 b |
| | | Q29 | شاهد Control | 2.87 c | 0.44 b | 2.09 c | 15.17 c |
| | | | پرایمینگ Priming | 3.17 ab | 0.39 c | 1.72 d | 15.00 c |
| 50% WR | | Titicaca | شاهد Control | 2.35 b | 1.41 a | 2.01 e | 18.36 b |
| | | | پرایمینگ Priming | 2.53 a | 0.87 b | 1.83 f | 20.88 a |
| | | Q26 | شاهد Control | 1.77 e | 0.52 c | 2.65 b | 17.82 b |
| | | | پرایمینگ Priming | 1.56 f | 0.42 d | 2.90 a | 17.95 b |
| | | Q29 | شاهد Control | 1.98 d | 0.39 d | 2.40 c | 18.18 b |
| | | | پرایمینگ Priming | 2.15 c | 0.29 e | 2.20 d | 16.73 c |

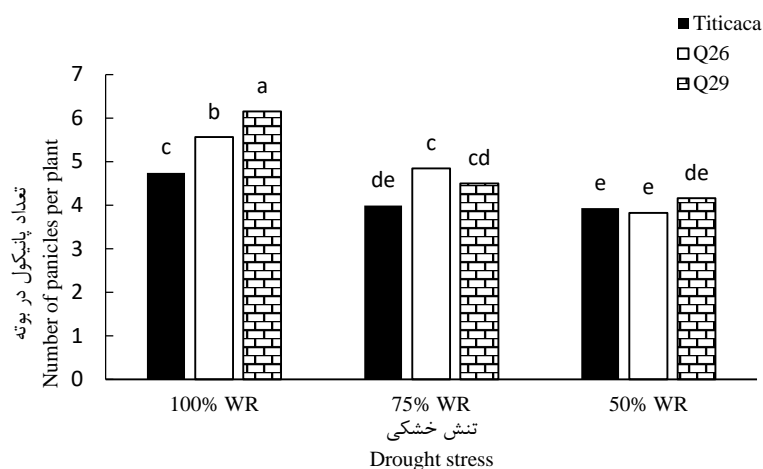
حروف کنار اعداد، نمایانگر مقایسات میانگین LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

The letters next to the numbers represent comparisons of the mean LSD at the 5% probability level. Means with similar letters are not significantly different at the 5% probability level.

اجزای عملکرد کینوا شامل وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول است. در این پژوهش وزن هزار دانه از تنش خشکی و پرایمینگ در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. اعمال تنش خشکی بر گیاهان موجب کاهش وزن هزار دانه گردید؛ به طوری که اعمال ۷۵٪ WR و ۵۰٪ WR به ترتیب وزن هزار دانه را ۰/۲۴ و ۰/۳۹ گرم نسبت به شاهد کاهش دادند (جدول ۵). هیدروپرایمینگ بذور موجب شد این صفت از ۱/۸۸ گرم در گیاهان شاهد به ۱/۹۸ گرم افزایش یابد (جدول ۵).

بودن ۳۲۲ دانه در پانیکول بالاترین میزان این صفت را دارا بود که البته از لحاظ آماری با رقم Q26 اختلاف معنی‌دار نداشت. رقم Q29 نیز کمترین تعداد دانه در پانیکول را که معادل ۲۷۳ عدد بود به خود اختصاص داد که این رقم نیز با رقم Q26 اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵). در راستای نتایج تحقیق حاضر محققان مشاهده کردند که تنش خشکی موجب کاهش اجزای عملکرد کینوا می‌گردد (Gamez *et al.*, 2019).

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود هیدروپرایمینگ توانست تعداد پانیکول در بوته را از ۴/۳۰ به ۴/۹۶ (معادل ۱۵/۳۴ درصد) افزایش دهد. نتایج شکل ۲ نیز نشان می‌دهد که تنش خشکی در هر سه رقم موجب کاهش معنی‌دار تعداد پانیکول در بوته گردید. بیشترین تعداد پانیکول در بوته مربوط به رقم Q29 در شرایط آبیاری WR ۱۰۰٪ بود که معادل ۶/۱۵ عدد در بوته بود (شکل ۲). تعداد دانه در پانیکول تنها تحت تأثیر رقم قرار گرفت (جدول ۴). در بین سه رقم مورد آزمایش، رقم Titicaca با دارا



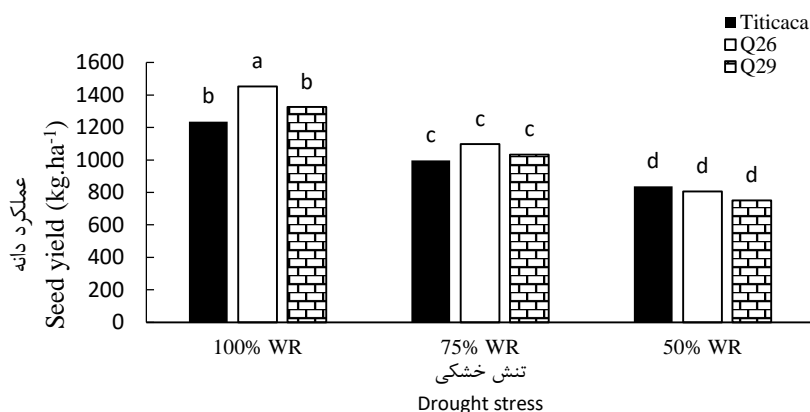
شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد پانیکول در بوته تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی و رقم

Figure 2- Mean comparison of the number of panicles per plant under the influence of drought stress and cultivar

بود. با انجام تنش شدید (WR ۵۰٪)، مقدار کاهش عملکرد در این سه رقم به ترتیب به ۳۲/۲۸، ۴۴/۵ و ۴۳/۴ درصد رسید (شکل ۳). تنش خشکی موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها شد و از این راه سبب اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی شده است و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه شده است. هم‌چنین اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه و تعداد پانیکول در بوته در شرایط خشکی کاهش یافته است که باعث کاهش عملکرد دانه شده است. در تأیید نتایج این تحقیق، سایر پژوهش‌گران نیز کاهش عملکرد دانه کینوا در تنش خشکی را گزارش کردند (Jamali *et al.*, 2018). نتایج پژوهش نشان می‌دهد که هیدروپرایمینگ دانه را توانمند کرده و بر تنش خشکی غلبه پیدا می‌کند که این باعث می‌شود گیاهان حاصل از بذرها پریم شده، در شرایط تحت تنش آبیاری بهتر عمل کنند و باعث جوانه‌زنی زودتر، گل‌دهی زودتر و عملکرد دانه بیشتری حاصل شود (Shariatmadari *et al.*, 2018).

عملکرد دانه کینوا از تنش خشکی، رقم، پرایمینگ و اثر متقابل تنش خشکی و رقم در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۴). استفاده از هیدروپرایمینگ موجب افزایش ۱۴/۲ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴). نتایج بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و رقم در شکل ۲ نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر سه رقم شد. بالاترین سطح تنش خشکی (WR ۵۰٪) بیشترین کاهش عملکرد را نشان داد. در شرایط نرمال، رقم Q26 با عملکرد دانه ۱۴۵۲/۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را دارا بود و دو رقم دیگر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در شرایط تنش خشکی WR ۷۵٪ و WR ۵۰٪ بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

مقدار عملکرد در سه رقم Titicaca، Q26 و Q29 در شرایط تنش WR ۷۵٪ به ترتیب ۹۹۸/۰، ۱۰۹۶/۷ و ۱۰۳۳/۲ کیلوگرم در هکتار بود. میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط WR ۷۵٪ در سه رقم Titicaca، Q26 و Q29 به ترتیب ۱۹/۲، ۲۴/۴ و ۲۲/۰ درصد



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات متقابل تنش خشکی و رقم

Figure 3- Mean comparison of seed yield under the influence of drought stress and cultivar

درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط این پنج صفت توجیه می‌شود. بیشترین اثر مستقیم مثبت را وزن هزار دانه (۰/۳۳) به خود اختصاص داد. در این بین بیشترین اثر مستقیم و منفی را صفت مالون‌دی‌آلدئید (۰/۱۲۶-) دارا بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که شاخص سطح برگ از روش اثرگذاری بر وزن هزار دانه، به‌طور غیر مستقیم باعث افزایش عملکرد دانه شد. مالون‌دی‌آلدئید از روش اثرگذاری منفی بر وزن هزار دانه و کلروفیل موجب کاهش عملکرد دانه شد (جدول ۷).

تجزیه علیت

برای تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر عملکرد دانه از تجزیه علیت استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۷ ملاحظه می‌شود زمانی که عملکرد دانه به عنوان صفت وابسته در نظر گرفته شد، صفات شاخص سطح برگ (۰/۷۶)، مالون‌دی‌آلدئید (۰/۷۵-)، کلروفیل کل (۰/۸۴)، وزن هزار دانه (۰/۸۴) و تعداد پانیکول در بوته (۰/۷۱) به عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند. با توجه به اندازه ضریب تبیین ۸۳/۱۷

جدول ۷- تجزیه علیت عملکرد دانه تحت تأثیر صفات شاخص سطح برگ (LAI)، مالون‌دی‌آلدئید (MDA)، کلروفیل کل، وزن هزار دانه و تعداد پانیکول در بوته (عملکرد دانه صفت وابسته است).

Table 7- Analysis of seed yield under the influence of leaf area index (LAI), malondialdehyde (MDA), total chlorophyll, 1000-seed weight and number of panicles per plant (seed yield is dependent).

| صفات Traits | شاخص سطح برگ Leaf area index | مالون دی آلدئید Malondialdehyde | کلروفیل Chlorophyll | وزن هزار دانه 1000-seed weight | تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant | اثرات کل Total effect |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---|---|-----------------------------|
| شاخص سطح برگ Leaf area index | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 0.24 | 0.11 | 0.76 |
| مالون دی آلدئید Malondialdehyde | -0.04 | -0.21 | -0.17 | -0.22 | -0.08 | -0.75 |
| کلروفیل Chlorophyll | 0.05 | 0.14 | 0.25 | 0.26 | 0.10 | 0.84 |
| وزن هزار دانه 1000-seed weight | 0.05 | 0.14 | 0.20 | 0.33 | 0.08 | 0.84 |
| تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant | 0.06 | 0.11 | 0.17 | 0.19 | 0.15 | 0.71 |
| R-squere | 0.8317 | | | | | |

برگ، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در کینوا تحت تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد. استفاده از هیدروپرایمینگ موجب کاهش مالون‌دی‌آلدئید و افزایش شاخص پایداری غشاء، کلروفیل، وزن هزار دانه، تعداد پانیکول در بوته و عملکرد دانه شد. بین سه رقم

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مالون‌دی‌آلدئید و پرولین در گیاه کینوا شد. صفاتی مانند شاخص پایداری غشاء، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب

دادند اما این کاهش عملکرد در رقم Titicaca به میزان ۱۲ درصد کمتر از دو رقم دیگر بود. از این رو کشت رقم Titicaca در منطقه دامغان قابل پیشنهاد است. همچنین کاربرد هیدروپرایمینگ در جهت بهبود صفات فیزیولوژیک در گیاه کینوا در شرایط تنش خشکی اگرچه تمامی ارقام کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را نشان

Titicaca، Q26 و Q29 صفاتی مانند شاخص پایداری غشاء، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، پرولین و وزن هزار دانه تفاوتی با یکدیگر نداشتند. در شرایط آبیاری نرمال، رقم Q26 بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد و این در حالی است که در شرایط تنش خشکی اگرچه تمامی ارقام کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را نشان

References

- Abbasdokht, H. and Edalatpish, M.R.** 2013. The effect of priming and salinity on physiological and chemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Desert Journal*, 17: 183-192. (In Persian).
- Akbari, S., Kafee, M. and Rezvan Beidokhti, S.** 2016. The effect of drought stress and plant density on biochemical and physiological characteristics of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4): 665-674. (In Persian).
- Amini, S., Ghobadi, C. and Yamchi, A.** 2015. Proline accumulation and osmotic stress: and overview of P5CS gene in plants. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 3(2): 44-55.
- Amiryousefi, M., Tadayon, M. and Ebrahimi, R.** 2021. The effect of chemical and biological fertilizers on some physiological and yield traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress in saline soil. *Journal of Agroecology*, 13(2): 251-270. (In Persian).
- Anaya, F.F., Issa, O., Benhabib, O., Ragab, R. and Wahbi, S.** 2015. Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2): 174-183.
- Aziz, A., Akram, N.A. and Ashraf, M.** 2018. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123: 192-203.
- Bagheri, M.** 2018. Handbook of quinoa cultivation. Seed and Plant Improvement Institute. (In Persian).
- Bathes, 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: 205-207.
- Beauchamp, C. and Fridovich, M.** 1971. Superoxide dismutase: improved assays and assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry Journal*, 44(1): 276-287.
- Cavusoglu, K. and Kabar, K.** 2010. Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. *Eurasian Journal of BioSciences*, 4: 70-79.
- Daur, I.** 2018. Effects of hydro and hormonal priming on quinoa seed germination under salt and drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, 50(5): 1669-1673.
- Dawood, M.G.** 2018. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5): 245-254.
- Elewa, T.A., Mervat, T.A., Sadak, S.H. and Saad, A.M.** 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1): 21-33.
- Farooq, M., Basra, S.M., Rehman, H. and Saleem, B.** 2008. Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *Journal Agronomy Crop Science*, 194: 55-60.
- Fowler, B.D., Brydon, J. and Baker, R.J.** 1989. Nitrogen fertilization of no till winter wheat and rye. II: Influence of grain protein. *Agronomy Journal*, 81: 72-77.
- Franklin, P., Gardner, R., Pearce, B. and Mitchell, R.L.** 2010. Physiology of crop plants. *Scientific Press*. 336 pp.
- Gamez, A.L., Soba, D., Zamarreno, A.M., Garcia-Mina, J.M., Aranjuelo, I. and Morales, F.** 2019. Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, 8(6): 173.

- Hinojosa, L., Gonzalez, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F. and Murphy, K.M. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4): 106.
- Jamali, S., Sharifan, H. and Sajadi, F. 2018. The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. *Journal of Water and Irrigation Management*, 8(2): 177-191. (In Persian).
- Jisha, K.C., Vijayakumari, K. and Puthur, J.T. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(5): 1381-1396.
- Kaman, H., Kirda, C. and Sesveren, S. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 98: 801-807.
- Kar, M. and Mishra, D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57: 315-319.
- Keshtkar, A., Aien, A., Naghavi, H. and Najafinezhad, H. 2021. Effect of foliar application of jasmonic acid and drought stress on yield and some agronomic and physiologic traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2): 403-414. (In Persian).
- Khazaey, M., Galavi, M., Dahmardeh, M., Moosavi Nik, S.M., Zamani, G.R., Mahdi Nejad, N. and Alizadeh, Z. 2019. Effect of drought stress on antioxidant activity and yield in several genotype Foxtail Millet (*Setaria italica* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 7(27): 269-280. (In Persian).
- Lata, C., Jha, S., Sreenivasulu, N. and Prasad, M. 2011. Differential antioxidative responses to dehydration-induced oxidative stress in core set of foxtail millet cultivars. *Protoplasma*, 248: 817-828.
- Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant Cell Physiology*, 22: 867-880.
- Sadak, M.S.H., Safwat El-Bassiouny, H.M. and Gergis Dawood, M. 2019. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre*, 2-11.
- Sadeghzade, H., Khajoe-Nejad, G. and Ghanbari, J. 2021. Water use efficiency and quantitative and qualitative response of quinoa to different concentrations of salicylic acid application under deficit irrigation conditions. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 11(43): 345-360. (In Persian).
- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A. and Sepahvand, N.A. 2020. Evaluating the effect of cytokinin foliar application on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(4): 479-498. (In Persian).
- Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M. and Pinelli, E. 2014. Heavy-metal induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 232: 1-44.
- Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A. and Zhao, C.X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 215-225.
- Shariatmadari, M.H., Parsa, M., Nezami, A. and Kafi, M. 2018. The effect of hydropriming on germination and growth indices of chickpea cultivars under drought stress in laboratory and greenhouse conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(1): 243-256. (In Persian).
- Sharifan, H., Jamali, S. and Sajadi, F. 2017. Investigation the effect of different salinity levels on the morphological parameters of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(1): 15-27. (In Persian).
- Solimaninya, Z., Mohtadi, A. and Movahhedi Dehnavi, M. 2020. Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 10(41): 171-186. (In Persian).
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S. and Jacobsen, S.E. 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1): 12-23.

- Stikic, R., Jovanovic, Z., Marjanovic, M. and Dordevic, S.** 2015. The effect of drought on water regime and growth of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ratarstvo Povrtarstvo*, 52(2): 80-84.
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. and Martinez, E.A.** 2010. Nutrition Facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 2541-2547.
- Wang, Q., Ding, T., Zuo, J., Gao, L. and Fan, L.** 2016. Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine. *Postharvest Biology and Technology*, 112: 114-120.

Agrophysiological response of different cultivars of *Chenopodium quinoa* Willd to hydropriming under drought stress conditions

Fathollah Nadali^{1,2*}, Hamid Reza Asghari², Hamid Abbasdokht², Vajihe Dorostkar³,
Mahmoud Bagheri⁴

¹ Crop and Horticultural Science Research Department of Semnan (Shahrood), Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shahrood, Iran

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁴ Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

*Corresponding Author: f.nadali@areeo.ac.ir

Received: 14 March 2022

Accepted: 11 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.333785.1211

Abstract

Introduction: The cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), an annual plant with high nutritional and economic significance, is expanding throughout the world. Quinoa is a traditional Andean seed crop highly tolerant to abiotic stresses. Since most seed crop cultivars are sensitive to drought stress, quinoa is regarded as a valuable candidate for the plant's exposure to harsh environmental conditions. Due to the importance of quinoa in arid regions, the effects of seed priming on yield and certain morphological and physiological traits were investigated in this study.

Material and Methods: A factorial split-plot experiment based on a randomized complete block was designed with four replications was conducted in 2019 at Damghan Research Farm Station. The experimental treatments included drought stress based on the plant's water requirement at three levels (100% (control), 75%, and 50%) as the main factor, and sub-factors included three cultivars (Titicaca, Q26, and Q29) as well as priming at two levels (no priming and hydropriming) as a factorial experiment into sub-levels. To perform water requirement (WR) treatment, WR were calculated using the CROPWAT program and then applied to the 6-leaf stage plants.

Results and Discussion: The results demonstrated that drought stress (50% WR) reduced relative leaf water content (13.1%), leaf membrane stability index (21.2%), chlorophyll content (38.7%), 1000-seed weight (18.2%), number of panicles per plant (27.5%), number of seeds per panicle (7.71%), and seed yield (40.4%). The use of hydropriming increased the membrane stability index, leaf chlorophyll content, 1000-seed weight, and the number of panicles per plant. Under 50% WR, the activity of antioxidant enzymes such as catalase and leaf ascorbate peroxidase increased by 139.58 and 42.55 percent, respectively, compared to the control. Additionally, drought stress increased quinoa seed protein content and decreased seed yield.. The percentage of seed yield reduction in drought stress was 50% and 75% of WR and was lower in Titicaca than the other two cultivars. The comparison of the mean of irrigation interactions in the cultivars revealed that 100% WR produced the maximum quantities of Chl a, Chl b, and carotenoids in all three cultivars. Additionally, seed priming boosted the Chl a, and Chl b concentrations in Titicaca and Q26. Furthermore, the highest biological yield in the Damghan region was achieved in Q26 with 100% WR. Under normal irrigation conditions, Q26 cultivar had the highest seed yield, whereas under drought stress conditions, the seed yield of all cultivars decreased significantly. Nevertheless, this decline in the Titicaca cultivar was 12% less than in Q26 and Q29. The findings of the mean comparison revealed that priming improved seed yield in all three cultivars, with the Q29 cultivar producing the maximum seed yield at 1,452.03 kg/ha.

Conclusion: In general, Titicaca cultivar was more resistant to drought stress than other cultivars, hence its cultivation is encouraged in the Damghan region. Within the scope of this study, the use of

hydropriming to improve quinoa's physiological features in conditions of drought stress is suggested. In conclusion, the results demonstrated that seed priming significantly increased seed yield, biological yield, leaf area index, and chlorophyll content in drought-stressed quinoa cultivars. These results indicated that seed priming can play a significant role in enhancing quinoa's drought resistance under low irrigation conditions. This study could contribute to the understanding of seed priming effects, which could be applied as an effective strategy to mitigate the negative effects of drought stress on quinoa cultivars.

Keywords: Antioxidant, Irrigation stress, Pretreatment, Protein yield, Seed yield

ارزیابی پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دیم در شرایط بهره‌بردار

مهناز رحمتی^{۱*}، علی احمدی^۱، علی میناپور^۲، کیانوش حمیدیان^۳

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

۲- کارشناس زراعت مرکز خدمات کشاورزی خوشناموند، مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان کوهدشت، کوهدشت، ایران

۳- کارشناس زراعت سازمان جهاد کشاورزی لرستان، خرم‌آباد، ایران

* مسئول مکاتبه: avinmahnaz@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.340070.1230

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

چکیده

ارزیابی و نمایش پتانسیل ارقام جدید و لاین‌های امیدبخش در مزارع زارعین به منظور معرفی ارقام و لاین‌های جدید اصلاحی و نفوذ بیشتر آن‌ها در مزارع حائز اهمیت است. به همین منظور، تعداد ۳۳ رقم و لاین انتخابی از برنامه‌های اصلاحی گندم مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم و ارسالی از مرکز تحقیقات بین‌المللی ایکاردا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزارع زارعین شهرستان کوهدشت ارزیابی شدند. نتایج عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشان داد، ارقام کبیر و پایا و لاین‌های G17، G18، G31 و G31 به ترتیب با میانگین‌های عملکرد دانه ۵۲۸۰، ۳۹۸۵، ۴۲۱۰، ۴۰۰۳ و ۳۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را دارا بودند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) نیز نشان داد، ارقام کبیر و پایا و لاین‌های G18، G31، G17، G16، G29، G18، G31 با بیشترین مقدار شاخص SIIG (به ترتیب ۰/۸۲۲، ۰/۷۲۰، ۰/۷۹۱، ۰/۷۷۹، ۰/۷۶۷، ۰/۷۳۶ و ۰/۷۴۵) جزء برترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ‌های G13 و G27 با مقدار SIIG کمتر (به ترتیب ۰/۵۸۲ و ۰/۵۷۶) جزء ژنوتیپ‌های ضعیف از نظر اکثر صفات مورد ارزیابی بودند. نتایج این مطالعه نشان داد عملکرد بیوماس، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و زودرسی را می‌توان بعنوان معیار گزینش مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول در برنامه به‌نژادی گندم دیم در نظر گرفت. همبستگی مثبت و قوی بین شاخص SIIG و عملکرد دانه بیانگر سهم بیشتر عملکرد دانه در مقدار شاخص SIIG بود. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها به سه گروه ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد دانه بالا (گروه ۱)، ژنوتیپ‌های دیررس با عملکرد دانه پایین (گروه ۲) و ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد دانه پایین (گروه ۳) گروه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و زودرس در گروه ۱ می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش برای کاشت در دیم‌زارهای مناطق گرمسیر و یا به عنوان والدین برای بهبود عملکرد و سایر خصوصیات مطلوب زراعی در برنامه به‌نژادی گندم دیم در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، شاخص SIIG، همبستگی

مقدمه

معنی‌داری همه صفات را بخصوص عملکرد دانه (به میزان ۴۶/۶ درصد)، وزن هزار دانه (۲۰/۶ درصد) و طول مدت پرشدن دانه (۲۰/۴ درصد) کاهش می‌دهد (Modarresi et al., 2010). تولید گندم در مناطق دیم گرمسیر نقش مهمی در اقتصاد ایران داشته و ظرفیت بالایی در افزایش تولیدات کشاورزی دارد. با توجه به گستردگی سطح زیر کاشت گندم نان در مناطق گرمسیر و با وقوع شرایط خشک‌سالی چندساله اخیر، معرفی و توسعه ارقام جدید گندم نان دیم که پرمحصول و مقاوم به تنش‌های محیطی و غیرمحیطی باشند، حائز اهمیت است. به منظور دستیابی به تولید پایدار لازم است ارقام جدید در مزارع زارعین کشت و ارزیابی شده تا ضمن آشنایی زارعین با پتانسیل تولید این ارقام، با مقایسه

گندم بعنوان محصول استراتژیک غذای ۲/۵ میلیارد نفر از ۸۹ کشور جهان را تأمین می‌نماید. بر اساس آمار وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA) در سال ۲۰۱۸ کل تولید گندم جهان ۷۵۸/۴ میلیون تن در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۸ بوده است و در سال‌های اخیر قریب به ۱۰/۶ میلیون تن کاهش داشته است (Arifuzzaman et al., 2020). علت این کاهش تولید، تنش‌های غیرزنده شامل خشکی، گرما و سرما گزارش شده است. مطالعات پیش‌بینی نموده‌اند که به ازای ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دما به علت تغییرات آب و هوایی، عملکرد گندم به میزان ۴/۴-۴/۱ درصد کاهش می‌یابد (Liu et al., 2016). به‌طوری‌که دمای بالا به طور

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۳۳ رقم و لاین انتخابی از برنامه‌های به‌نژادی گندم مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم و ارسالی از مرکز تحقیقات بین‌المللی ایکاردا در قالب پروژه ارتقاء امنیت غذایی در مزارع زارعین شهرستان کوهدشت در استان لرستان در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ ارزیابی شدند. ژنوتیپ‌ها شامل ۱۲ رقم و لاین خالص گندم نان و ۲۱ رقم و لاین خالص گندم دوروم بود. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در سال‌های گذشته در قالب پروژه‌های به‌نژادی گندم دیم بر اساس عملکرد و سایر صفات مطلوب زراعی ارزیابی و ژنوتیپ‌های برتر گزینش شده با انجام این تحقیق در مزارع زارعین نیز ارزیابی شدند. شهرستان کوهدشت در مدار ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع متوسط آن از سطح آزاد دریا ۱۲۰۰ متر می‌باشد. اطلاعات هواشناسی مکان اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. مزرعه محل اجرای آزمایش در سال قبل اجرای آزمایش (سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵) زیرکشت نخود بود. فهرست ارقام و لاین‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار در شرایط دیم به صورت ۶ ردیف کاشت به طول ۳۰ متر و فاصله ردیف ۱۷ سانتی‌متر کاشته شدند. کاشت با استفاده از بذرکار آزمایشی وینتراشتاگر انجام پذیرفت. میزان بذر مصرفی با توجه به وزن هزار دانه بر پایه تراکم ۳۵۰ دانه در مترمربع معادل ۱۳۰-۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. به هنگام کاشت برای ضدعفونی بذر علیه بیماری‌های قارچی از سموم سیستمیک استفاده شد. عمق کاشت ۵-۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. نخستین بارندگی مؤثر بعد از کاشت در تاریخ یکم آذرماه اتفاق افتاد و به‌عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. برای تعیین میزان عناصر خاک مکان‌های اجرای آزمایش، تعداد ۱۰ نمونه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه و پس از بدست آوردن نمونه خاک مرکب و ارسال آن به آزمایشگاه، نتایج آزمون خاک ارائه شد (جدول ۲). مقدار کود لازم بر اساس نتایج آزمون خاک تعیین شد و به‌طور یکنواخت در کرت‌های آزمایشی مصرف شد. به این ترتیب که ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره اعمال شد. نصف میزان کود ازت زمان کاشت و مابقی آن در اوایل مرحله ساقه‌دهی هم‌زمان با بارندگی مصرف شد. در مرحله پنجه‌زنی از علف‌کش‌های تاپیک و گرانتار به میزان ۱ لیتر و ۲۰ گرم در هکتار برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ استفاده شد. صفات مورد ارزیابی شامل

عملکرد ارقام جدید با رقم شاهد منطقه، رقم مناسب برای کاشت توسط زارعین انتخاب گردد. در واقع، ارزیابی ارقام جدید در مزارع زارعین امکان ارزیابی میزان سازگاری ارقام برتر حاصل از اجرای پروژه‌های تحقیقاتی را فراهم می‌آورد. بعلاوه، یافته‌های تحقیقاتی با سرعت بیشتری به مزارع زارعین نفوذ یافته و زارعین منطقه از توصیه‌های فنی، آموزشی، علمی و کاربردی کارشناسان بهره‌مند خواهند شد. به همین منظور، در این پژوهش تعدادی رقم و لاین امیدبخش گندم نان و دوروم در مزارع زارعین ارزیابی شدند.

در تحقیق حاضر به منظور شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و سایر صفات زراعی از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG¹) استفاده شد. با استفاده از شاخص SIIG، کلیه صفات مورد ارزیابی ادغام شده و به صورت یک شاخص واحد درآمده و رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر تسهیل می‌یابد (Zali and Barati, 2020). از شاخص SIIG در محصولات مختلف، کلزا (Abdollahi Hesar et al., 2020; Zali et al., 2020) گندم نان (Tahmasebi et al., 2018; Yaghouipoor et al., 2017) و گندم دوروم (Tadili et al., 2020) به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر صفات مختلف زراعی و شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی استفاده شده است.

تجزیه خوشه‌ای ابزار قوی برای کمک به انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت اصلاحی فراهم می‌نماید. به عبارتی، این روش بعنوان روشی مؤثر برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در راستای هدف اصلاحی مورد نظر (شامل شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و سایر صفات مطلوب زراعی) بکار گرفته می‌شود (Khoshgoftarmanesh et al., 2012). در مطالعه‌ای بر توده‌های بومی گندم دوروم با انجام تجزیه خوشه‌ای، ۷۶ توده بومی گندم به ۴ گروه تقسیم شدند و ژنوتیپ‌های زودرس با بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه در یک گروه قرار گرفتند (Sadeghzadeh and Abediasl, 2012). با بررسی ۹۹ لاین خالص گندم نان استخراجی از توده‌های بومی، ژنوتیپ‌ها به ۷ گروه تقسیم گردید (Arzhang et al., 2017).

هدف از انجام این تحقیق، انتخاب بهترین ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در دیم‌زارهای مناطق گرمسیر و معرفی آنان به بهره‌برداران بود و از روش SIIG و تجزیه خوشه‌ای در راستای این هدف استفاده شد.

1. selection index of ideal genotype

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (2)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (3)$$

در روابط (۲) و (۳) r_{ij} مقدار نرمال شده شاخص (صفت) i ام در رابطه با ژنوتیپ j ام ($j=1,2,\dots,m$) می‌باشد. r_i^+ و r_i^- : به ترتیب مقدار نرمال شده ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف برای هر شاخص (صفت) i ام ($i=1,2,\dots,n$) است. همچنین d_i^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^- فاصله از ژنوتیپ ضعیف می‌باشد.

محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i=1,2,\dots,m \quad 0 \leq SIIG \leq 1 \quad (4)$$

مقدار SIIG بین صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که از نظر صفات مورد بررسی بهترین باشد. درحالی‌که ژنوتیپ ضعیف، ژنوتیپ فرضی است که از نظر صفات مورد بررسی در شرایط مطلوب نباشد. در مجموع ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هر یک از صفات بدست می‌آید و برای ژنوتیپ ضعیف بالعکس. برای مثال در مورد عملکرد، حداکثر عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و عملکرد پایین، بعنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود. همچنین در مورد تعداد روز تا رسیدگی، با توجه به اینکه زودرسی ژنوتیپ‌ها تحت شرایط دیم مهم می‌باشد، حداقل تعداد روز تا رسیدگی یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و حداکثر تعداد روز تا رسیدگی، بعنوان مقدار ضعیف در نظر گرفته می‌شود. در نهایت رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر SIIG انجام شد. به طوری‌که ژنوتیپ با بیشترین مقدار SIIG، رتبه اول و ژنوتیپ با کمترین مقدار SIIG رتبه آخر را به خود اختصاص داد.

برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C، برای محاسبه شاخص SIIG از نرم‌افزار Excel و برای تجزیه همبستگی صفات و تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

تعداد روز تا سنبله‌دهی، تعداد سنبله در مترمربع، ارتفاع بوته، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیوماس، عملکرد دانه و شاخص برداشت بودند.

در این مطالعه کلیه صفات مورد ارزیابی تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها به روش LSD انجام شد. تجزیه همبستگی به روش پیرسون صورت پذیرفت. تجزیه خوشه‌ای به روش وارد انجام شد. به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و سایر صفات زراعی از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) استفاده شد که نحوه محاسبه آن به شرح ذیل می‌باشد (Zali and Barati, 2020).

تشکیل ماتریس داده‌ها

با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و صفات مختلف مورد بررسی،

ماتریس داده‌ها به صورت زیر تشکیل شد:

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس x_{ij} مقدار صفت i ام ($i=1,2,\dots,n$) در رابطه

با ژنوتیپ j ام ($j=1,2,\dots,m$) می‌باشد.

تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس نرمال (ماتریس R)

از رابطه ۱ برای نرمال کردن داده‌ها استفاده شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (1)$$

ماتریس R به صورت زیر تعریف شد:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل (ضعیف)

در این مرحله برای هر صفت به طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ و

ضعیف‌ترین انتخاب شد.

محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ ضعیف

در این مرحله برای هر صفت، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (d_i^+) و

ژنوتیپ ضعیف (d_i^-) به ترتیب از روابط ۲ و ۳ محاسبه شد:

جدول ۱- نام و شجره ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در این آزمایش

Table 1- Name and pedigree of the studied genotypes in this experiment

| کد ژنوتیپ Genotyp e code | نام رقم / شجره لاین Variety name/ Line pedigree | گندم نان / دوروم Bread/ Durum wheat |
|-----------------------------------|--|---|
| G1 | Line17 | BW |
| G2 | Koohdasht | BW |
| G3 | Mehregan | BW |
| G4 | Aftab | BW |
| G5 | Asman | BW |
| G6 | Saverz | DW |
| G7 | Kabir | BW |
| G8 | KANZ*4/KS85-8-4/ 5/2*FRET 2*2/4/SNI/TRAP #1/ 3/ KAUZ*2/ TRAP//KAUZCGSS05Y00186T-099M-099Y-099M-099Y-099ZTM-2WGY-0B | BW |
| G9 | Paya | BW |
| G10 | PBW343*2/KUKUNA//WBLL1*2/KUKUNACMSA05M00118S-0100ZTM-029(LR34 HOM+HET) ZTY-040ZTM-040SY-16ZTM-0Y-0B | BW |
| G11 | BECARD/KACHUCMSS06B00169S-0Y-099ZTM-099Y-099M-28WGY-0B | BW |
| G12 | GUAYACAN INIA/POMA_2//SNITAN/4/D86135/ACO89//PORRON_4/3/ SNITAN CDSS02B00562S-0Y-0M-2Y-1M-04Y-0B | BW |
| G13 | AVTA/YAZL_1//GREEN/SOMO/6/AJAIA_1/EUDO//PLATA_6/4/BUTO//SCOT/MEXI_1/3/PLATA_8/5/ISLA CDSS05B00584T-0TOPY-26Y-0M-2Y-4M-0Y | BW |
| G14 | Icaverve (Azeghar1/4/IcamorTA0462/3/Maamouri3 //Vitron/Bidra1/5/Mgnl3/Ainzen1) | DW |
| G15 | Bezajihane (Ossl1/Stj5/5/Bicredera1/4/BezaizSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Icajih12) | DW |
| G16 | Zaghavin-2 (Icasyr1/3/Gcn//Stj/Mrb3) | DW |
| G17 | Secondrue | DW |
| G18 | Miki-3 | DW |
| G19 | Berghouta (Ter1//Mrf1/Stj2) | DW |
| G20 | Icamoram-7 (ICAMORTA0472/Ammar7) | DW |
| G21 | Margherita (Terbol975/Geruftel2) | DW |
| G22 | Julia (Mgnl3/Ainzen1/3/Ter1//Mrf1/Stj2) | DW |
| G23 | Trouve (Amedakul1/TdicoSyrCol//Loukos) | DW |
| G24 | Jabal (Korifla/AegSpeltoidesSyr//Mrb5) | DW |
| G25 | Maghrour (Amedakul1/TdicoSyrCol//Cham1) | DW |
| G26 | Icarukus (Maamouri1/5/IcamorTA0462/4/Stj3//Bcr/Lks4/3/Icamor/6/Mgnl3/Ainzen1) | DW |
| G27 | IDON 39-33 (Ossl1/Stj5/5/Bicredera1/4/BEZAIZSHF//SD19539/Waha/3/Stj/Mrb3/6/Stk/Hau//Heca1) | DW |
| G28 | Mikikassem (Icamilmus5/Miki2//Geromtel1/Icasyr1) | DW |
| G29 | IDON 39-15 (IcamorTA0471//IcamorTA0459/Ammar8/4/Stj3//Dra2/Bcr/3/Ter3) | DW |
| G30 | Oussara-2 (Mgnl3/Ainzen1/3/Ter1//Mrf1/Stj2) | DW |
| G31 | Icakasem (Icamilmus5/Miki2//Geromtel1/Icasyr1) | DW |
| G32 | IDON 39-30 (IcamorTA0472//Quarmal/Gbch2/3/Mgnl3/Ainzen1) | DW |
| G33 | IDON 39-18 (IcamorTA041/4/IcamorTA0469/3/Bcr/Gro1//Mgnl1/5/MIK12) | DW |

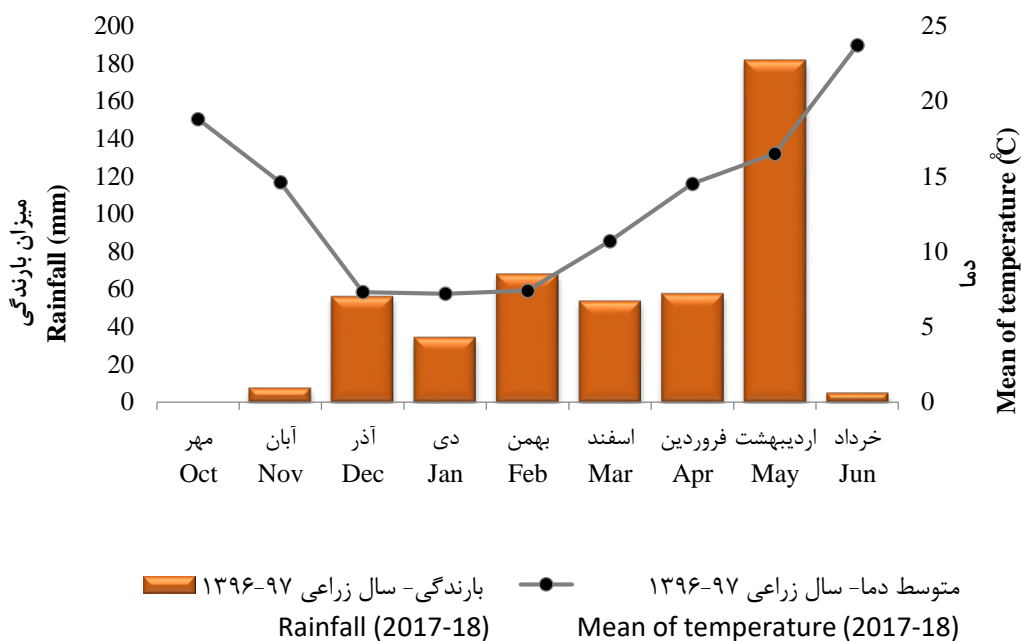
BW: گندم نان، DW: گندم دوروم

Bread wheat (BW), Durum wheat (DW)

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the experimental site

| هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹) | اسیدبته pH | کربن آلی Organic carbon (%) | پتاسیم K (ppm) | فسفر P (ppm) | نیتروژن N (%) | رس Clay (%) | سیلت Silt (%) | شن Sand (%) |
|---|---------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 0.41 | 7.4 | 0.71 | 386.6 | 22.04 | 0.07 | 25.6 | 38.4 | 36 |



شکل ۱- متوسط دما و بارش ماهیانه سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷

Figure 1- Average temperature and rainfall in cropping season 2017-2018

نتایج و بحث

رسیدگی بعنوان زودرس‌ترین ژنوتیپ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بود. از نظر ارتفاع بوته، رقم آسمان با ارتفاع بوته ۹۲ سانتی‌متر بلندترین ژنوتیپ بود. تعداد دانه در سنبله ژنوتیپ‌ها بین ۳۷-۱۷ دانه متغیر بود. رقم کبیر با بیشترین عملکرد دانه از بیشترین تعداد دانه در سنبله برخوردار بود. بعلاوه رقم کبیر از بیشترین عملکرد بیوماس (۱۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۴۲) در میان ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی برخوردار بود. لاین‌های G31 و G17 با ۴۸۶ و ۴۳۰ سنبله در مترمربع، از بیشترین تعداد سنبله در مترمربع برخوردار بودند.

به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و سایر صفات زراعی از شاخص SIIG استفاده شد. از آنجایی‌که میزان تغییرات شاخص SIIG بین صفر تا یک است، هر چه مقدار این شاخص برای ژنوتیپی به یک نزدیک‌تر باشد آن ژنوتیپ از مطلوبیت بالاتری از نظر بیشتر صفات مورد ارزیابی برخوردار می‌باشد و بالعکس. در

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی از نظر ارتفاع بوته، تاریخ رسیدگی و عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال آماری یک درصد وجود داشت (جدول ۳). میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بین ۵۲۸۰-۲۵۶۸ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه در رقم کبیر به میزان ۵۲۸۰ کیلوگرم در هکتار و پس از آن ژنوتیپ‌های G17، G18، G9 (رقم پایا) و G31 به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۴۲۱۰، ۴۰۰۳، ۳۹۸۵ و ۳۹۵۰ کیلوگرم در هکتار در مراتب بعدی قرار گرفتند. میانگین وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها بین ۳۳-۴۸ گرم متغیر بود. رقم پایا و لاین‌های G16 و G18 با عملکرد دانه بالا از وزن هزار دانه بالایی (۴۷ گرم) برخوردار بودند. تعداد روز تا سنبله‌دهی ژنوتیپ‌ها بین ۱۳۸-۱۳۱ روز متغیر بود. کمترین تعداد روز تا سنبله‌دهی در رقم پایا و بیشترین آن در رقم ساورز مشاهده شد. رقم کبیر با ۱۸۹ روز تا

جزو برترین ژنوتیپ‌ها بود. همان‌طور که از نتایج مشخص است، رقم کبیر از بیشترین عملکرد دانه، عملکرد بیوماس، شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی برخوردار بود. بعلاوه رقم کبیر، وزن هزار دانه نسبتاً بالا و تعداد سنبله در مترمربع متوسط و جزو زودرس‌ترین ژنوتیپ‌ها بود. رقم پایا و لاین‌های G16، G18 و G31 از وزن هزار دانه بالایی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی برخوردار بودند. بعلاوه بیشترین تعداد دانه در سنبله در لاین G18 و بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در لاین G31 مشاهده شد. نتایج شاخص SIIG نشان داد که لاین‌های G27 و G13 با کمترین مقدار شاخص (۰/۵۸) جزو ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر اکثر صفات مورد ارزیابی بودند. به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های مذکور کمترین تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت برخوردار بودند.

این مطالعه شاخص SIIG بر اساس کلیه صفات مورد ارزیابی بدست آمد (جدول ۵). به عبارتی انتخاب ژنوتیپ بر اساس شاخص SIIG نشان‌دهنده‌ی انتخاب بر اساس عملکرد و سایر صفات زراعی به طور هم‌زمان بوده است. نتایج شاخص SIIG نشان داد که رقم کبیر، G16، G17، G29، G18، G31 و به ترتیب به میزان ۰/۷۷، ۰/۷۸، ۰/۷۹، ۰/۸۲، ۰/۷۴ و ۰/۷۲ جزو برترین ژنوتیپ‌ها بودند. با ارزیابی ۲۲ ژنوتیپ پاییزه کلزا توسط شاخص SIIG مشخص شد که شاخص SIIG برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر مؤثر و دقیق بوده و از ویژگی‌های مهم شاخص SIIG ادغام صفات با واحدهای مختلف است (Abdollahi Hesar *et al.*, 2020). بنابراین در مطالعاتی که تعداد صفات مورد بررسی زیاد باشد، این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و صفات مطلوب زراعی بسیار سودمند است. نتایج SIIG نشان داد که رقم کبیر با بیشترین مقدار (۰/۸۲)

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در ۳۳ ژنوتیپ گندم

Table 3- Variance analysis of traits evaluated for 33 wheat genotypes

| منابع تغییر Source variation | درجه آزادی df | میانگین مربعات Mean of squares | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------------|------------|-------|
| | | DH | PH | DM | SSM | NGPS | TKW | BY | GY | HI |
| تکرار Replication | 1 | 11.88 | 26.73 | 3.88 | 2933.3 | 4.91 | 50.97 | 11323730.9 | 521362.9 | 44.18 |
| تیمار Treatment | 32 | 5.51 | 91.2** | 0.84** | 6201.7 | 42.78 | 34.05 | 2603313.03 | 579514.8** | 16.63 |
| خطا Error | 32 | 3.75 | 23.8 | 0.44 | 4406.6 | 47.09 | 25.34 | 2026064.6 | 242044.8 | 15.21 |
| ضریب تغییرات CV (%) | | 1.4 | 6.5 | 0.3 | 18.1 | 27.6 | 11.7 | 15.3 | 14.5 | 10.7 |
| LSD (5%) | | 3.9 | 9.9 | 1.35 | 135.2 | 13.9 | 10.2 | 2899 | 1002 | 7.94 |
| LSD (1%) | | 5.3 | 13.4 | 1.82 | 181.8 | 18.8 | 13.8 | 3898 | 1347 | 10.68 |

** : معنی‌داری در سطح احتمال آماری یک درصد

** : Significant at 0.01 probability level

علائم اختصاری: DH: روز تا سنبله‌دهی، PH: ارتفاع بوته، DM: روز تا رسیدگی، SSM: تعداد سنبله در مترمربع، NGPS: تعداد دانه در سنبله، TKW: وزن هزار دانه، BY: عملکرد بیوماس، GY: عملکرد دانه، HI: شاخص برداشت

Abbreviation signs: Days to heading (DH), Plant height (PH), Days to mature (DM), Spike per square meter (SSM), number of grain per spike (NGPS), 1000 kernel weight (TKW), Biological yield (BY), Grain yield (GY), Harvest index (HI).

تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیوماس و شاخص برداشت برخوردار بود. این نتیجه با یافته‌های سایر محققان مبنی بر رابطه مثبت بین عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیوماس در ژنوتیپ‌های گندم دوروم تحت شرایط دیم مطابقت داشت (Shirvani *et al.*, 2020). همچنین اهمیت صفت تعداد دانه در سنبله به عنوان یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار بر عملکرد دانه گندم نان تأیید شده است (Würschum *et al.*, 2018).

نتایج همبستگی صفات نشان داد، همبستگی مثبت و بالایی بین عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیوماس و شاخص برداشت وجود داشت (جدول ۶)؛ بنابراین برای دست‌یابی به ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا بایستی به دنبال ژنوتیپ‌های با مقادیر بالای صفات مذکور بود. نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی نیز با نتیجه به دست آمده مطابقت داشت. به‌طوری‌که رقم کبیر با بیشترین عملکرد دانه، از بیشترین صفات

جدول ۴- میانگین صفات مختلف زراعی در ۳۳ ژنوتیپ گندم

Table 4- Average of different agronomic traits of 33 wheat genotypes

| ژنوتیپ Genotype | DH (day) | PH (cm) | DM (day) | SSM | NGPS | TKW (g) | BY (kg/ha) | GY (kg/ha) | HI |
|--------------------|----------|---------|----------|-----|------|---------|---------------|---------------|----|
| G1 | 133 | 74 | 190 | 494 | 21 | 36 | 9500 | 3293 | 35 |
| G2 | 135 | 87 | 192 | 330 | 28 | 42 | 8438 | 3025 | 36 |
| G3 | 134 | 63 | 191 | 390 | 25 | 39 | 9750 | 2765 | 30 |
| G4 | 133 | 68 | 190 | 410 | 26 | 42 | 9350 | 3845 | 41 |
| G5 | 133 | 92 | 191 | 370 | 25 | 46 | 10763 | 3433 | 32 |
| G6 | 138 | 84 | 191 | 308 | 24 | 48 | 8600 | 3318 | 39 |
| G7 | 133 | 82 | 189 | 320 | 37 | 45 | 12750 | 5280 | 42 |
| G8 | 134 | 83 | 189 | 276 | 27 | 45 | 8600 | 3158 | 37 |
| G9 | 131 | 74 | 190 | 328 | 26 | 47 | 10388 | 3985 | 38 |
| G10 | 132 | 80 | 191 | 378 | 29 | 43 | 9225 | 3203 | 35 |
| G11 | 132 | 73 | 189 | 332 | 25 | 43 | 8563 | 3218 | 38 |
| G12 | 136 | 75 | 190 | 272 | 22 | 43 | 9275 | 3323 | 36 |
| G13 | 137 | 75 | 191 | 352 | 18 | 43 | 8325 | 2718 | 34 |
| G14 | 135 | 79 | 190 | 381 | 24 | 43 | 9581 | 3259 | 34 |
| G15 | 137 | 77 | 191 | 326 | 23 | 47 | 8600 | 3173 | 37 |
| G16 | 134 | 78 | 190 | 407 | 27 | 47 | 10400 | 3826 | 37 |
| G17 | 136 | 82 | 190 | 430 | 23 | 35 | 11738 | 4210 | 36 |
| G18 | 135 | 79 | 190 | 346 | 37 | 47 | 11075 | 4003 | 36 |
| G19 | 134 | 76 | 190 | 377 | 25 | 40 | 9000 | 3240 | 36 |
| G20 | 135 | 69 | 190 | 361 | 22 | 43 | 8788 | 3118 | 35 |
| G21 | 136 | 73 | 190 | 406 | 27 | 45 | 7563 | 2688 | 36 |
| G22 | 135 | 65 | 190 | 394 | 18 | 48 | 8813 | 3528 | 40 |
| G23 | 135 | 65 | 191 | 416 | 21 | 47 | 8163 | 2568 | 32 |
| G24 | 137 | 70 | 191 | 380 | 23 | 43 | 8588 | 3258 | 37 |
| G25 | 135 | 71 | 190 | 378 | 24 | 37 | 9125 | 3638 | 40 |
| G26 | 136 | 68 | 190 | 364 | 29 | 37 | 7725 | 3175 | 42 |
| G27 | 133 | 75 | 190 | 308 | 19 | 44 | 8500 | 2650 | 31 |
| G28 | 133 | 73 | 190 | 372 | 17 | 33 | 8713 | 3010 | 35 |
| G29 | 136 | 68 | 190 | 444 | 31 | 40 | 10288 | 3708 | 37 |
| G30 | 136 | 83 | 192 | 286 | 23 | 43 | 8050 | 3005 | 37 |
| G31 | 136 | 70 | 192 | 486 | 30 | 46 | 10088 | 3950 | 39 |
| G32 | 135 | 78 | 191 | 386 | 26 | 42 | 9275 | 3628 | 39 |
| G33 | 135 | 81 | 191 | 268 | 25 | 48 | 9150 | 3423 | 38 |
| میانگین Mean | 134 | 75 | 190 | 366 | 25 | 43 | 9295 | 3382 | 36 |
| حداکثر Max | 138 | 92 | 192 | 494 | 37 | 48 | 12750 | 5280 | 42 |
| حداقل Min | 131 | 63 | 189 | 268 | 17 | 33 | 7563 | 2568 | 30 |

نتایج پژوهش انجام شده توسط سایر محققان مطابقت داشت (Soleymanifard and Naseri, 2020). همبستگی منفی بین عملکرد دانه با صفات روز تا سنبله‌دهی و رسیدگی مشاهده شد. این موضوع بر عملکرد بالای ژنوتیپ‌های زودرس دلالت داشت. در مطالعات بسیاری همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و زودرسی گزارش شده است (Mondal et al., 2015; Rahmati et al., 2020).

همبستگی قوی و معنی‌دار بین عملکرد بیوماس و شاخص برداشت با عملکرد دانه بیانگر این است که دست‌یابی به تولید بالا در شرایط دیم مستلزم یک رشد رویشی (ماده خشک) مناسب با توان خوب انتقال مواد فتوسنتزی به دانه در راستای افزایش شاخص برداشت است. رابطه مثبت و معنی‌دار بین تعداد روز تا سنبله‌دهی و روز تا رسیدگی ($r=0/41^*$) بیانگر این است که ژنوتیپ‌هایی که دیرتر سنبله می‌دهند دیررس‌تر می‌باشند که با

جدول ۵- شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل (d^+) و غیرایده‌آل (d^-)Table 5- Selection index of ideal genotype (SIIG) and distance from ideal (d^+) and non-ideal (d^-) genotypes

| ژنوتیپ | فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل | فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل | شاخص SIIG | رتبه |
|----------|-------------------------|----------------------------|------------|------|
| Genotype | d^+ | d^- | SIIG index | Rank |
| G1 | 0.176 | 0.344 | 0.662 | 14 |
| G2 | 0.184 | 0.314 | 0.631 | 20 |
| G3 | 0.184 | 0.341 | 0.649 | 16 |
| G4 | 0.131 | 0.347 | 0.725 | 7 |
| G5 | 0.166 | 0.357 | 0.682 | 10 |
| G6 | 0.186 | 0.318 | 0.630 | 21 |
| G7 | 0.094 | 0.434 | 0.822 | 1 |
| G8 | 0.190 | 0.316 | 0.625 | 22 |
| G9 | 0.140 | 0.358 | 0.720 | 8 |
| G10 | 0.157 | 0.335 | 0.681 | 11 |
| G11 | 0.176 | 0.317 | 0.643 | 18 |
| G12 | 0.196 | 0.323 | 0.622 | 23 |
| G13 | 0.219 | 0.305 | 0.582 | 27 |
| G14 | 0.167 | 0.335 | 0.667 | 13 |
| G15 | 0.186 | 0.316 | 0.630 | 21 |
| G16 | 0.124 | 0.363 | 0.745 | 5 |
| G17 | 0.137 | 0.383 | 0.736 | 6 |
| G18 | 0.110 | 0.390 | 0.779 | 3 |
| G19 | 0.168 | 0.325 | 0.659 | 15 |
| G20 | 0.185 | 0.320 | 0.633 | 19 |
| G21 | 0.187 | 0.307 | 0.622 | 23 |
| G22 | 0.183 | 0.331 | 0.643 | 18 |
| G23 | 0.205 | 0.316 | 0.607 | 24 |
| G24 | 0.173 | 0.320 | 0.649 | 16 |
| G25 | 0.160 | 0.331 | 0.675 | 12 |
| G26 | 0.172 | 0.313 | 0.645 | 17 |
| G27 | 0.225 | 0.306 | 0.576 | 28 |
| G28 | 0.215 | 0.313 | 0.592 | 25 |
| G29 | 0.112 | 0.369 | 0.767 | 4 |
| G30 | 0.209 | 0.300 | 0.590 | 26 |
| G31 | 0.099 | 0.375 | 0.791 | 2 |
| G32 | 0.146 | 0.337 | 0.697 | 9 |
| G33 | 0.190 | 0.327 | 0.633 | 19 |

تعداد سنبله در مترمربع در مراتب بعدی قرار گرفتند. با ارزیابی ۱۰۸ لاین خالص جو از نظر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی با استفاده از روش SIIG، مشخص شد که عملکرد دانه بیشترین سهم را در مقدار شاخص SIIG داشته است (Zali and Barati, 2020). مقادیر داده‌های ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی نشان داد که با کاهش مقدار SIIG، مقادیر عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله کاهش داشته است. به علاوه، همبستگی منفی بین روز تا سنبله‌دهی و رسیدگی با شاخص SIIG مشاهده شد. این امر بیانگر این است که برای بهبود عملکرد دانه گندم بایستی ژنوتیپ‌های زودرس با تعداد دانه در سنبله بالا انتخاب نمود.

با توجه به نتایج همبستگی بین عملکرد و صفات زراعی، صفات تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیوماس، شاخص برداشت و زودرسی بعنوان مؤثرترین صفات برای انتخاب ژنوتیپ‌های گندم دیم با عملکرد بالا پیشنهاد می‌شوند. بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص SIIG به ترتیب با صفات عملکرد دانه ($r=0/88^{**}$)، عملکرد بیوماس ($r=0/84^{**}$)، تعداد دانه در سنبله ($r=0/76^{**}$)، شاخص برداشت ($r=0/41^*$) و تعداد سنبله در مترمربع ($r=0/40^*$) مشاهده شد. این موضوع بیانگر این است که عملکرد دانه بیشترین سهم را در مقدار شاخص SIIG و پس از آن به ترتیب عملکرد بیوماس، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و

جدول ۶- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های گندم

Table 6- Correlation coefficients among the evaluated traits in wheat genotypes

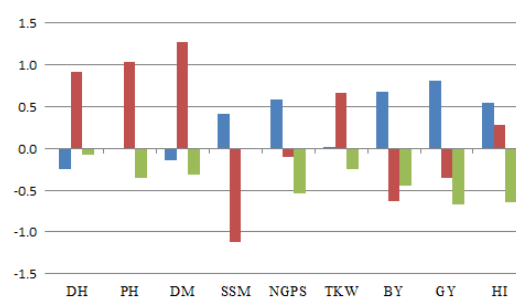
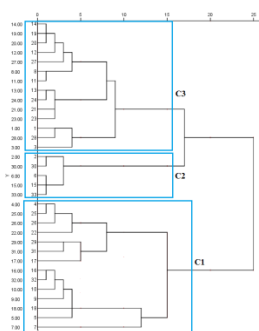
| صفات Traits | DH | PH | DM | SSM | NGPS | TKW | BY | GY | HI | SIIG |
|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|------|--------|--------|-------|------|
| DH | 1 | | | | | | | | | |
| PH | -0.038 | 1 | | | | | | | | |
| DM | .407* | .153 | 1 | | | | | | | |
| SSM | -.018 | -.438* | .066 | 1 | | | | | | |
| NGPS | -.101 | .223 | -.119 | .014 | 1 | | | | | |
| TKW | .092 | .203 | .167 | -.347* | .206 | 1 | | | | |
| BY | -.288 | .265 | -.249 | .195 | .526** | .015 | 1 | | | |
| GY | -.179 | .202 | -.308 | .111 | .609** | .077 | .848** | 1 | | |
| HI | .123 | -.038 | -.212 | -.056 | .381* | .060 | .100 | .602** | 1 | |
| SIIG | -.180 | .048 | -.188 | -.402* | .758** | .078 | .837** | .879** | .411* | 1 |

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد

* and **: Significant at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively

ارتفاع بوته، بیشترین روز تا رسیدگی (دیررسی)، کمترین تعداد سنبله در مترمربع، بیشترین وزن هزار دانه، کمترین عملکرد بیوماس و عملکرد دانه را نشان داد. سومین گروه، ارتفاع بوته پایین، کمترین تعداد روز تا رسیدگی (زودرسی)، کمترین تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه پایین، عملکرد بیوماس پایین و کمترین عملکرد دانه را نشان داد. به این ترتیب تجزیه خوشه‌ای شامل سه گروه، ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد دانه بالا (گروه ۱)، ژنوتیپ‌های دیررس با عملکرد دانه پایین (گروه ۲) و ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد دانه پایین (گروه ۳) بود. از آنجایی‌که در شرایط دیم به‌نژادگران به دنبال ژنوتیپ‌های زودرس با عملکرد دانه بالا می‌باشند، ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و زودرس در گروه ۱ می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش برای کاشت در دیم‌زارهای مناطق گرمسیر و یا به عنوان والدین برای بهبود عملکرد و سایر خصوصیات مطلوب زراعی در برنامه به‌نژادی در نظر گرفته شوند.

تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ۳۳ ژنوتیپ گندم با استفاده از روش وارد انجام پذیرفت. در تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند (شکل ۲- سمت چپ). در اولین، دومین و سومین گروه به ترتیب تعداد ۱۴، ۵ و ۱۴ ژنوتیپ قرار گرفت. به این ترتیب که ژنوتیپ‌های G17, G16, G32, G10, G9, G18, G5, G7, G31, G29, G22, G26, G25, G4 در گروه اول، ژنوتیپ‌های G2, G30, G5, G15, G33 در گروه دوم و سایر ژنوتیپ‌ها در گروه سوم قرار گرفتند. به منظور مقایسه گروه‌های مختلف از نظر صفات مورد ارزیابی، مقادیر کلیه صفات به نمره Z تبدیل شده و سپس مقایسه انجام پذیرفت (شکل ۲- سمت راست). اولین گروه، کمترین تعداد روز تا سنبله‌دهی، روز تا رسیدگی کمتر (زودرسی)، بیشترین تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع بالا، بیشترین عملکرد بیوماس، عملکرد دانه و شاخص برداشت را نشان داد. دومین گروه، بیشترین تعداد روز تا سنبله‌دهی، بیشترین



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای برای صفات مورد ارزیابی در ۳۳ ژنوتیپ گندم. شکل سمت چپ تجزیه خوشه‌ای به روش WARD و شکل سمت راست مقایسه سه گروه تجزیه خوشه‌ای از نظر صفات مورد ارزیابی برای ۳۳ ژنوتیپ گندم را نشان می‌دهد.

Figure 2- Cluster analysis for traits evaluated of 33 wheat genotypes. The left figure showed the cluster analysis using the WARD method and the right figure showed a comparison of three classes of cluster analysis for traits evaluated of 33 wheat genotypes

نتیجه‌گیری کلی

G16 از نظر عملکرد و سایر صفات مطلوب زراعی از بیشترین میزان شاخص SIIG برخوردار بودند؛ بنابراین شاخص SIIG می‌تواند بعنوان ابزار مفیدی در جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در محصولات مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

این مقاله از پروژه تحقیقاتی به شماره مصوب ۰۵۷-۹۶۱۲۷۳-۱۵۵۷-۵۹-۰۳۴ استخراج شده است. بدین‌وسیله از مدیر اجرایی پروژه ارتقاء امنیت غذایی در استان لرستان که امکانات لازم برای اجرای این پروژه را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

بر اساس نتایج شاخص SIIG و تجزیه خوشه‌ای، ارقام کبیر و پایا و لاین‌های G18، G29، G17 و G18 بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و اکثر صفات مورد ارزیابی بودند که می‌توانند برای کاشت در اراضی دیم و برنامه‌های به‌نژادی بعدی استفاده شوند. روابط مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیوماس و شاخص برداشت نشان داد که صفات مذکور می‌توانند بعنوان معیار گزینش مناسب در بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط دیم مورد توجه قرار گیرند. در این پژوهش ژنوتیپ‌های برتر شامل ارقام کبیر و پایا و لاین‌های G17، G29، G18، G31.

References

- Abdollahi Hesar, A., Sofalian, O., Alizadeh, B., Asghari, A. and Zali, H. 2020. Evaluation of some autumn canola genotypes based on agronomy traits and SIIG index. *Journal of Crop Breeding*, 12(34): 151-159. (In Persian).
- Arifuzzaman, M., Barman, S., Hayder, S., Azad, M.A.K., Turin, M.T.S., Amzad, M.A. and Masuda, M.S. 2020. Screening of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress conditions using multivariate analysis. *Cereal Research Communications*, 48(3): 301-308.
- Arzhang, S., Bernosi, I., Abdollahi Mandolakoni, B. and Hassanzadeh Ghoorttappah, A. 2017. Genetic diversity of grain yield and some morphological traits in local bread wheat lines. *Seed and Plant Journal*, 32(4): 493-510. (In Persian).
- Khoshgoftarmansh, A.H., Sharifi, H.R., Afiuni, D. and Schulin, R. 2012. Classification wheat genotypes by yield and densities of grain zinc and iron using cluster analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 121: 49-54. (In Persian).
- Liu, B., Asseng, S. and Muller, C. 2016. Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. *Nature Climate Change*, 6: 1130-1136.
- Modarresi, M., Mohammadi, V. and Zali, A. 2010. Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. *Cereal Research Communications*, 38: 23-31.
- Mondal, S., Joshi, A.K., Huerta-Espino, J. and Singh, R.P. 2015. Early maturity in wheat for adaptation to high temperature stress. PP. 239-252, In: Y. Ogihara (ed.), *Advances in Wheat Genetics*.
- Rahmati, M., Hosseinpour, T. and Ahmadi, A. 2020. Assessment of interrelationship between agronomic traits of wheat genotypes under rain-fed conditions using double and triple biplots of genotype, trait and yield. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 9(1): 1-20. (In Persian).
- Sadeghzadeh, B. and Abediasl, G. 2012. Evaluating agronomic traits related to grain yield of durum wheat landraces in dry lands conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 1(1): 40-62. (In Persian).
- Shirvani, F., Daneshvar, M., Mohammadi, R. and Ismaili, A. 2021. Evaluation of agro-physiological characteristics and drought tolerance in some of durum wheat breeding genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 12(13): 117-135. (In Persian).
- Soleymanifard, A. and Naseri, R. 2020. Evaluation of relationships between grain yield and agro-physiological traits of bread wheat genotypes under rainfed conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3): 701-714. (In Persian).

- Tadili, S., Asghari, A., Karimizadeh, R., Sofalian, O. and Mohammaddoust Chamanabad, H.R.** 2020. Evaluation of drought stress tolerance in advanced lines durum wheat using the selection index of ideal genotype (SIIG). *Journal of crop Ecophysiology*, 14(1): 45-61. (In Persian).
- Tahmasebi, S., Dastfal, M., Zali, H. and Rajaie, M.** 2018. Drought tolerance evaluation of bread wheat cultivars and promising lines in warm and dry climate of the south. *Cereal Research*, 8(2): 209-225. (In Persian).
- Würschum, T., Leiser, W.L., Langer, S.M., Tucker, M.R. and Longin, C.F.H.** 2018. Phenotypic and genetic analysis of spike and kernel characteristics in wheat reveals long-term genetic trends of grain yield components. *Theoretical and Applied Genetics*, 131: 2071-2084.
- Yaghoutipoor, A., Farshadfar, E. and Saeedi, M.** 2017. Evaluation of wheat genotype for drought tolerance using a suitable combination method. *Environmental Stresses in Crop Science*, 10(2): 247-256. (In Persian).
- Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A. and Shariatpanahi, M.E.** 2020. Identifying drought tolerant canola genotypes using selection index of ideal genotype. *Journal of Crop Breeding*, 11(29): 117-126. (In Persian).
- Zali, H. and Barati, A.** 2020. Evaluation of selection index of ideal genotype (SIIG) in other to selection of barley promising lines with high yield and desirable agronomy traits. *Journal of Crop Breeding*, 12(34): 93-104. (In Persian).

Grain yield potential of wheat genotypes on farmers' fields under rainfed conditions

Mahnaz Rahmati^{1*}, Ali Ahmadi¹, Ali Minapoor², Kiyanoosh Hamidiyan³

¹ Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran

² Agronomy Expert, Agricultural Service center of Khoshnamvand, Jihad-Agriculture Management of Kouhdasht, Kouhdasht, Iran

³ Agronomy Expert, Jihad-Agriculture Organization of Lorestan, Khorramabad, Iran

*Corresponding Author: avinmahnaz@gmail.com

Received: 30 April 2022

Accepted: 3 July 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.340070.1230

Abstract

Introduction: It is crucial to introduce and develop new high-yielding dryland wheat cultivars with resistance to biotic and abiotic stresses, given the extent of wheat cultivation in tropical regions and the occurrence of drought in recent years. On-farm experimentation provides new insights and is a suitable method for informing farmers about novel technologies, such as new crop varieties. Using the SIIG index and cluster analysis, the current study aimed to identify the superior wheat genotypes for grain yield and other agronomic traits in tropical drylands and introduce them to farmers.

Material and Methods: In current study, 33 varieties/ pure lines selected from the DARI and ICARDA wheat breeding programs were cultivated on farmers' fields of Lorestan province using a randomized complete block design (RCBD) with two replications during 2017-18 cropping season. The genotypes evaluated consisted of 12 cultivars and 21 pure lines of bread wheat and durum wheat, respectively. The pedigree of all genotypes is presented in table 1. The following nine characteristics were recorded: days to heading (DH), plant height (PH), Days to maturity (DM), spikes per square meter (SSM), number of grains per spike (NGPS), 1000 kernel weight (TKW), biological yield (BY), Grain yield (GY), and harvest index (HI). Using ANOVA, all investigated characteristics were analyzed. Genotypes means were compared using the least significance difference (LSD) at 5% and 1% probability level. Correlation analysis was performed using the Pearson method. Selection index of ideal genotype (SIIG) was utilized to select the genotypes with the highest yield and agronomic traits. In addition, cluster analysis using the WARD method and principal component analysis were employed to categorize genotypes. To analyze the data, MSTATC, IBM SPSS Statistics ver. 22 and Excel were utilized.

Results and Discussion: Paya and Kabir varieties and G17, G18, and G31 lines had the highest average grain yields, with yields of 5,280, 3,985, 4,210, 4,003, and 3,950 kg/ha, respectively. The SIIG index indicated that Kabir and Paya varieties, and G31, G18, G29, G17 and G16 lines with a high SIIG value (0.822, 0.720, 0.791, 0.779, 0.767, 0.736 and 0.745, respectively) were superior genotypes, whereas G13 and G17 lines with a low SIIG (0.582 and 0.576, respectively) were the weakest genotypes for the majority of traits evaluated in the current study. Grain yield exhibited a significant and positive correlation with biological yield (BY), number of grains per spike (NGPS), and harvest index, according to correlation analysis (HI). Days to heading and maturity correlated negatively with grain yield. Therefore, BY, NGPS, HI, and early maturity may be suitable indicators for selecting high-performing genotypes in wheat breeding programs under rainfed conditions. Strong and positive correlation was observed between the SIIG index and grain yield. This issue reflected a larger proportion of grain yield in the SIIG index. Cluster analysis classified genotypes into three primary classes. Class 1 consisted of maturity date genotypes with high yield, Class 2 consisted of early maturity genotypes with low yield, and Class 3 consisted of early

maturity genotypes with low yield. In the current study, first -class genotypes with high yield and earliness were deemed promising genotypes for planting in tropical regions under rainfed conditions or as parents for improving yield and desirable agronomic traits in wheat breeding programs.

Conclusion: The best genotypes, as determined by the SIIG index and cluster analysis, are the Kabir and Paya varieties and the G31, G18, G29, G17, and G16 lines, which are suitable for planting in drylands and further breeding programs. Significant and positive correlations between grain yield and biological yield (BY), number of grains per spike (NGPS), and harvest index (HI) indicated that these traits could be regarded as suitable indicators for enhancing grain yield in wheat under rainfed conditions. In the current study, genotypes with higher grain yield and desirable agronomic traits had the highest SIIG index. SIIG index could therefore be utilized as a suitable method for identifying the best genotypes on various crops.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, SIIG index

تأثیر آبیاری جزئی ریشه و مدیریت کوددهی بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب در باقلا

کامیار کاظمی^{*}، سیدنادر موسویان^۱

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

^{*} مسؤل مکاتبه: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.310804.1148

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹

چکیده

در یک آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شهرستان شادگان، تأثیر روش آبیاری و مدیریت کوددهی بر عملکرد و بهره‌وری آب در باقلا مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اول روش آبیاری (آبیاری کامل و آبیاری جزئی سیستم ریشه‌ای) و عامل دوم نوع کود (بدون کود، کود شیمیایی، کود دامی، کود کمپوست) بود. بیشترین عملکرد دانه با استفاده از کود شیمیایی و آبیاری کامل ریشه بدست آمد. عملکرد دانه باقلا در شرایط آبیاری جزئی ریشه و کاربرد کود شیمیایی ۹/۲ درصد بیشتر از آبیاری کامل ریشه و عدم کوددهی بود. استفاده از کود، عملکرد دانه باقلا را در شرایط آبیاری جزئی ریشه افزایش داد. با این حال، در شرایط آبیاری جزئی ریشه، عملکرد دانه باقلا تنها به شرط استفاده از کود شیمیایی بهتر از آبیاری کامل و عدم کوددهی بود. بیشترین و کمترین بهره‌وری آب به ترتیب با کاربرد کود شیمیایی در شرایط آبیاری جزئی ریشه و عدم استفاده از کود در شرایط آبیاری کامل ریشه بدست آمد. استفاده از کمپوست در شرایط آبیاری جزئی ریشه، باعث شد که بهره‌وری آب نسبت به تمامی تیمارهای کوددهی در آبیاری کامل ریشه بیشتر شود. بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط آبیاری جزئی ریشه بیش از ۴۰ درصد بالاتر از بیشترین بهره‌وری آب در شرایط آبیاری کامل بود. با توجه به تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه، مصرف کود شیمیایی برای تولید عملکرد دانه مطلوب قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری محدود، عملکرد، کمپوست، کود دامی، مصرف آب

مقدمه

تنها یک سمت سیستم ریشه‌ای آبیاری می‌شود به طوری که سیستم ریشه‌ای با شرایط نیمی مرطوب-نیمی خشک مواجه می‌شود. هر چند ممکن است که در طول فصل زراعی قسمت‌هایی از ریشه که با خاک مرطوب و خشک مواجه می‌شوند به طور متناوب جایگزین هم شوند اما آبیاری به گونه‌ای انجام می‌شود که همواره نیمی از سیستم ریشه‌ای با خاک مرطوب و نیمی دیگر با خاک خشک مواجه باشد (Yang et al., 2011). در گوجه‌فرنگی گزارش شده است که اعمال آبیاری جزئی ریشه می‌تواند به افزایش ۵۰ درصدی بهره‌وری آب منجر شود به طوری که عملکرد میوه به ازای مصرف هر متر مکعب آب از ۱/۴ کیلوگرم به ۲/۱ کیلوگرم افزایش یافت (Kasa and Rouphael, 2014). در کلزا نتیجه گرفته شد که آبیاری جزئی ریشه با توسعه سیستم ریشه می‌تواند به افزایش جذب عناصر غذایی و در نهایت بهبود بهره‌وری آب منجر شود (Mousavim et al., 2010). در ذرت نیز مشاهده شد که استفاده از آبیاری جزئی ریشه باعث افزایش بهره‌وری آب شد (Fu et al., 2017).

از آنجا که آب در فرایندهای مختلف گیاهی نقش مهمی دارد، در تولید بیوماس و عملکرد گیاهان زراعی نیز بیشترین نقش را ایفا می‌کند. به همین دلیل در طول دوره رشد گیاهان زراعی، در محدوده ریشه باید به میزان مناسب تأمین شود. با این حال، از آنجا که در سال‌های اخیر تأمین منابع آبی دچار محدودیت شده است، ضروری است که استفاده از آب برای تولید در گیاهان زراعی با بیشترین بهره‌وری همراه باشد به طوری که با مصرف هر واحد آب، عملکرد بیشتری بدست بیاید و هم‌چنین صدمات کمتری به محیط زیست وارد شود. این موضوع، نشان می‌دهد که استفاده از فعالیت‌های زراعی مناسب جهت افزایش بهره‌وری آب توسط گیاهان زراعی دارای اهمیت زیادی است (Adu et al., 2018). یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای بهبود بهره‌وری آب در سیستم‌های زراعی مورد توجه قرار گرفته است، آبیاری محدود گیاهان زراعی با استفاده از روش آبیاری جزئی ریشه است (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2018). در این روش،

کاهش بارش‌های آسمانی در طول دوره رشد زایشی گیاهان زراعی رخ می‌دهد و دوره پر شدن دانه این گیاهان را با محدودیت آب مواجه می‌کند، پژوهش‌های مرتبط با آبیاری محدود که بر اساس آن بتوان به صورت بهینه، مصرف آب در سیستم‌های زراعی را کاهش داد در اولویت می‌باشد. بر همین اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر آبیاری جزئی ریشه و اثر منابع مختلف تغذیه بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب در گیاه باقلا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان شادگان در استان خوزستان (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. بافت خاک مزرعه از نوع سیلتی-لوم و اسیدیته، هدایت الکتریکی و مواد آلی آن به ترتیب برابر ۷/۳ و ۱/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر و ۰/۵۱ درصد بود. اقلیم منطقه از نوع گرم و خشک بوده که متوسط دما و بارندگی سالانه آن به ترتیب ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. برخی خصوصیات آب و هواشناسی در طول دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ آمده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول رژیم‌های آبیاری بود که بعد از استقرار گیاه‌چه در مزرعه اعمال گردید. تیمارهای آبیاری به دو روش آبیاری کامل سیستم ریشه‌ای و آبیاری جزئی سیستم ریشه-ای اعمال گردید. در تیمار آبیاری کامل، جوی و پشته‌ها به صورت کامل آبیاری شدند، به طوری که هر دو طرف سیستم ریشه‌ای گیاهان در معرض خاک مرطوب قرار گرفت. در روش آبیاری جزئی سیستم ریشه‌ای، جوی و پشته‌های به صورت یک در میان ثابت (بدون تغییر در جوی و پشته‌هایی که آبیاری شدند) آبیاری شدند و در نتیجه نیمی از سیستم ریشه در معرض خاک خشک و نیمی دیگر در معرض خاک مرطوب قرار گرفت. عامل دوم، تیمار کودی بود که شامل بدون کود (شاهد)، کود شیمیایی، کود دامی (گاوی کاملاً پوسیده) و کود کمپوست بود. برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی کود حیوانی و کمپوست مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ ذکر شده است. کود شیمیایی مورد استفاده در آزمایش شامل کود اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود.

باقلا، به عنوان یک لگوم دانه‌ای زمستانه، یک منبع غذایی مهم برای انسان می‌باشد که با برخورداری از ۲۳/۴ درصد پروتئین تعادل مناسبی از پروتئین‌های غنی از اسیدآمین لیزین، کربوهیدرات‌ها و فیبر را در اختیار انسان قرار می‌دهد (Eskandari and Kazemi, 2019). از نظر تولید دانه، باقلا یک گیاه حساس به تنش خشکی گزارش شده است به طوری که تنش خشکی ناشی از افزایش فاصله آبیاری از ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر، عملکرد دانه باقلا را حدود ۴۰ درصد کاهش داد (Rezaei- chiyaneh et al., 2017). با این حال، نشان داده شده است که حساسیت ارقام مختلف باقلا به تنش کمبود آب متفاوت می‌باشد (Abdellatif et al., 2012). در یک مطالعه دیگر مشاهده شد که تنش خشکی به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای باعث کاهش تولید بیوماس ریشه و اندام‌های هوایی در باقلا می‌شود (Belachew et al., 2019). همچنین نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه باقلا می‌شود ولی واکنش ارقام مختلف باقلا به تنش خشکی متفاوت بوده است (Ammar et al., 2015). علی‌رغم مطالعات مختلف در مورد اثر تنش کمبود آب بر باقلا، تاکنون تنش خشکی ناشی از آبیاری جزئی ریشه بر عملکرد دانه باقلا مورد بررسی قرار نگرفته است و این موضوع به تحقیق بیشتر نیاز دارد. به دلیل اثرات منفی کودهای شیمیایی بر محیط طبیعی سیستم‌های تولید زراعی از جمله کاهش نفوذپذیری خاک، تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت کاهش قابلیت نفوذ ریشه گیاهان در خاک (Goldani and Kakhki, 2014) در کشاورزی پایدار تلاش بر این است که مصرف این نوع کودها کاهش پیدا کند. با این حال، نیاز گیاهان، ایجاب می‌کند که مواد غذایی مورد نیاز آن‌ها از راه‌های دیگری تأمین شود که از جمله این منابع می‌توان به کود دامی و کمپوست اشاره کرد. در این مورد در گیاه کنگد مشاهده شد که در شرایط کمبود آب می‌توان بدون کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، کود دامی را جایگزین کود شیمیایی کرد و عملکرد دانه را ۳۴ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف کود بهبود بخشید (Eskandari and Kazemi, 2019). با این حال، تحقیقی نشان داده است که در شرایط تنش خشکی، کودهای زیستی نتوانستند اثرات نامطلوب کمبود آب بر عملکرد دانه باقلا را افزایش چشم‌گیری دهند (Rezaei- chiyaneh et al., 2017). برای صرفه‌جویی در مصرف آب در سیستم‌های زراعی اعمال روش‌های کم‌آبیاری همواره به عنوان یک راهکار مدیریتی مهم در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در عمده مناطق کشور،

جدول ۱- برخی خصوصیات اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸

| ماه | حداقل دمای ماهانه | حداکثر دمای ماهانه | رطوبت نسبی | میزان بارندگی |
|----------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Month | Monthly minimum temperature (°C) | Monthly maximum temperature (°C) | Relative humidity (%) | Precipitation (mm) |
| آذر | 11.5 | 20.5 | 79.2 | 55 |
| December | | | | |
| دی | 11.6 | 15.8 | 71 | 4.5 |
| January | | | | |
| بهمن | 9.1 | 19.4 | 61.9 | 5.8 |
| February | | | | |
| اسفند | 14.3 | 25.5 | 60.4 | 11 |
| March | | | | |
| فروردین | 17.8 | 29.1 | 50.9 | 13.7 |
| April | | | | |

جدول ۲- برخی خصوصیات کود دامی و کمپوست مورد استفاده در پژوهش

| نوع کود آلی | هدایت الکتریکی | اسیدیته | نیتروژن | فسفر | پتاسیم |
|-------------------------|--------------------------|---------|--------------|---------------------|-------------------|
| Organic fertilizer type | EC (dS m ⁻¹) | pH | Nitrogen (%) | Phosphorous (mg/kg) | Potassium (mg/kg) |
| کمپوست | 7.4 | 7.8 | 1/0 | 0.81 | 0.67 |
| Compost | | | | | |
| کود حیوانی (گاو) | 6.8 | 7.3 | 0.55 | 0.38 | 0.31 |
| Animal manure (cow) | | | | | |

پشته (نشت آب از داخل جوی به سمت محل قرارگیری بذر روی پشته) بود. میزان آب ورودی به هر کرت با استفاده از یک کنترتور حجمی اندازه‌گیری شد. در طول آزمایش با استفاده از وجین دستی با علف‌های هرز مبارزه گردید. زمان کاشت تا برداشت نهایی باقلا (۳۰ فروردین ۱۳۹۸) در مجموع در ۱۴ مرحله آبیاری اعمال گردید. مراحل اعمال آبیاری و مراحل رشدی باقلا در جدول ۳ آورده شده است.

در مرحله برداشت (۳۰ فروردین) در کلیه تیمارها، اثرات حاشیه‌ای (دو ردیف کناری و یک متر ابتدایی و انتهایی هر کرت) حذف و بقیه کرت از نزدیک‌ترین ارتفاع از سطح زمین (تقریباً دو سانتی‌متری) برداشت و عملکرد و اجرای عملکرد دانه باقلا ثبت گردید. از تقسیم عملکرد دانه بر حجم آب ورودی به کرت، بهره‌وری آب^۱ (کیلوگرم بر متر مکعب) اندازه‌گیری شد (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2018):

$$WP = [Y / I_g]$$

1. WP = Water productivity

محل اجرای آزمایش در فصل قبل زراعی (کشت تابستانه) در آیش قرار داشت. برای تهیه زمین، ابتدا مزرعه آبیاری و سپس در مرحله گاورو با استفاده از گاوآهن بشقابی شخم زده شد. کلیه مقادیر کودهای کمپوست (۳۰ تن در هکتار) و کود دامی (گاو) (۳۰ تن در هکتار) قبل از کاشت به زمین اضافه شد و با خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط گردید. قبل از کاشت کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم در تیمار کود شیمیایی به خاک اضافه و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط گردیدند. در ادامه جوی پشته‌ها ایجاد و کرت‌ها به صورت دستی آماده شدند به طوری که هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول شش متر بود. جهت اطمینان از سبز شدن بوته‌ها، کشت باقلا با تراکم بالا (۲۰ بوته در مترمربع) و در تاریخ ۲۵ آبان انجام شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت پذیرفت. بعد از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها در مزرعه، بوته‌ها تا تراکم مطلوب (۱۰ بوته در مترمربع) تنک شدند و سپس کرت‌ها آبیاری شدند. آبیاری‌های بعدی بر اساس تیمارهای آزمایش انجام شد. روش آبیاری باقلا در این آزمایش به صورت جوی و

جدول ۳- مراحل انجام آبیاری در کشت خالص باقلا بر اساس تیمارهای آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

Table 3- Stages of irrigation in sole cropping of faba bean based on experimental treatments during 2018-19 growing season

| مرحله آبیاری | تاریخ | مرحله رشد باقلا |
|----------------------|-------------|--|
| Irrigation stage | Date | Faba bean growth stage |
| مرحله اول | ۵ آذر | کاشت |
| First stage | 26 November | Planting |
| مرحله دوم | ۱۵ آذر | رشد گیاهچه |
| Second stage | 6 December | Seedling growth |
| مرحله سوم | ۲۵ آذر | استقرار گیاهچه (۴ برگی) |
| Third stage | 16 December | Seedling establishment (4 leaves) |
| مرحله چهارم | ۳ دی | رشد رویشی |
| The fourth stage | 24 December | Vegetative growth |
| مرحله پنجم | ۱۵ دی | رشد رویشی |
| The fifth stage | 5 January | Vegetative growth |
| مرحله ششم | ۲۵ دی | رشد رویشی |
| The sixth stage | 15 January | Vegetative growth |
| مرحله هفتم | ۱۱ بهمن | رشد رویشی |
| The seventh stage | 31 January | Vegetative growth |
| مرحله هشتم | ۲۵ بهمن | شروع گلدهی |
| The eighth stage | 14 February | Early stages of flowering |
| مرحله نهم | ۴ اسفند | گلدهی |
| The ninth stage | 23 February | Flowering |
| مرحله دهم | ۱۵ اسفند | گلدهی و غلافدهی |
| The tenth stage | 6 March | Flowering and podding |
| مرحله یازدهم | ۲۶ اسفند | غلاف دهی و شروع دانه بندی |
| The eleventh stage | 17 March | Podding and early stages of grain formation |
| مرحله دوازدهم | ۵ فروردین | دانه بندی |
| The twelfth stage | 25 March | Grain formation |
| مرحله سیزدهم | ۱۳ فروردین | تکمیل دانه بندی |
| The thirteenth stage | 2 April | Completion of grain formation |
| مرحله چهاردهم | ۲۱ فروردین | تکمیل دانه بندی و شروع رسیدگی دانه |
| The fourteenth stage | 10 April | Completion of grain formation and starting of grain maturing |

بوته معنی دار نبود. با این حال، اثر متقابل آبیاری × کود بر صفات تعداد دانه و تعداد غلاف در بوته، عملکرد بیولوژیک و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴).

باقلا در شرایط آبیاری کامل سیستم ریشه‌ای ارتفاع بوته بیشتری داشت به طوری که اعمال آبیاری جزئی ریشه باعث کاهش ۱۴ درصدی ارتفاع بوته باقلا شد (شکل ۱). هم‌چنین استفاده از کود شیمیایی به عنوان منبع تغذیه باعث شد که باقلا بیشترین ارتفاع بوته را تولید کند که به طور معنی داری بیشتر از سایر منابع کودی (به ترتیب ۲۴/۵، ۱۴/۵ و ۶/۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد، کمپوست و کود دامی) بود. در شرایط عدم استفاده از کود، باقلا کمترین ارتفاع بوته (۴۵/۵ سانتی‌متر) را داشت (شکل ۱).

که در آن WP بهره‌وری آب، Y عملکرد دانه باقلا بر حسب کیلوگرم در هکتار و I_g حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها، در هر سطحی که صفت مورد نظر معنی دار شد از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که تیمار روش آبیاری و کود بر کلیه صفات مورد بررسی معنی دار ($P \leq 0.01$) است (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری × کود بر صفات تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و ارتفاع

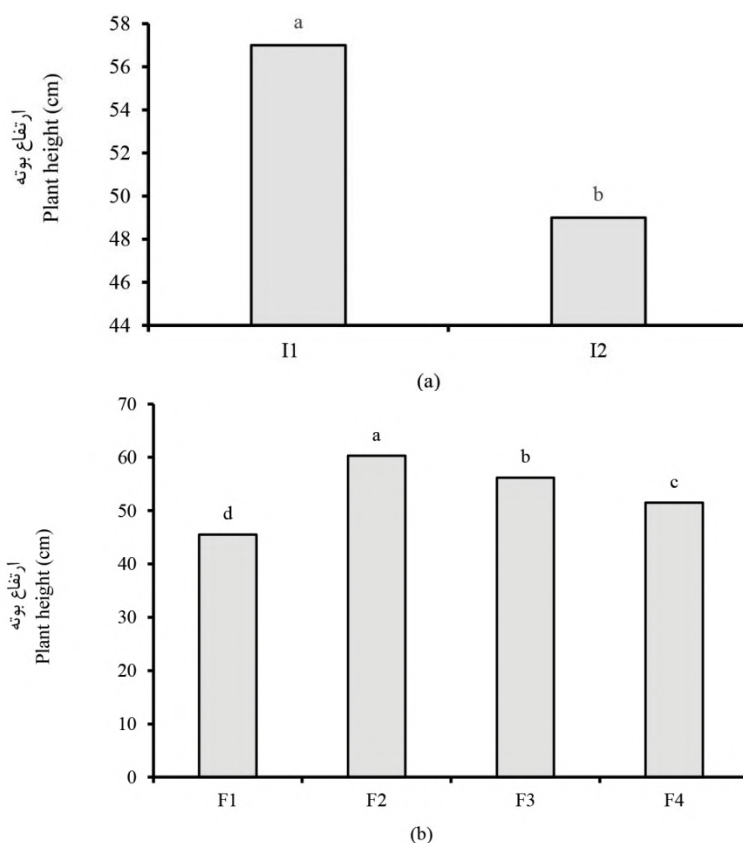
جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا در تیمارهای مختلف کودی در شرایط آبیاری کامل و جزئی ریشه

Table 4- Analysis of variance (Mean Square) for grain yield and yield components of faba bean in different treatments of fertilizer under conventional irrigation and partial root zone condition

| منابع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع بوته | وزن هزار دانه | تعداد دانه در غلاف | تعداد غلاف در بوته | تعداد دانه در بوته | عملکرد بیولوژیک | عملکرد دانه | بهره‌وری آب |
|---------------|------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------|----------------------|
| S.O.V | df | Plant height | 1000 Grain weight | Grain per pod | Pod per plant | Grain per plant | Biological yield | Grain yield | Water use efficiency |
| تکرار | 2 | 70.9** | 9517** | 0.202** | 0.502** | 16.2** | 1339091** | 489120** | 0.159** |
| Replication | | | | | | | | | |
| آبیاری | 1 | 376** | 40017** | 1.65** | 2.04** | 234.4** | 10354320** | 2585297** | 2.01** |
| Irrigation(I) | | | | | | | | | |
| کود | 3 | 244** | 1978** | 0.568** | 2.54** | 121.4** | 2463090** | 1060663** | 0.247** |
| Fertilizer(F) | | | | | | | | | |
| I × F | 3 | 2.40 ^{ns} | 650 ^{ns} | 0.025 ^{ns} | 0.212** | 7.3** | 158531** | 23036* | 0.065** |
| خطا | 14 | 731 | 250 | 0.019 | 0.015 | 1.02 | 12744 | 7246 | 0.006 |
| Error | | | | | | | | | |
| ضریب تغییرات | | 2.47 | 1.33 | 4.54 | 2.01 | 5.34 | 2.44 | 3.79 | 6.74 |
| CV(%) | | | | | | | | | |

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد؛ * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد؛ ns: غیرمعنی‌دار

* and ** indicate significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively. ns: not significant



F₁: بدون کود، F₂: کود شیمیایی، F₃: کود گاوی، F₄: کود کمپوست، I₁: آبیاری کامل، I₂: آبیاری جزئی

حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

F₁, F₂, F₃ and F₄ are control, chemical fertilizer, animal manure and compost, respectively.

I₁: conventional irrigation, I₂: partial root zone irrigation.

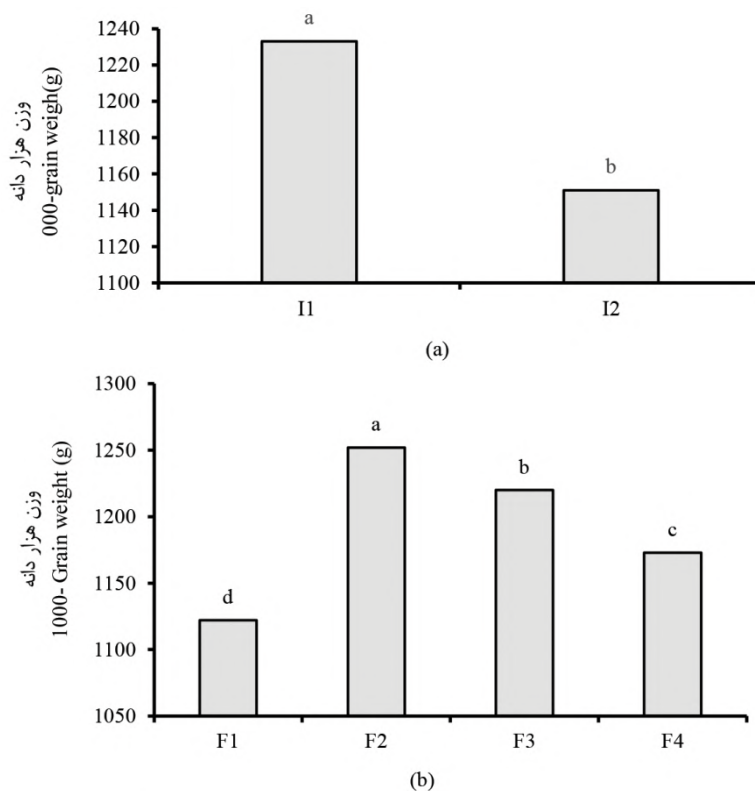
Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Duncan's multiple test.

شکل ۱- اثر روش آبیاری (a) و نوع کود (b) بر ارتفاع بوته باقلا

Figure 1- Effect of irrigation method (a) and fertilizer type (b) on plant height of faba bean

درصد کمتر از بیشترین وزن هزار دانه مشاهده شده در تیمار کود شیمیایی (۱۲۵۲ گرم) بود. استفاده از کود شیمیایی اگرچه باعث تولید دانه‌های سنگین‌تر (وزن هزار دانه بالاتر) نسبت به سایر تیمارهای کودی شد ولی از نظر تولید تعداد دانه در غلاف، اختلاف معنی‌داری با تیمار کود دامی نداشت. با این حال، اختلاف بین تیمار کود شیمیایی (تیماری که بیشترین تعداد دانه در غلاف را تولید کرد) و تیمار شاهد (عدم کوددهی) (تیماری که کمترین تعداد دانه در غلاف را تولید کرد) بیش از ۲۰ درصد بود که نشان می‌دهد کوددهی بر تولید تعداد دانه بیش از وزن دانه اثر دارد (شکل ۳).

آبیاری محدود باعث تولید دانه‌های کوچک‌تر توسط باقلا شد به طوری که آبیاری جزئی ریشه حدود ۷ درصد وزن هزار دانه را کاهش داد (شکل ۲). آبیاری جزئی ریشه هم‌چنین باعث شد که باقلا تعداد دانه کمتری در غلاف داشته باشد (شکل ۳). با اعمال آبیاری جزئی ریشه تعداد دانه در غلاف باقلا از ۳/۳ به ۲/۸ (کاهش ۱۵ درصدی) دانه رسید (شکل ۳). از نظر تأثیر مدیریت کود نیز نتایج نشان داد که عدم استفاده از کود (تیمار شاهد) باعث تولید کوچک‌ترین دانه‌ها (کمترین وزن هزار دانه) و کمترین تعداد دانه در غلاف می‌شود، به طوری که وزن هزار دانه باقلا در تیمار شاهد (عدم کوددهی) (۱۱۲۲ گرم) بیش از ۱۰



F₁: بدون کود، F₂: کود شیمیایی، F₃: کود گاوی، F₄: کود کمپوست، I₁: آبیاری کامل، I₂: آبیاری جزئی حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

F₁, F₂, F₃ and F₄ are control, chemical fertilizer, animal manure and compost, respectively.

I₁: conventional irrigation, I₂: partial root zone irrigation.

Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Duncan's multiple test.

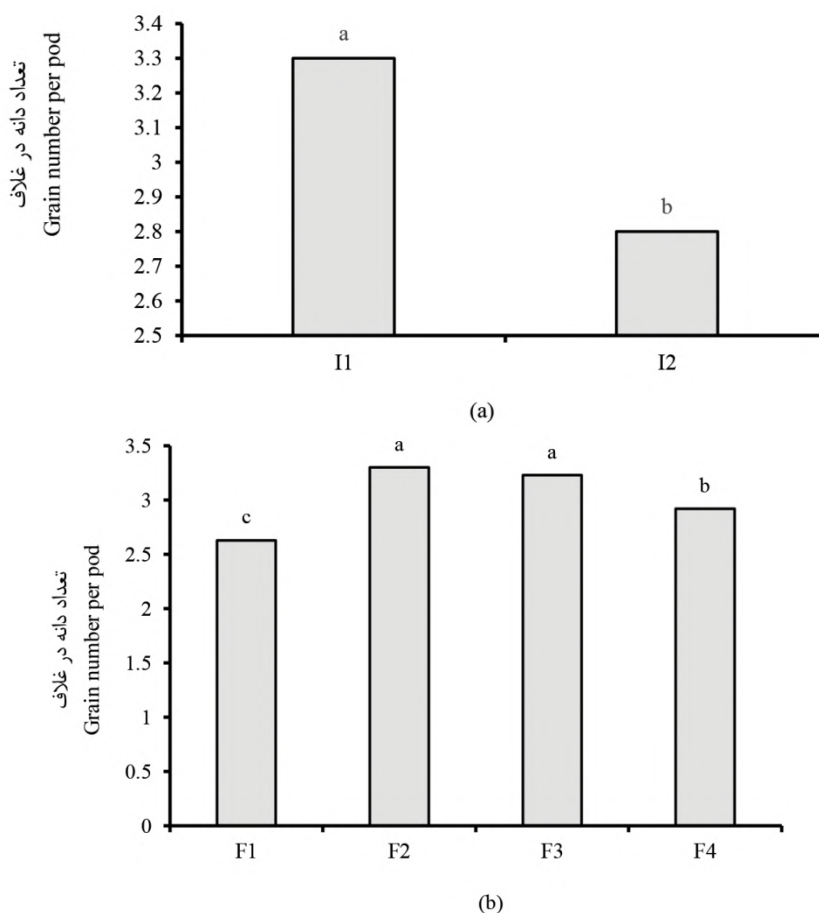
شکل ۲- اثر روش آبیاری (a) و نوع کود (b) بر وزن هزار دانه باقلا

Figure 2- Effect of irrigation method (a) and fertilizer type (b) on 1000-grain weight of faba bean

این‌حال، استفاده از کود شیمیایی و کود دامی در شرایط آبیاری جزئی ریشه می‌تواند از نظر تعداد غلاف در بوته با اعمال تیمارهای کود دامی و کمپوست در شرایط آبیاری کامل ریشه برابری کند

استفاده از کود شیمیایی در شرایط آبیاری کامل سیستم ریشه‌ای باعث تولید بیشترین تعداد غلاف در بوته شد که ۳۳ درصد بیشتر از تیمار عدم کوددهی در شرایط آبیاری جزئی ریشه بود. با

(جدول ۵). روند تقریباً مشابهی در مورد تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک نیز مشاهده شد به طوری که استفاده از کود شیمیایی و آبیاری کامل ریشه بیشترین تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد و عدم استفاده از کود و آبیاری جزئی ریشه به تولید کمترین تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک منجر شد (جدول ۵).



شکل ۳- اثر روش آبیاری (a) و نوع کود (b) بر تعداد دانه در غلاف باقلا
 F₁: بدون کود، F₂: کود شیمیایی، F₃: کود گاوی، F₄: کود کمپوست، I₁: آبیاری کامل، I₂: آبیاری جزئی
 حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی دار در سطح یک درصد می باشد.
 F₁, F₂, F₃ and F₄ are control, chemical fertilizer, animal manure and compost, respectively.
 I₁: conventional irrigation, I₂: partial root zone irrigation.
 Different letters indicate significant difference at P≤0.01 according to Duncan's multiple test.

Figure 3- Effect of irrigation method (a) and fertilizer type (b) on grain number per pod of faba bean

را در شرایط آبیاری جزئی ریشه افزایش داد (در تیمارهای کود شیمیایی، کود دامی و کمپوست به ترتیب ۴۲، ۴۰ و ۳۱ درصد بیشتر از عدم کوددهی). با این حال، در شرایط آبیاری جزئی ریشه، عملکرد دانه باقلا تنها به شرط استفاده از کود شیمیایی بهتر از آبیاری کامل و عدم کوددهی بود و سایر تیمارهای کودی نتوانستند اثرات کمبود آب بر کاهش عملکرد دانه باقلا را جبران کنند (جدول ۵).

بیشترین عملکرد دانه (۳۰۵۱ کیلوگرم در هکتار) با استفاده از کود شیمیایی و آبیاری کامل ریشه بدست آمد که بیش از دو برابر تیمار بدون کوددهی و ۲۵ درصد بیشتر از تیمار کود شیمیایی در شرایط آبیاری جزئی ریشه بود (جدول ۵). عملکرد دانه بدست آمده از باقلا در شرایط بکارگیری آبیاری جزئی ریشه و کود شیمیایی ۹/۲ درصد بیشتر از آبیاری کامل ریشه و عدم کوددهی بود (جدول ۵). استفاده از کود، به طور معنی داری عملکرد دانه باقلا

جدول ۵- عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا در تیمارهای مختلف کودی در شرایط آبیاری کامل و جزئی ریشه

Table 5- Grain yield and yield components of faba bean at different fertilizer treatments under conventional and partial root zone irrigation conditions

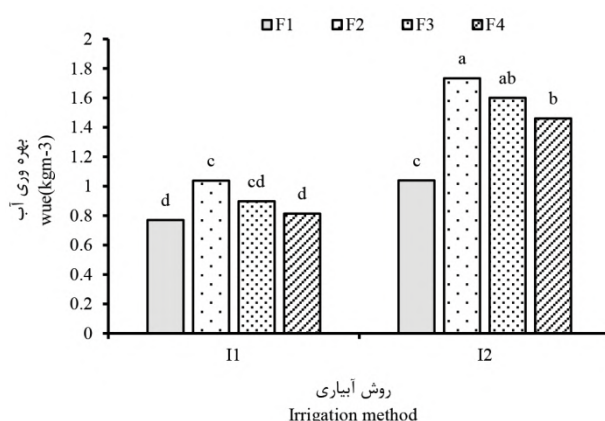
| روش آبیاری | نوع کود | غلاف در بوته | دانه در بوته | عملکرد بیولوژیک | عملکرد دانه |
|---|-----------------|---------------|-----------------|--|---------------------------------------|
| Irrigation method | Fertilizer type | Pod per plant | Grain per plant | Biological yield (kg ha ⁻¹) | Grain yield (kg ha ⁻¹) |
| آبیاری کامل Conventional irrigation | F1 | 5.77c | 18.0c | 4773c | 2067e |
| | F2 | 7.0a | 28.7a | 6130a | 3051a |
| | F3 | 6.5b | 22.7b | 5220b | 2724b |
| | F4 | 6.33b | 19.0c | 5030bc | 2458c |
| آبیاری جزئی Partial root zone irrigation | F1 | 4.67d | 10.7e | 3130f | 1316g |
| | F2 | 6.47b | 20.0c | 4557c | 2276d |
| | F3 | 6.30b | 19.0c | 4363d | 2187de |
| | F4 | 5.83c | 13.7d | 3657e | 1896f |

F1: بدون کود، F2: کود شیمیایی، F3: کود گاوی، F4: کود کمپوست. بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد (برای عملکرد دانه در سطح پنج درصد) می‌باشد.

F1, F2, F3 and F4 are control, chemical fertilizer, animal manure and compost, respectively. In each column, different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ (for grain yield at $P \leq 0.05$) according to Duncan's test.

نتایج نشان داد که بالاترین بهره‌وری آب باقلا در شرایط آبیاری جزئی ریشه بدست آمد (شکل ۴). بیشترین (تولید ۱/۷۳ کیلوگرم دانه به ازای مصرف یک متر مکعب آب) و کمترین (تولید ۰/۸۱۳ کیلوگرم دانه به ازای مصرف یک متر مکعب آب) به ترتیب با کاربرد کود شیمیایی در شرایط آبیاری جزئی ریشه و عدم استفاده از کود در شرایط آبیاری کامل ریشه بدست آمد (شکل ۴). همچنین در شرایط آبیاری کامل استفاده از کود کمپوست نتوانست بهره‌وری آب را بهبود ببخشد و باعث تولید بیشتر دانه به ازای مصرف هر واحد آب شود در حالی که در شرایط آبیاری جزئی ریشه،

استفاده از کود کمپوست نه تنها نتوانست بهره‌وری آب را نسبت به عدم مصرف کود در شرایط آبیاری جزئی ریشه افزایش دهد، بلکه باعث شد که بهره‌وری آب نسبت به تمامی تیمارهای آبیاری کامل ریشه با عدم مصرف و یا مصرف هر نوع کود به عنوان منبع تغذیه باقلا بیشتر شود (شکل ۴). بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط آبیاری جزئی ریشه (۱/۷۳ کیلوگرم دانه به ازای مصرف یک متر مکعب آب) بیش از ۴۰ درصد بالاتر از بیشترین میزان بهره‌وری آب در شرایط آبیاری کامل (۱/۰۳۷ کیلوگرم دانه به ازای مصرف یک متر مکعب آب) بود (شکل ۴).



F1: بدون کود، F2: کود شیمیایی، F3: کود گاوی، F4: کود کمپوست، I1: آبیاری کامل، I2: آبیاری جزئی

حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

F1, F2, F3 and F4 are control, chemical fertilizer, animal manure and compost, respectively.

I1: conventional irrigation, I2: partial root zone irrigation.

Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Duncan's multiple test

شکل ۴- بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آزمایش

Figure 4- Water productivity in different experimental treatments.

آبیاری، عملکرد دانه در شرایط استفاده از کودهای شیمیایی بیشتر از کودهای دامی و کمپوست بود و علت آن به آزاد نشدن همه عناصر غذایی موجود در کودهای دامی و کمپوست در سال اول نسبت داده شد (Eskandari and Kazemi, 2019). هم‌چنین در آزمایش حاضر مشاهده شد که علی‌رغم بیشتر بودن عناصر غذایی موجود در کود کمپوست نسبت به کود دامی (جدول ۲)، عملکرد دانه باقلا در شرایط استفاده از کمپوست به عنوان منبع تأمین عناصر غذایی، در همه تیمارهای آبیاری کمتر از کود دامی بود (جدول ۵). بر این اساس، اینکه آیا استفاده از کودهای دامی یا کمپوست می‌تواند برای کاهش اثرات تنش خشکی ناشی از آبیاری جزئی ریشه جایگزین کودهای شیمیایی شوند نیاز به تحقیقات بیشتر (حداقل سه ساله) دارد تا اثرات آزاد شدن تمامی عناصر غذایی این کودها بر عملکرد دانه باقلا به طور دقیق‌تری ارزیابی شود ولی همان‌طور که نتایج پژوهش حاضر نشان داد، استفاده یک‌ساله از کودهای دامی و کود کمپوست نمی‌تواند در شرایط آبیاری جزئی ریشه، جایگزین کودهای شیمیایی شود. با این حال، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به عملکرد دانه بالاتر، استفاده از ترکیب آبیاری جزئی ریشه و کود حیوانی بر آبیاری کامل سیستم ریشه و عدم استفاده از کود ارجحیت دارد (جدول ۵).

اگر چه اعمال آبیاری محدود از طریق آبیاری جزئی ریشه به کاهش عملکرد دانه منجر شد، ولی از آنجا که کاهش مصرف آب در تیمارهای آبیاری جزئی ریشه بیش از کاهش عملکرد دانه بود، بهره‌وری آب نسبت به شرایط آبیاری کامل سیستم ریشه‌ای بهبود پیدا کرد. به عبارت دیگر، آبیاری جزئی ریشه توانست علاوه بر کاهش قابل توجه در مصرف آب، تولید دانه را در وضعیت مطلوب نگه دارد. در پژوهش‌های مختلف بهبود بهره‌وری آب با اعمال آبیاری جزئی ریشه گزارش شده است (Eskandari and Kazemi, 2020; Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2018; Du *et al.*, 2006). یکی از دلایل بهبود بهره‌وری آب در شرایط آبیاری جزئی ریشه افزایش سهم تعرق از کل آب مصرف شده عنوان شده است (Gholinezhad, 2010). در مورد باقلا گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی سهم مواد فتوسنتزی اختصاص داده شده با ریشه افزایش پیدا می‌کند (Belachew *et al.*, 2019) که می‌تواند تا حدودی رشد ریشه را تحریک و سهم آب تعرق شده را در مقایسه با آب تبخیر شده افزایش داده و در نهایت به افزایش بهره‌وری آب منجر شود.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که هر دو جزء عملکرد دانه (شامل تعداد دانه در واحد سطح و وزن دانه) بر عملکرد دانه باقلا تأثیر دارند، به طوری که وزن دانه و تعداد دانه در واحد سطح (متأثر از تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف) در شرایط آبیاری جزئی ریشه به طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) کاهش پیدا کردند. ضریب همبستگی بین صفات مرتبط با عملکرد دانه شامل تعداد دانه در غلاف (۰/۹۶۵)، وزن هزاردانه (۰/۹۵۲)، ارتفاع بوته (۰/۹۳۸) و تعداد غلاف در بوته (۰/۹۰۶) با عملکرد دانه تأییدکننده‌ی این موضوع می‌باشد. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات در مورد اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه باقلا مبنی بر اثر تنش کمبود آب بر هر دو جزء عملکرد دانه باقلا شامل تعداد دانه و وزن دانه، مشابه است (Katerji *et al.*, 2019). با این حال، در سیستم کشت مخلوط گندم-باقلا، مشاهده شد که آبیاری جزئی ریشه اگر چه بر تعداد دانه در بوته باقلا تأثیر دارد ولی این اثر را از طریق تعداد غلاف در بوته (و نه تعداد دانه در غلاف) دارد (Eskandari and Kazemi, 2020) که با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی ندارد. این تفاوت می‌تواند به دلیل شرایط متفاوت کشت و اثرات احتمالی گندم بر باقلا در شرایط کشت مخلوط باشد. هم‌چنین یکی از عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد دانه باقلا در شرایط آبیاری جزئی ریشه را می‌توان به کاهش ارتفاع بوته نسبت داد (شکل ۱)، چرا که با توجه به همبستگی مثبت بین تعداد غلاف در بوته و ارتفاع بوته (۰/۹۴۵)، ارتفاع بوته از طریق تأثیر بر تعداد غلاف در بوته، بر تعداد دانه در بوته و در نهایت عملکرد دانه اثر می‌گذارد نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج بدست آمده در تحقیقات مطابقت داشت (Purcell *et al.*, 2002).

عملکرد دانه باقلا در شرایط استفاده از کود شیمیایی بیشتر از کودهای دامی و کمپوست بود (جدول ۵). این در حالی است که میزان عناصر غذایی کودهای دامی و کمپوست نسبت به کود شیمیایی بیشتر بود (جدول ۲). بر این اساس به نظر می‌رسد همه عناصر غذایی که در کودهای دامی و کمپوست وجود دارد در همان اولین سال استفاده آزاد نشده و در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد. در این مورد نتیجه گرفته شده است که به حداقل سه سال برای اینکه همه عناصر غذایی کودهای دامی و کمپوست آزاد و در اختیار گیاه قرار بگیرد، نیاز هست (Varavi Poor, 2010). در گیاه کنجد نیز مشاهده شد که در شرایط تنش خشکی ناشی از افزایش فاصله

نتیجه‌گیری کلی

بودن آزاد شدن عناصر غذایی آن‌ها نمی‌تواند برای کاهش اثرات تنش خشکی ناشی از آبیاری جزئی ریشه جایگزین کود شیمیایی شود. تحقیقات تکمیلی چندساله برای بررسی کامل برآیند نهایی استفاده از کودهای دامی و کمپوست در شرایط آبیاری جزئی ریشه پیشنهاد می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر این موضوع را که اعمال آبیاری جزئی سیستم ریشه‌ای می‌تواند ضمن حفظ عملکرد دانه، با کاهش مصرف آب به بهبود بهره‌وری آب کمک کند را مورد تأیید قرار دارد. همچنین استفاده از کودهای دامی و کمپوست به دلیل کند

References

- Abdellatif, K.F., El-Absawy, E.A. and Zakaria, A.M.** 2012. Drought stress tolerance of faba bean as studied by morphological traits and seed storage protein pattern. *Journal of Plant Studies*, 1: 1-12.
- Adu, M.O., Yawson, D.O., Armah, F.A. and Asare, P.A.** 2018. Meta-analysis of crop yields of full, deficit and partial root zone drying irrigation. *Agricultural Water Management*, 197: 79-90.
- Ammar, M.H., Anwar, F., El-Harty, E.H., Migdadi, H.M., Abdel-Khalik, S.M., Al-Faifi, S.A., Farooq, M. and Alghamdi, S.S.** 2015. Physiological and yield responses of faba bean to drought stress in managed and open field environments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201: 280-287.
- Belachew, K., Nagel, K.A., Poorter, H. and Stoddard, F.L.** 2019. Association of shoot and root responses to water deficit in young faba bean plants. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1-10.
- Du, T.S., Kang, S.Z., Zhang, J.H. and Li, F.S.** 2006. Yield and physiological responses of cotton to partial root-zone irrigation in the oasis field of northwest china. *Agricultural Water Management*, 84: 41-52.
- Eskandari, H. and Alizadeh-Amraie, A.** 2018. Effect of planting pattern and alternate furrow irrigation on productivity of water and land under wheat intercropping. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(2): 179-187. (In Persian).
- Eskandari, H. and Kazemi, K.** 2016. The ecological role and importance of faba bean in agronomical systems. Proceedings of the 3th national conference on new findings in environmental and agricultural ecosystems. Tehran, Iran, Pp. 1-6. (In Persian).
- Eskandari, H. and Kazemi, K.** 2019. Evaluation of irrigation levels and soil fertility management on seed and oil yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1): 111-122. (In Persian).
- Eskandari, H. and Kazemi, K.** 2020. Response of grain yield and water use efficiency of wheat and faba bean to partial root-zone irrigation in intercropping. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(3): 777-792. (In Persian).
- Fu, F., Li, F. and Kang, S.** 2017. Alternate partial root-zone drip irrigation improves water and nitrogen use efficiencies of sweet waxy maize with nitrogen fertigation. *Scientific Reports*, 7: 1-10.
- Gholinezhad, E., Ayeneband, A., Hassanzadeh Ghourt tapeh, A., Noormohammadi, G. and Bernousi, I.** 2010. Effect of irrigation regime on water and nitrogen use efficiency in sunflower at various levels of n-application and plant density under Urmia climate conditions. *Journal of Soil and Water Science*, 1(20): 27-45. (In Persian).
- Goldani, M. and Fazeli Kakhki, F.** 2014. Evaluation of effect of chemical and organic fertilizers on growth characteristics, yield and yield components of three sesame ecotypes (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1): 127-136. (In Persian).
- Kasa, R. and Rouphael, Y.** 2014. Effects of partial root zone drying irrigation on yield fruit quality and water use efficiency in processing tomato. *Horticultural Science & Biotechnology*, 89: 389-396.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., Lahmer, F.Z., Maalouf, F. and Oweis, F.** 2011. Faba bean productivity in saline-drought conditions. *European Journal of Agronomy*, 35: 2-12.

- Mousavim, S.F., Soltani-Gerdefaramarzi, S. and Mostafazadeh-Fard, B.** 2010. Effects of partial root-zone drying on yield, yield components and irrigation water use efficiency of canola. *Paddy and Water Environment*, 8: 157-163.
- Purcell, L.C., Rosalind, A.B., Reaper, D.J. and Vories, E.D.** 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science*, 42: 172-177.
- Rezaei-chiyaneh, R., Rahimi, A., SHaigh, F. and Mohaigi, M.** 2017. Responses of some agronomical characteristics of faba bean (*Vicia Faba L.*) to biofertilizers under water deficit stress. *Journal of Crop Production*, 10(4): 107-120. (In Persian).
- Varavi Poor, M.** 2010. General Soil Science, Payam Noor University Press. (In Persian).
- Yang, C., Huang, G., Chai, Q. and Luo, Z.** 2011. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. *Field Crops Research*, 124: 426-432.

Effect of partial root zone irrigation and fertilizing management on grain yield and water productivity of faba bean

Kamyar Kazemi^{1*}, Seyed Nader Mosavian¹

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

*Corresponding Author: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir

Received: 21 October 2021

Accepted: 14 March 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.310804.1148

Abstract

Introduction: Water is essential for the production of biomass and grain by plants. In recent years, deficit irrigation induced by partial root zone irrigation has been one of the methods used to increase water productivity in agronomic systems. In this method, only a portion of the root system is irrigated and is exposed to semi-moistened and semi-dried conditions. In sustainable agriculture, on the other hand, efforts are made to reduce the use of chemical fertilizers due to their negative impact on agronomic systems, such as reducing water and plant root penetration into soil and causing soil degradation. However, plants should be supplied with nutrients through other means, such as manure and compost. In order to reduce water consumption in agricultural systems, low-intensity irrigation has always been regarded as an essential management strategy. Due to the fact that, in the majority of the country, a decrease in precipitation occurs during the reproductive growth period of crops, resulting in a limitation of grain filling, research on limited irrigation techniques that can optimally reduce water consumption in agricultural systems is a top priority.

Materials and Methods: The research was carried out in Shadegan, Khuzestan during 2018-19. A two-factor factorial experiment based on randomized complete block design and three replications were employed to compare the treatments. The first factor was the irrigation regime applied after seedling establishment. The two irrigation treatments were total root zone irrigation (I1) and partial root zone irrigation (I2). In complete irrigation, furrows were completely irrigated. In the partial root zone irrigation method, alternate furrow irrigation was used. The control (no fertilizer), chemical fertilizer, animal manure (cow manure), and compost comprised the second factor. Urea (100 kg ha⁻¹), triple super phosphate (100 kg ha⁻¹) and potassium sulfate (100 kg ha⁻¹) were used as chemical fertilizers (50 kg ha⁻¹). Before planting, the entire amount of compost (30 t ha⁻¹) and cow manure (30 t ha⁻¹) was applied. Each plot's incoming water volume was measured.

Results and Discussion: The interaction between irrigation and fertilizer had a significant effect on grain number per plant, biological yield, and water productivity ($P \leq 0.01$) and grain yield ($P \leq 0.05$). With the application of chemical fertilizer and thorough irrigation, the highest grain yield (3051 kg ha⁻¹) was achieved. Grain yield of faba bean under partial root zone irrigation and chemical fertilizer was 9.2% more than that of complete irrigation and control (no fertilizer) treatment. The application of fertilizer increased the grain yield of faba bean under partial root zone irrigation (in chemical fertilizer, animal manure and compost was 42%, 40% and 31% more than that of control (no fertilizer), respectively). However, only when chemical fertilizer was used was the grain yield of faba bean greater under partial root zone irrigation than under full irrigation and no fertilization. Other fertilizer treatments were unable to compensate for deficit irrigation's negative effects on faba bean grain yield. The highest (1.73) and lowest (0.83) of water productivity (kg grain m⁻³) were achieved with the application of chemical fertilizer under partial root zone irrigation and no fertilizer application under full irrigation regime, respectively. Compost did not improve water productivity under full irrigation. However, under partial root zone irrigation, compost resulted in higher water productivity compared with all fertilizer treatments under full irrigation. The highest water productivity under partial root zone irrigation (1.73) was more than 40% more than the

highest water productivity under full irrigation (1.037).

Conclusion: The results of the present research confirm that partial root zone irrigation can help improve water productivity by reducing water consumption while maintaining grain yield. Furthermore, animal manure and compost cannot be used as a replacement of chemical fertilizers because slow release of nutrients.

Keywords: Animal manure, Compost, Deficit irrigation, Grain yield, Water use

Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 4, No. 1, Spring & Summer 2022

Publisher: University of Zabol

Editor-in-Chief: Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Managing Editor: Dr. Esmael Seyedabadi, Assistant 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. 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, Associate 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. Esmael Seyedabadi, Abbas Nasiri Dehsorkhi

Typesetting: Maryam Alsharif

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.cropscience.uoz.ac.ir

| | |
|--|------------|
| The influence of graft type and age on juvenile period of medicinal plant Barijeh in the North Khorasan landrace | 173 |
| Gholamali Valizadeh, Reza Baradaran, Seyyed Gholamreza Mousavi, Fatemeh Nakhaei | |
| Studying genetic variation in recombinant inbred lines of oriental tobacco based on chemical traits | 183 |
| Parviz Goudarzi Mokri, Reza Darvishzadeh, Bahram Maleki Zanjani, Marjan Jannatdoust | |
| Evaluation of genetic diversity of spring barley genotypes with respect to some phenological and morphological traits | 197 |
| Ramin Modarresi, Alireza Pourmohammad, Behzad Sadeghzadeh | |
| Carbon sequestration and global warming potential of irrigated and rainfed wheat fields in semi-arid regions (Case study: Shirvan) | 213 |
| Mahdi Babaeian, Esmaeel Shirghani, Mostafa Jafarian | |
| Effect of biochar and salicylic acid on physiological traits and yield of echinacea (<i>Echinacea purpurea</i> L.) under non-stress and drought stress conditions | 229 |
| Tahereh Emami | |
| Agrophysiological response of different cultivars of <i>Chenopodium quinoa</i> Willd to hydropriming under drought stress conditions | 245 |
| Fathollah Nadali, Hamid Reza Asghari, Hamid Abbasdokht, Vajihe Dorostkar, Mahmoud Bagheri | |
| Grain yield potential of wheat genotypes on farmers' fields under rainfed conditions | 263 |
| Mahnaz Rahmati, Ali Ahmadi, Ali Minapoor, Kiyanoush Hamidiyan | |
| Effect of partial root zone irrigation and fertilizing management on grain yield and water productivity of faba bean | 277 |
| Kamyar Kazemi, Seyed Nader Mosavian | |



- The influence of foliar application of cytokinin on wheat cultivars' physiological traits and yield** 1
Mahdie Sadat Hosseini, Hadi Salek Mearaji, Afshin Tavakoli, Reza fotovat
- Effect of various nutrient systems on yield and yield components of cotton under conventional and ultra-row spacing conditions** 19
Amrollah Shams, Mohammad Armin, Matin jamimoeini
- Growth analysis of pumpkin (*Cucurbita pepo* convar. *Pepo* var. *Styriaca*) using measured parameters under various irrigation and plastic mulch treatments** 33
Siavash Bardehji, Mohammad Banayan, Sara Zare, Mehrdad Mahlooji, Abbas Nasiri Dehsorkhi
- Evaluation and analysis of water productivity indices for various crops using traditional and modern irrigation systems (case study: Tajan plain of Mazandaran)** 49
Marzieh Bagheri Khaneghahi, SeyedHassan Mirhashemi, Mehdi Panahi
- Study the photosynthesis role of leaf and inflorescence in safflower yield and oil content under water deficit stress** 61
Saeid Hazrati, Nader Salehnia, Amir Reza Sadeghi Bakhtvari, Hadi Asadpour, Bahman Pasban Eslam
- Effect of chemical fertilizers and vermicompost on the field soil properties and nutrient concentrations of quinoa seed (Red cultivar) in Sistan region** 77
Afsaneh SoltanZadeh, Ahmad Ghanbari, Esmaeel Seyedabadi
- Ication of bread and durum wheat varieties suitable for planting in Orzuiyeh region of Kerman province** 87
Mohammad Ali Javaheri
- Agro-ecological zoning of isabgol in Sistan region using Boolean models and hierarchical analysis processing approach** 97
Mohammad Reza Asgharipour, Zahra Marzban
- The effect of various irrigation methods on physiology and biochemical traits of milk thistle (*Silybum marianum*)** 113
Mostafa Sarani, Maryam Allahdou, Leila Mehravaran, Halime Piri
- Yield response of bean genotypes to irrigation stress and nitrogen fertilizer levels** 129
Mohsen Karimi Azar, Naser Majnoun Hosseini, Mohammadreza Bihamta
- Yield and yield components, chemical composition and digestibility of Jerusalem artichoke aerial part at various growth stages** 141
Leila Taherabadi, Farokh Kafilzadeh
- Effects of application of salicylic acid under the drought stress on morphophysiological and biochemical traits of two varieties of mung bean (*Vigna radiata* L.) in Sistan** 153
Masoud Barjas, Leila Mehravaran, Maryam Allahdou, Salehe Ganjali

The list is continued on the back cover.....