



تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک



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

جلد ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

- ۱ ارزیابی ویژگی‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد علوفه‌ای کاکتوس اپونتیا (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) تحت تأثیر اوره و سوپرفسفات تریپل در شرایط کم آبیاری
حامد حسن زاده؛ محمد رضا صالحی سلمی؛ محمدحسین دانشور؛ پیام پورمحمدی
- ۱۷ شناسایی عوامل کاهنده عملکرد گندم به روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) مطالعه موردی: مزارع شهرستان (ابرکوه)
امین آناقلی؛ مجید نیکخواه؛ زهره امیدواری
- ۳۳ بررسی اثر تنش کم آبیاری بر ترکیبات تشکیل دهنده اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی برازمبل (*S. abrotanoides*)
مهوش افشاری؛ مهدی رحیم ملک؛ محمدرضا سبزه‌علیان
- ۵۱ بررسی برخی از صفات مورفولوژیکی و عملکرد دانه سویا تحت تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه زهره بهروشن؛ حسین زاهدی؛ اکبر علیپور؛ یونس شرقی؛ آریتا زند
- ۶۹ بررسی الگوی پراکنش گیاه دارویی تشنه‌داری (*Scophularia striata* Boiss) و تنوع گونه‌ای در ارتفاعات مختلف منطقه سیاه کوه دهلران
فاطمه بیدرنامنی؛ زینب محکمی؛ بهمن فاضلی نسب؛ محمدعلی کریمیان
- ۸۵ ارزیابی عملکرد دانه آفتابگردان و ویژگی‌های خاک تحت تأثیر کودهای شیمیایی و دامی و روش‌های مختلف خاک‌ورزی سیاوش آریافر؛ علیرضا سیروس مهر؛ عیسی خمیری؛ سید احمد قنبری؛ اسماعیل سیدآبادی
- ۱۰۷ برآورد مساحت اراضی کشاورزی سوخته شده با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی، شهرستان سرپل ذهاب)
سهیلا اسدی؛ علیرضا باقری؛ آرش آذری
- ۱۲۱ ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های فالاریس (*Phalaris aquatica*) بر اساس صفات زراعی
محمد حسین جعفرپور؛ علیرضا پورمحمد؛ رضا محمدی
- ۱۳۵ تجزیه ژنتیکی برخی ویژگی‌های زراعی گلرنگ با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها تحت تنش خشکی
سیده عصمت هاشمی فدکی؛ نفیسه مهدیه نژاد؛ قاسم محمدی نژاد؛ فاطمه ابراهیمی؛ براتعلی فاخری
- ۱۴۹ تأثیر محلول‌پاشی اکسید روی نانو و غیر نانو بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد علوفه سورگوم در شرایط تنش کم آبیاری
معصومه خالق دوست؛ حسن مکاریان؛ حمید عباس دخت؛ مهدی برادران فیروزآبادی
- ۱۶۹ اثر میکوریزا، ورمی کمپوست و میکروارگانیزم‌های موثر بر کارایی مصرف عناصر و عملکرد کنگد
ملیحه سعیدی؛ غلامرضا خواجویی نژاد؛ عنایت الله توحیدی نژاد؛ جلال قنبری

ادامه فهرست در پشت جلد



۱۸۷

بررسی تنوع صفات ریختی برگ و میوه در ژنوتیپ‌های کنار جنوب ایران

ناصر میرزایی؛ لیلا فهمیده؛ بهمن فاضلی نسب

۲۰۳

ارزیابی پایداری دو نظام تولید پسته تحت آبیاری بارانی و غرقابی با استفاده از روش تحلیل امرژی در استان قم

شهرام ریاحی نیا؛ محمدرضا اصغری پور

۲۲۹

اثر کاربرد آبسیزیک اسید بر بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط کم آبیاری

سکینه درینی؛ سید مهدی ناصرعلوی؛ جلال قنبری

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

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

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه زابل

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

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

هیأت تحریریه:

دکتر سیدجلال طباطبائی، استاد گروه باغبانی، دانشگاه شاهد

دکتر ناصر مجنون حسینی، استاد گروه زراعت، دانشگاه تهران

دکتر محمدرضا شکیبا، استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز

دکتر سیدمحسن موسوی نیک، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

دکتر محمد صدقی، استاد گروه زراعت، دانشگاه اردبیل

دکتر خسرو عزیزی، استاد گروه زراعت، دانشگاه لرستان

دکتر عبدالعلی غفاری، دانشیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

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

دکتر بهنام کامکار، استاد گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد

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

دکتر محمود مرودی، استاد گروه زراعت دانشگاه زابل

دکتر مهدی دهمرده، دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل

هیأت مشاوران بین المللی:

دکتر آریا دولت آبادیان، دانشگاه وسترن استرالیا، استرالیا

دکتر هاوارد چارلزلی، دانشگاه کالج هادلو، انگلستان

دکتر آمیت کساروانی، دانشگاه پانتناگار، هندوستان

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

دکتر مراد تورج تورک، دانشگاه وان یوزونجی ییل، ترکیه

ویراستاران: دکتر اسماعیل سیدآبادی، دکتر عباس نصیری ده سرخی

صفحه آرا: فاطمه فتحی

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

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

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

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

چه مقالاتی را می‌توان ارسال نمود؟

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

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

دستورالعمل و راهنمای تهیه مقاله

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

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

مشخصات مقاله و نویسندگان

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

مقاله به طور کلی باید شامل بخش‌های زیر باشد:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

تعهدنامه

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

نکات مهم دیگر

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

ارزیابی ویژگی‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد علوفه‌ای کاکتوس اپونتیا (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) تحت تأثیر اوره و سوپرفسفات تریپل در شرایط کم آبیاری

حامد حسن‌زاده^۱، محمدرضا صالحی سلمی^{۲*}، محمدحسین دانشور^۲، پیام پورمحمدی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

۳- گروه مهندسی ژنتیک و تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران

* مسئول مکاتبه: salehi@asnrukh.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.348621.1250

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر بر ویژگی‌های مورفولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد علوفه‌ای کاکتوس اپونتیا تحت کم آبیاری و شرایط آب و هوایی خوزستان، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار (کرت) انجام شد. در این پژوهش اثر سطوح کود فسفر (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپر فسفات، به عنوان فاکتور اصلی، و کود نیتروژن در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت کود اوره، به عنوان فاکتور فرعی، بر کاکتوس اپونتیا تحت کم آبیاری شدید (یک مرتبه در بهار و پاییز، سه مرتبه در تابستان و بدون آبیاری در زمستان) مطالعه شد. نتایج نشان داد که افزایش سطح نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به همراه سطح فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار، سبب افزایش ارتفاع، وزن تر، تعداد پد، میزان نیتروژن و فسفر، پروتئین کل، میزان اسیدهای آمینه و کلروفیل شد. افزایش کوددهی نیتروژن به تنهایی نیز سبب افزایش موسیلاژ و فیبر گردید، اما میزان کربوهیدرات کل گیاه تحت تأثیر این دو کود قرار نگرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان موسیلاژ (۰/۷۷ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک) مربوط به تیمار نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم بود. به طور کلی، این گونه به نظر می‌رسد افزایش میزان نیتروژن تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم به همراه سطح فسفر ۵۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ۲۳ درصدی عملکرد زیست‌توده نسبت به شاهد در کاکتوس اپونتیا در استان خوزستان گردد و از افزایش میزان کود نیتروژن نسبت به فسفر در خاک، نتایج مثبت‌تری به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پد، پروتئین، خشکی، فیبر، کربوهیدرات

مقدمه

چندساله و بدون برگ است که از روی هم قرار گرفتن ساقه‌های برگ مانند به نام پد تشکیل شده است (Gouws *et al.*, 2020). این گونه‌ی اپونتیا می‌تواند به عنوان علوفه زراعی برای کشاورزان محسوب شود. در برخی از کشورهای دنیا مانند آمریکا و آرژانتین برای بهره‌وری بالا در شرایط نامطلوب، از گونه‌های جنس اپونتیا به عنوان علوفه در دامداری‌ها استفاده می‌شود (Guevara *et al.*, 2000). با وجود اینکه پروتئین کمی در آن‌ها تجمع یافته است، ولی علوفه این گیاهان دارای کربوهیدرات، آب و مواد معدنی می‌باشد (Aguero *et al.*, 2006). پیشنهاد شد به دلیل اینکه اپونتیا از نظر کربوهیدرات‌های محلول و کلسیم، غنی و از نظر فسفر، فقیر است، دام‌ها قبل از استفاده از اپونتیا، با مواد غذایی دارای فسفر مانند کاه و علوفه تغذیه شوند (Williams, 2012). در بررسی دیگری مشخص شد یک راس گاو به وزن ۴۰۰ کیلوگرم، در صورت مصرف ۴۵

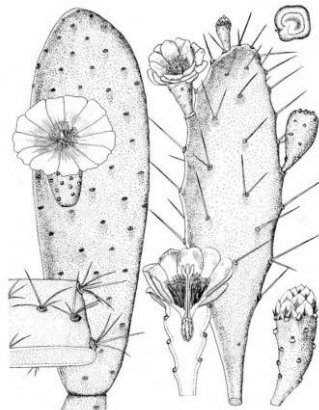
یکی از راهکارهای مقابله با کمبود آب در کشاورزی، استفاده از گیاهانی است که ضمن عملکرد مناسب، توانایی مقابله با شرایط خشکی را دارند (Baligar *et al.*, 2001). گیاه کاکتوس دارای ویژگی‌های بارزی است که آن را جهت کشت و کار در شرایط کم‌آبی مناسب می‌سازد. راندمان مصرف آب در کاکتوس‌ها تا ۵ برابر گیاهانی مانند گندم و جو و تا ۳ برابر گیاهانی مانند ذرت و سورگوم می‌باشد، بنابراین در شرایط خشک و محدودیت آبی، گیاهی ایده‌آل و منحصربه‌فرد است (Taiz and Zeiger, 2006).

سیر تکاملی گونه‌ای از اپونتیا با نام علمی *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller، متعلق به خانواده کاکتوس، در مناطق خشک باعث تنوع زیاد مورفولوژیک، آناتومیک و فیزیولوژیک آن گردیده است (شکل ۱). گونه *ficus-indica* دارای بوته‌های

(Bayatani *et al.*, 2019). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نیتروژن نخستین عنصری است که کمبود آن مطرح می‌باشد، زیرا در این مناطق میزان مواد آلی خاک که عمده‌ترین منبع نیتروژن هستند، به دلایل مختلف از جمله بارندگی کم، تناوب زراعی نامناسب، پوشش گیاهی ناچیز و عدم مصرف کودهای حیوانی و کود سبز کم است (Pourazizi and Fallah, 2013).

کیلوگرم کاکتوس، انرژی مصرفی روزانه خود را تأمین می‌کند، با این وجود به علت آبدار بودن کاکتوس حداکثر تا ۴۰ کیلوگرم آن را می‌تواند مصرف کند (Aruwa *et al.*, 2018).

یکی از راه‌های افزایش ارزش غذایی علوفه‌ها تأمین عناصر موردنیاز برای رشد گیاه است که حفظ حاصلخیزی خاک و پیشگیری از تخریب آن در دراز مدت را نیز ممکن می‌سازد



شکل ۱- تصویر گیاه‌شناسی اپونتیا *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller
Figure 1- Botanical illustration of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller

کیلوگرم در هکتار فسفر توصیه می‌شود (Zegbe *et al.*, 2014).

با توجه به مشکل کمبود آب در جنوب ایران، کشت گیاهان علوفه‌ای با نیاز آبی کم، مانند اپونتیا، در این مناطق پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین گیاه اپونتیا در مناطق جنوبی از گذشته به‌صورت باغچه‌ای و گلدانی کشت می‌شود، ولی تاکنون تحقیق مستندی در ارتباط با کشت و کار وسیع این گیاه به‌صورت مزرعه‌ای گزارش نشده است. از سوی دیگر در خاک‌های جنوبی کشور، سطوح نیتروژن و فسفر پایین است، اغلب گیاهان دچار نشانه‌های کمبود این عناصر هستند و از این‌رو عملکرد مطلوب بدون مصرف این دو عنصر به‌دست نمی‌آید. بنابراین هدف از این پژوهش تأثیر سطوح مختلف کودی نیتروژنه و فسفره بر عملکرد و کیفیت علوفه گیاه اپونتیا با آبیاری حداقلی و در شرایط آب و هوایی خوزستان است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سطوح کودی نیتروژنه و فسفره بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، مورفولوژیک، عملکرد علوفه کاکتوس

در پژوهشی مشاهده شد نیتروژن باعث افزایش عملکرد ماده خشک گیاه اپونتیا شد، هم‌چنین نیتروژن باعث افزایش غلظت نیتروژن بوته و کارایی مصرف آب گردید (Dubeux *et al.*, 2006). مشخص شده است گیاه اپونتیا در صورت وجود رطوبت کافی واکنش بسیار خوبی به افزایش کود نشان می‌دهد. افزایش کود در افزایش تعداد و وزن لندام برگ مانند و هم‌چنین کیفیت آن‌ها اثر مثبت دارد. برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و کود دامی در شرایط مطلوب ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد میزان محصول را افزایش می‌دهند (Ochoa *et al.*, 2002). فسفر یکی از عناصر غذایی می‌باشد که برای دستیابی به عملکرد مطلوب باید به مقدار کافی مهیا باشد. این عنصر در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی و سازوکارهای انتقال دخالت دارد. افزون بر این، فسفر جزئی از پروتئین یاخته بوده و به‌عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشای یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیکی نقش ویژه‌ای دارد. هم‌چنین فسفر برای توسعه ریشه ضروری می‌باشد (Khalili *et al.*, 2019). در تحقیقی پس از آنالیز مواد معدنی برگ و خاک اپونتیا، گزارش دادند برای رشد این گیاه ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۳۰

طول ۳ متر تهیه و فاصله گیاهان از یکدیگر ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. تیمارهای موردنظر شامل کود فسفر، به‌عنوان فاکتور اصلی، در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت مخلوط با خاک و پیش از کشت گیاهان و کود نیتروژن، به‌عنوان فاکتور فرعی، در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره همراه با آبیاری اعمال شد. دوره‌های آبیاری بسته به فصل، در پاییز یک مرتبه (۱۵ آبان)، زمستان بدون آبیاری، بهار یک مرتبه (۱۵ اردیبهشت) و تابستان سه مرتبه (۱۵ تیر، ۱۵ مرداد و ۱۵ شهریور) به میزان ظرفیت زراعی خاک انجام شد. لازم به ذکر است از هیچ‌گونه آفت‌کش و علف‌کشی برای مبارزه با آفات و علف‌های هرز استفاده نشد.

اپونتیا پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهر ملاتانی (در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون) به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار (کرت) انجام شد. پیش از شروع عملیات، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری و از لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). هم‌چنین ویژگی‌های آب و هوایی این منطقه در جدول ۲ آورده شده است. به‌منظور داشتن گیاهانی یکسان، قلمه‌های هم‌اندازه از گیاه اپونتیا تهیه و در گلدان و در محیط گلخانه به مدت یکسال پرورش یافتند. سپس در مهرماه ۱۳۹۴ قلمه‌های ریشه‌دار شده به طول ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در کرت‌ها کاشته شد. در این آزمایش کرت‌ها با عرض ۲ متر و

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک مورد استفاده

Table 1- Some characteristics of the soil used

نسبت جذب سدیم SAR	هدایت الکتریکی Ec (dS/m)	اسیدیته pH	پتاسیم قابل جذب Potassium (mg/kg)	فسفر قابل جذب Phosphorus (mg/kg)	نیتروژن Nitrogen (%)	بافت خاک Soil Texture
4.1	2.8	7.6	248	5.2	0.1	سیلتی رسی Clay-Silt

جدول ۲- وضعیت آب و هوایی محل آزمایش (شهر ملاتانی) از مهرماه ۱۳۹۵ تا شهریورماه ۱۳۹۶

Table 2- Climate status of Malasani city from September 2016 to August 2017

2017		2016										
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October	September	
35.9	39.9	41	39.4	35.7	28.8	20.9	13.9	13.4	14.3	20	29.1	میانگین دمای Mean Tem. (°C)
21	25.6	20	20.4	19	11.4	8	1	1.6	1	4	13.4	کمینه دمای Min Tem. (°C)
43	47.8	49.6	54.3	48	41.4	32	27.9	25.6	27.5	34.4	41.8	بیشینه دمای Max Tem. (°C)
0	0	0	0	0	0.3	38.3	12.3	1.2	48.8	0	0	مجموع بارش Total rain (mm)

- ارتفاع شاخساره: با استفاده از خط‌کش از سطح خاک تا بالاترین ارتفاع هر گیاه اندازه‌گیری شد.

پس از گذشت دو سال از کاشت گیاهان در مزرعه، مهرماه ۱۳۹۶، اندازه‌گیری ویژگی‌های زیر انجام شد:

شد، سپس به نمونه ۵ میلی‌لیتر اسید کلریک ۲/۵ نرمال افزوده و در حمام آب جوش نگه‌داشته شد تا هیدرولیز شود. سپس در لوله کربنات سدیم جامد خنثی ریخته تا عمل جوشیدن متوقف شود. سپس حجم محلول با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و سانتی‌فیوژ شد. به هر لوله ۱ میلی‌لیتر محلول فنول اضافه شد و سپس به هر لوله ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۶٪ اضافه شد و در حمام آب ۳۰ درجه سانتی‌گراد ۲۰ دقیقه قرار گرفت. در آخر محلول در طول موج ۴۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و با استفاده از نمودار استاندارد مقدار کربوهیدرات‌های کل موجود محاسبه گردید (Dubois et al., 1962).

- درصد موسیلاژ پد: ابتدا نمونه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد یک هفته گذاشته و سپس آسیاب شد. برای حذف چربی از نمونه، مخلوطی از ۵۰ گرم نمونه و ۲۰۰ میلی‌لیتر هگزان به مدت یک ساعت روی دستگاه شیکر تکان داده شد. مخلوط با کاغذ صافی صاف شد و مواد روی صافی در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت خشک گردید. سپس نمونه به نسبت ۵٪ با آب دیونیزه مخلوط شد و به مدت ۲ ساعت در حمام آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. این مخلوط سانتی‌فیوژ شد. در ادامه برای حذف پروتئین به محلول جداشده، تری کلرواستیک اسید افزوده شد و نمونه سانتی‌فیوژ گردید. محلول جداشده با حجم ۲ برابر الکل اتیلیک ۹۶٪ مخلوط گردید و صمغ به‌صورت رسوب از فاز مایع جدا شد و رسوب حاصله در آن دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد تا موسیلاژ به‌دست آید (Xi et al., 2010).

- درصد فیبر: ابتدا ۲ گرم از نمونه پودر شده با اتر عصاره گیری شد. سپس نمونه خشک‌شده با ۲۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و از طریق کاغذ صافی صاف گردید و با آب جوشان تا عاری شدن از اسید شستشو گردید. رسوب با ۲۰۰ میلی‌لیتر سود به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و از طریق کاغذ صافی دوباره صاف گردید و با ۲۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک در حال جوشیدن، ۳ نوبت با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و در پایان با ۲۵ میلی‌لیتر الکل شسته شد، سپس رسوب برداشته و به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و در دسیکاتور گذاشته شد تا خنک شود و وزن آن محاسبه گردید و در آخر نمونه در کوره الکتریکی در

- تعداد پد: به‌صورت شمارش دستی صورت گرفت.

- وزن تر: پس از بریدن قسمت هوایی بوته‌ها وزن تر با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد.

- میزان فسفر پد: برای اندازه‌گیری این عنصر از روش اولسن (Olsen et al., 1954) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. به این صورت که ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده با ۱۰ میلی‌لیتر نیترات آمونیم ۱ نرمال و ۲ میلی‌لیتر کلروقلع ۲ نرمال مخلوط و در نهایت با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۰ نانومتر قرائت گردید. پس از تهیه منحنی استاندارد، غلظت نهایی فسفر موجود در بافت پد پس از قرارگیری عدد قرائت شده در معادله خط، محاسبه گردید.

- میزان نیتروژن پد: ۰/۱ گرم نمونه از پد آسیاب و در لوله‌های مخصوص آزمایش قرار داده شد. سپس مقدار ۳/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ به همراه یک گرم کاتالیزور، شامل سولفات پتاسیم و سولفات مس و سلنیوم، به لوله‌ها اضافه شد. سپس با استفاده از هیتر برقی به مدت ۲ ساعت دمای آن به تدریج به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده تا عملیات هضم انجام شود. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق قرار گرفته تا خنک شدند و به‌وسیله‌ی دستگاه کج‌دال میزان نیتروژن نمونه محاسبه شد (Kjeldahl, 1883).

- میزان پروتئین خام پد: ۲۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده بوسیله ۸۰ میکرولیتر بافر استخراج رقیق گردید و ۵ میلی‌لیتر معرف کوماسی بلو به آن اضافه و ورتکس شد. پس از گذشت ۵ دقیقه میزان جذب نوری آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید. سپس غلظت پروتئین در نمونه با توجه به جذب نمونه با استفاده از منحنی استاندارد به دست آمد (Bradford, 1976).

- میزان اسیدآمینه کل: اندازه‌گیری اسیدآمینه کل با استفاده از محلول ناین هیدرین و بررسی جذب در طول موج ۵۷۵ نانومتر انجام شد. جهت تهیه استاندارد اسیدهای آمینه کل از گلايسين استفاده شد (Ravindranath, 1981).

- میزان کربوهیدرات محلول کل پد: مقدار کربوهیدرات‌های محلول کل با استفاده از روش فنول-اسیدسولفوریک اندازه‌گیری شد. ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه درون لوله شیشه‌ای ریخته

ارتفاع بوته با افزایش کود نیتروژن، توسعه و رشد سلولی است که باعث افزایش حجم، توانایی جذب مواد بیشتر و فتوسنتز بیشتر می‌شود (Kelling *et al.*, 2017).

تعداد پد: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده نیتروژن و اثر ساده فسفر در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۵٪ بر تعداد پد کاکتوس اپونتیا معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر تعداد پد نشان داد که بیش‌ترین تعداد پد (۴ عدد برای هر بوته) در سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده است، ولی اختلاف معنی‌داری بین تعداد پد گیاهان تیمار شده با سطوح نیتروژن ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده نشد. کم‌ترین تعداد پد (۱/۸۵ پد برای هر بوته) در شاهد (بدون استفاده از کود) مشاهده گردید، با این وجود با تیمارهای که در آن‌ها کود نیتروژن استفاده نشد (صرف‌نظر از مقدار فسفر) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). هم‌چنین از نتایج می‌توان این‌گونه برداشت کرد که استفاده همزمان فسفر با نیتروژن اثر افزایشی در تعداد پد دارد. فراهمی نیتروژن در افزایش اندازه و تعداد برگ مؤثر است و فراهمی اندک نیتروژن بدین معنی است که گیاه نمی‌تواند به پتانسیل تولید برگ خود دست پیدا کند. مصرف کافی کودهای نیتروژن در ابتدای دوره رشد رویشی گیاه سبب گسترش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده می‌گردد (Engels *et al.*, 2012). با افزایش ارتفاع، جوانه‌های جانبی جدید در بالای پوشش گیاهی تشکیل می‌شود. این ویژگی، کارآمدترین پدها را در بهترین موقعیت از نظر فتوسنتز قرار داده و در نهایت افزایش ارتفاع بوته را موجب خواهد شد. گیاهان که با محدودیت نیتروژن مواجه هستند، معمولاً دارای ارتفاع کوتاه، شاخ و برگ‌ها زرد رنگ و نازک بوده و پوشش گیاهی ضعیف است که در نتیجه عملکرد به‌شدت کم می‌شود (Diepen Brock, 2000). هم‌چنین نتایج این آزمایش با نتایج تحقیق مشابه روی گیاه اپونتیا همسو بود (Amador *et al.*, 2005). ایشان بیان داشتند که صفاتی از جمله تعداد پد و طول و عرض پد در کاکتوس اپونتیا تحت تأثیر تیمارهای از منابع و غلظت‌های کودهای تجاری (اوره، سوپرفسفات تریپل) قرار گرفت.

وزن تر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده

دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس در دسیکاتور خنک شده و دوباره وزن شد (Maynard, 1970).

- کلروفیل کل: ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه پد با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ درون لوله آزمایش در بسته قرار داده شدند. سپس ظروف به مدت ۷۲ ساعت در شرایط تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا کلروفیل بافت خارج شده و نمونه کاملاً بی‌رنگ گردد. پس از آن اندازه‌گیری جذب محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۷۰ و ۶۴۵ نانومتر قرائت گردید (Lichtenthaler and Wellburn, 1985).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۵٪ و اثر متقابل نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۱٪ بر ارتفاع کاکتوس اپونتیا معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۲۲/۰۴ سانتی‌متر) به دست آمد، با این وجود با تمامی تیمارهای که مصرف فسفر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، صرف‌نظر از میزان مصرف نیتروژن، اختلاف معنی‌داری نبود. هم‌چنین کم‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار (۱۰/۷۱ سانتی‌متر) حاصل شد، ولی با تمامی تیمارهای که مصرف فسفر در آن‌ها صفر بود، صرف‌نظر از میزان مصرف نیتروژن، اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۴). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت و نقش نیتروژن در رشد طولی اپونتیا است. نتایج این آزمایش با یافته‌های به‌دست‌آمده روی اپونتیا در شرایط مزرعه‌ای و در کشور برزیل همسویی داشت. در این پژوهش بیان شد که با افزایش نیتروژن خاک، طول پد و در نتیجه ارتفاع افزایش یافت (Dubeux *et al.*, 2006). با افزایش نیتروژن در خاک، گیاه سعی به ذخیره‌سازی نیتروژن در بافت خود می‌کند و این فرآیند با قراردادی نیتروژن در زیست‌توده خود انجام می‌دهد. به‌نظر می‌رسد که دلیل افزایش

سبب رشد بیشتر ریشه می‌گردد و سبب می‌شود فسفر مؤثر خاک در اختیار گیاه قرار گیرد. گزارش‌های موجود در مورد ذرت علوفه‌ای گویای این مطلب است (Dale and Wilson, 2008).

میزان نیتروژن: اثرات ساده کود نیتروژن و کود فسفر بر میزان نیتروژن پد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، هم‌چنین اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر میزان نیتروژن گیاه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان نیتروژن پد در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۴/۲۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) و کم‌ترین میزان نیتروژن پد به میزان ۲/۱۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک در تیمار شاهد (بدون استفاده از کود) مشاهده شد. هم‌چنین مشاهده شد با افزایش سطوح فسفر، صرف‌نظر از سطوح نیتروژن، میزان نیتروژن پد افزایش یافت (جدول ۴). بیان شده است که با توجه به نقش نیتروژن در عملکرد محصولات، در آینده مطالعات بسیاری در مورد پویایی نیتروژن و نقش آن در روابط فیزیولوژیک گیاه اپونتیا انجام خواهد شد (Zegbe et al., 2014). گزارش شد که مقدار نیتروژن قابل‌دسترس بر توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی مؤثر است و مراحل فنولوژیک در اثر کمبود نیتروژن به تأخیر می‌افتد (Garsid, 2004). این امر می‌تواند به دلیل تأثیر زیاد نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آن باشد. نتایج این بررسی با نتایج به‌دست‌آمده روی سورگوم علوفه‌ای همسویی داشت (Beyaert and Roy, 2005). ایشان بیان کردند با افزایش سطح کوددهی نیتروژن، میزان نیتروژن اندام رویشی افزایش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش مصرف کود فسفر سبب افزایش میزان نیتروژن پد شد. نتایج این بررسی با نتایج حاصل از آزمایشی که نشان داد عنصر فسفر می‌تواند روی جذب سایر عناصر مانند پتاسیم، منیزیم، کلسیم و نیتروژن تأثیر گذاشته و در مواردی باعث تشدید جذب بعضی عناصر گردد، هم‌خوانی دارد (Khalili et al., 2019).

میزان پروتئین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده کود نیتروژن و اثر ساده کود فسفر بر میزان پروتئین پد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، هم‌چنین اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر میزان پروتئین در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد

نیتروژن و فسفر بر وزن تر کاکتوس اپونتیا معنی‌دار نشد، ولی اثر متقابل نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج اثر متقابل نیتروژن و فسفر نشان داد، تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان وزن تر (۴/۸۴ کیلوگرم) و تیمار ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به همراه صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار کم‌ترین وزن تر (۳/۶۷ کیلوگرم) را دارا بود (جدول ۴). هم‌چنین نتایج نشان داد با افزایش فسفر میزان وزن تر افزایش یافته است، اما با این حال تفاوت معنی‌داری میان تیمارها وجود نداشت. افزایش وزن تر با مصرف نیتروژن، می‌تواند به دلیل اثر نیتروژن بر گسترش پدها در مراحل اولیه و ادامه روند افزایش تدریجی برای مدت بیشتری باشد. مدت‌زمان گسترش سطح پد، به‌میزان نیتروژن گیاه بستگی دارد (Pourazizi and Fallah, 2013). مشخص شده است که نیتروژن با افزایش میزان هورمون جیبرلین در گیاه سبب تحریک رشد رویشی و افزایش طول ساقه می‌گردد. این اثر مثبت نیتروژن بر رشد رویشی روی گیاهان دیگری نظیر سورگوم علوفه‌ای نیز گزارش شده است (Amal et al., 2007).

میزان فسفر: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده کود نیتروژن و کود فسفر بر میزان فسفر پد معنی‌دار نشد، ولی اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر میزان فسفر پد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۶/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) بیش‌ترین و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار (۳/۸۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) کم‌ترین میزان فسفر در پد را دارا بود (جدول ۴). با توجه به مقایسه میانگین‌ها با افزایش کود فسفر، صرف‌نظر از سطوح کود نیتروژن، میزان فسفر پد افزایش یافت. فسفوری که به‌صورت کود وارد خاک می‌شود، مقدار زیادی از آن به‌سرعت از دسترس گیاه خارج می‌گردد و در بخش‌های معدنی خاک انباشته می‌شوند که علت آن ناشی از فرآیندهای شیمیایی جذب و رسوب است و مقداری از آن نیز در مواد آلی خاک غیرمتحرک می‌گردند. بنابراین فسفر اغلب در خاک‌های کشاورزی به‌عنوان عنصر غذایی محدودکننده است (Moe et al., 2017). علت افزایش مقدار فسفر در مقادیر بالای نیتروژن شاید این باشد که در رشد سریع رویشی در مراحل اولیه کاشت،

(جدول ۳). مقایسات میانگین اثرات متقابل نیتروژن و فسفر نشان داد که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان پروتئین (۱۲/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) کم‌ترین میزان اسیدآمینه کل (۴۲/۹۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) داشتند (جدول ۴). نیتروژن عنصری کلیدی در تغذیه گیاهان به حساب می‌آید و به‌عنوان جزء اصلی در ساختمان تعدادی مولکول‌های زنده از قبیل اسیدهای آمینه، نقش اساسی در گیاهان ایفا می‌کند. نیتروژن به هر شکلی که توسط گیاه جذب شود، ابتدا به اسیدهای آمینه احیاء شده و سپس با تبدیل شدن به پروتئین نقش خود را ایفا می‌کند (Marschner, 1995). در مطالعه اثر نیتروژن روی گیاه نخودفرنگی، افزایش سطح نیتروژن موجب افزایش بیان ژن *AAP1* گردید و در نتیجه میزان اسیدآمینه کل افزایش پیدا کرد (Perchlik and Tegeder, 2017). با توجه به نقش فسفر در ساختار برخی از اسیدهای آمینه، بدیهی است که کود فسفره سبب افزایش میزان اسیدآمینه گردد. نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست آمده روی گیاه علوفه‌ای ذرت همسو بود. گزارش شد که بیشترین محتوای اسیدآمینه در برگ‌های گیاهچه‌های ذرت در تیمارهای دارای کودهای زیستی فسفر بود (Sandhya et al., 2010).

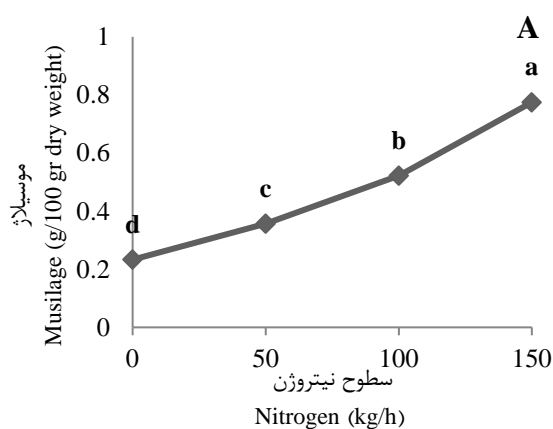
میزان کربوهیدرات‌های محلول: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده نیتروژن، اثر ساده فسفر و اثر برهمکنش فسفر و نیتروژن بر میزان کربوهیدرات‌های محلول معنی‌دار نبود (جدول ۳). مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار غلظت کربوهیدرات در بافت تر پد کاکتوس اپونتیا نشد. با توجه به اینکه این گیاه دارای سیستم فتوسنتزی CAM می‌باشد، با مصرف بیش‌ازحد این عنصر میزان تنفس و سوخت‌وساز گیاه افزایش یافت، بنابراین در سطوح بالاتر نیتروژن افزایش محتوای کربوهیدرات چشم‌گیر نبود (Agüero et al., 2006).

میزان موسیلاژ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده نیتروژن بر میزان موسیلاژ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، ولی اثر ساده فسفر و اثر برهمکنش فسفر و نیتروژن بر میزان موسیلاژ معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش نیتروژن میزان موسیلاژ ۳/۵ برابر افزایش یافت. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان موسیلاژ در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۰/۷۷ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک) و کم‌ترین میزان موسیلاژ در تیمار شاهد با ۰/۲۳ گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک مشاهده شد (شکل ۲-A). موسیلاژ ماده لزج و چسبنده‌ای است که از اندام برخی

(جدول ۳). مقایسات میانگین اثرات متقابل نیتروژن و فسفر نشان داد که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان پروتئین (۱۲/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) کم‌ترین میزان پروتئین (۸/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. همچنین با افزایش فسفر در زمان ثابت بودن سطوح نیتروژن، میزان پروتئین خام افزایش یافت (جدول ۴). این نتیجه بدین معنی است که واکنش پروتئین خام نسبت به تغییر مقدار مصرف فسفر نیز تغییر می‌یابد. به علت اینکه نیتروژن در ساختمان اسیدهای آمینه ضروری شرکت دارد و از اجزای ساختمان پروتئین می‌باشد، با افزایش مقادیر نیتروژن میزان پروتئین خام افزایش یافت. بررسی انجام‌شده روی کاکتوس اپونتیا در ۳ سال متوالی، نشان داد که کاربرد نیتروژن باعث افزایش سطح پروتئین گردید و محتوای پروتئین خام بدون مصرف کود در کاکتوس حدود ۵/۵ درصد و با کاربرد ۶۷، ۱۳۵ و ۲۲۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب به میزان ۸/۶، ۹/۶ و ۹/۹ درصد افزایش یافت (Gonzalez, 1999). گزارش‌شده مصرف کود نیتروژن میزان پروتئین خام در کاکتوس اپونتیا را برای دو سال افزایش داد (Guevara et al., 2000). در واقع به علت نقش انکارناپذیر نیتروژن در ساختمان پروتئین‌ها، مصرف کود اوره سبب افزایش محتوای پروتئین گردیده است. پژوهشگران گزارش کردند استفاده از کود شیمیایی اوره به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین درصد پروتئین را در سورگوم علوفه‌ای باعث شده و با افزایش کود نیتروژن پروتئین خام افزایش می‌یابد (Almodares et al., 2009). با افزایش کاربرد سطوح فسفر درصد پروتئین خام افزایش یافت که این امر نشان‌دهنده نقش فسفر در بهبود ساخت اسیدآمینه می‌باشد. نتایج این آزمایش با نتایج برخی محققان (Rasheed et al., 2013) مطابقت دارد.

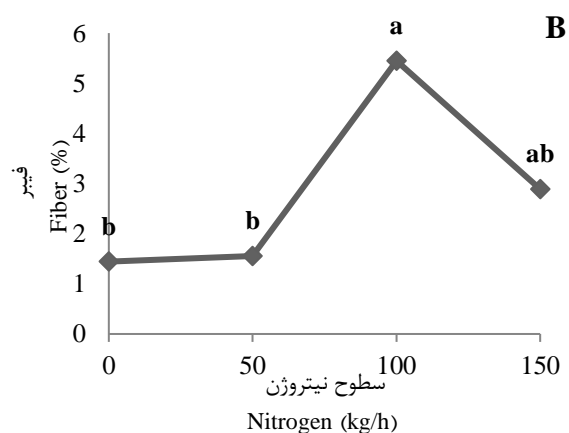
میزان اسیدآمینه کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده نیتروژن و فسفر بر میزان اسیدآمینه کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل نیتروژن و فسفر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد دو عنصر فسفر و نیتروژن سبب افزایش میزان اسیدآمینه شد. به‌گونه‌ای که تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بیش‌ترین میزان

میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان فیبر نسبت به سایر تیمارها افزایش یافت. همچنین در بالاترین سطح نیتروژن میزان درصد فیبر کاهش یافت. به‌طور کلی بیش‌ترین و کم‌ترین درصد فیبر به ترتیب به سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۵/۴۴ درصد) و تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱/۴۴ درصد) تعلق داشت (شکل ۲-B). در گیاهان، پروتئین و فیبر می‌تواند شاخصی مناسب برای تعیین کیفیت علوفه باشد. هرچقدر درصد فیبر علوفه کمتر باشد کیفیت آن بهتر می‌باشد، زیرا فیبر خام کمتر درصد هضم را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، مقدار پروتئین با استفاده از نیتروژن افزایش یافت و این افزایش پروتئین باعث افزایش کیفیت علوفه می‌شود. استفاده از کود نیتروژن سبب افزایش محتوای پروتئین علوفه و افزایش میزان فیبر در اپونتیا شد. نتایج این بررسی با نتایج به‌دست‌آمده در سورگوم علوفه‌ای و ذرت مطابقت داشت (Almodares *et al.*, 2009).



گیاهان قابل استخراج است. محتوای موسیلاژ در پد کاکتوس مستقیماً به مقدار رطوبت مربوط می‌شود، زیرا اجزای نیتروپولی‌ساکارید آن تولنایی جذب آب را دارند. میزان رطوبت در پدهای جوان بیش‌تر از پدهای مسن‌تر است (Sepúlveda *et al.*, 2007). در بررسی روی گیاه بالنگو، گزارش شد محتوای موسیلاژ رابطه مستقیمی با نیتروژن دارد. می‌توان این‌گونه استنباط نمود که نیتروژن موجب گسترش و حجیم شدن ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک می‌شود و جذب رطوبت بیش‌تر توسط ریشه کاکتوس به افزایش موسیلاژ منجر می‌شود (Karimi *et al.*, 2017).

درصد فیبر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده نیتروژن بر درصد فیبر در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد، ولی اثر ساده فسفر و اثر برهمکنش فسفر و نیتروژن بر درصد فیبر معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج نشان داد که در تیمار سطح ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار میزان فیبر گیاهان نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی با افزایش میزان نیتروژن به



شکل ۲- اثر سطوح مختلف کود اوره بر میزان فیبر و موسیلاژ در کاکتوس اپونتیا. در هر نمودار، نقاط دارای حرف مشترک، در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 2- Effect of different levels of urea fertilizer on fiber and mucilage content in Opuntia. In each graphs, points with at least one same letter, not different significantly at the 5% level of Duncan's multiple test

میزان کلروفیل کل در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار با ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر مشاهده شد (جدول ۴). نیتروژن تأثیر مستقیم در ساخت کلروفیل دارد. بنابراین تأمین کافی نیتروژن از طریق استفاده از کود شیمیایی نیتروژن، تا حد مناسب، باعث افزایش میزان تولید کلروفیل گردید. با این‌وجود به‌نظر می‌رسد به دلیل سیستم

میزان کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نیتروژن در سطح ۵٪ و اثر برهمکنش نیتروژن و فسفر در سطح ۱٪ بر میزان کلروفیل معنی‌دار بود، ولی اثر ساده فسفر معنی‌دار نبود (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها بیش‌ترین میزان کلروفیل کل با ۲/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه ۵۰ کیلوگرم فسفر و کم‌ترین

شده که گیاه اپونتیا با ۵ مرتبه آبیاری در سال (۱ مرتبه بهار، ۳ مرتبه تابستان و یک مرتبه پاییز) حتی در تیمار شاهد (بدون تغذیه) عملکرد چشمگیری داشت. با این وجود جهت رشد بهینه کوددهی لازم بود. با توجه به تغییر میزان عناصر نیتروژن و فسفر در کاکتوس اپونتیا و همچنین ویژگی‌های تحت تأثیر، به نظر می‌رسد کوددهی نیتروژن نسبت به کود فسفره مؤثرتر بود. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره با بهبود بخش‌های رویشی گیاه سبب افزایش وزن تر اندام‌های هوایی گردید، به گونه‌ای که با عملکرد ناشی از بالاترین سطح نیتروژن مصرفی برابر بود. همچنین نتایج نشان داد که میزان پروتئین خام، اسیدآمینو و موسیلاژ موجود در اندام‌های هوایی پاسخ مناسبی به افزایش مصرف نیتروژن نشان دادند. با این وجود فسفر نیز توانست بر برخی صفات به‌ویژه میزان اسیدآمینو و پروتئین، که دو ویژگی مهم در گیاهان علوفه‌ای هستند، اثر گذارد. بنابراین، برای کشاورزانی که قصد کاشت اپونتیا در مناطقی گرم همراه با کمبود آب را دارند، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر توصیه می‌گردد.

فتوسنتزی این گیاه، افزایش بیش‌ازحد نیتروژن سبب ایجاد تنش و تخریب کلروفیل شده است (Vidal *et al.*, 1999). گزارش شده است که حداقل ۲۵ درصد و به‌طورمعمول بیش از ۷۵ درصد نیتروژن برگ‌ها در کلروپلاست قرار دارد و بیشتر این نیتروژن نقش آنزیمی در استروما و لاملا دارد. پروتئین و کلروفیل در لاملا تشکیل کمپلکس می‌دهند، بنابراین کلروپلاست دارای کمبود نیتروژن ممکن است به‌جای بیضی‌شکل بودن، دارای ساختمان کروی باشد و متورم به‌نظر بیاید. بنابراین کمبود نیتروژن منجر به کاهش پروتئین کلروپلاست و تغییر شکل ساختار کلروپلاست شده و باعث زردی و کاهش میزان کلروفیل می‌گردد (Bloomfield *et al.*, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به اینکه استان خوزستان از نظر شرایط خشکسالی رتبه سوم را در بین استان‌های کشور دارد و همچنین توزیع نامناسب بارندگی سالانه، کاشت گیاهان چندساله را به‌صورت دیم یا کم آبیاری غیرممکن می‌کند؛ در این بررسی مشخص

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود نیتروژن و فسفر بر شاخص‌های مورفولوژیک، عملکرد و کیفیت علوفه‌ای کاکتوس اپونتیا

Table 3- ANOVA of the effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological characteristics, yield and forage quality of *Opuntia cactus*

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS							کربوهیدرات‌های محلول Soluble carbohydrates	موسیلاژ Mucilage	فیبر Fiber	کلروفیل کل Total chlorophyll
		ارتفاع Height	تعداد پد Pad NO.	وزن تر Fresh weight	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	پروتئین Protein	اسیدآمینو Aminoacid				
تکرار Replication	2	75.37*	3.02**	0.37 ^{ns}	1.16 ^{ns}	0.15 ^{ns}	2.40**	60.19 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.004*	4.40 ^{ns}	0.066 ^{ns}
نیتروژن Nitrogen	3	62.90*	4.33**	0.49 ^{ns}	2.85 ^{ns}	7.98**	12.1**	3050.89**	0.063 ^{ns}	0.65**	16.32*	0.69*
خطای اصلی Main error	6	12.44	0.352	0.23	0.73	0.03	0.57	14.41	0.018	0.0003	4.66	0.119
فسفر Phosphorus	3	43.42*	1.71**	0.24 ^{ns}	1.03 ^{ns}	0.12**	0.93**	48.47**	0.017 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1.79 ^{ns}	0.045 ^{ns}
فسفر × نیتروژن P*N	9	15.31**	0.95*	0.51**	1.28**	0.01*	0.27*	6.84*	0.025 ^{ns}	0.001 ^{ns}	4.14 ^{ns}	0.46**
خطای فرعی Sub-error	24	5.20	0.33	0.16	0.44	0.006	0.10	2.58	0.033	0.001	2.27	0.163
ضریب تغییرات CV (%)		13.15	20.01	9.61	14.73	2.66	12.66	12.31	14.3	9.26	14.6	21.4

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تأثیر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشد.

^{ns}، * and **: Non-significant and significant effects at the levels of 0.05 and 0.01, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل نیتروژن و فسفر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه اپونتیا

Table 4- Means comparison of effects of nitrogen and phosphorus on the morphological and biochemical characteristics of *Opuntia cactus*

کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg/g F.W.)	اسید آمینه Aminoacid mg/100 gr) (F.W.	پروتئین خام Protein (%)	نیتروژن Nitrogen mg/100 gr) (D.W.	فسفر Phosphorus mg/100 gr) (D.W.	وزن تر Fresh Weight (gr)	تعداد پد Pad NO.	ارتفاع Height (cm)	نیتروژن و فسفر Nitrogen and Phosphorus
1.95 ^{a-e}	42.93 ^g	8.58 ^g	2.19 ^g	4.49 ^{bcd}	3.76 ^e	1.85 ^e	15.86 ^{e-f}	A ₁ *B ₁
2.08 ^{a-d}	43.77 ^g	8.75 ^g	2.24 ^g	4.27 ^{cd}	3.89 ^{cde}	1.95 ^{de}	14.25 ^{def}	A ₁ *B ₂
2.12 ^{abc}	43.32 ^g	8.65 ^g	2.21 ^g	4.04 ^d	4.02 ^{b-e}	2.29 ^{cde}	14.86 ^{e-f}	A ₁ *B ₃
1.88 ^{a-f}	43.45 ^g	8.68 ^g	2.22 ^g	4.05 ^d	4.25 ^{a-e}	2.60 ^{b-e}	16.06 ^{b-f}	A ₁ *B ₄
2.35 ^{ab}	50.61 ^e	10.11 ^{ef}	2.59 ^f	4.12 ^{cd}	3.67 ^e	2.98 ^{a-e}	19.73 ^{a-d}	A ₂ *B ₁
1.51 ^{c-f}	49.90 ^{ef}	9.97 ^f	2.55 ^{ef}	4.02 ^d	3.97 ^{b-e}	1.93 ^e	13.75 ^{ef}	A ₂ *B ₂
1.42 ^{ef}	52.76 ^{ef}	10.54 ^{ef}	2.70 ^{ef}	3.89 ^d	4.33 ^{a-e}	2.29 ^{cde}	10.71 ^f	A ₂ *B ₃
1.48 ^{def}	55.30 ^e	11.05 ^e	2.83 ^e	5.70 ^{ab}	4.52 ^{a-e}	3.28 ^a	17.88 ^{a-e}	A ₂ *B ₄
1.57 ^{c-f}	62.41 ^d	12.47 ^d	3.19 ^d	4.16 ^{cd}	3.83 ^e	3.72 ^{ab}	18.75 ^{a-e}	A ₃ *B ₁
2.36 ^a	65.34 ^d	13.05 ^d	3.34 ^d	4.21 ^{cd}	4.60 ^{abc}	3.12 ^{a-d}	18.38 ^{a-e}	A ₃ *B ₂
2.40 ^a	65.99 ^{cd}	13.19 ^{cd}	3.37 ^{cd}	3.91 ^d	4.64 ^{ab}	3.93 ^a	20.04 ^{abc}	A ₃ *B ₃
2.34 ^{ab}	70.68 ^c	14.12 ^c	3.61 ^c	4.69 ^{bcd}	4.80 ^a	4.00 ^a	22.04 ^a	A ₃ *B ₄
1.71 ^{b-f}	77.19 ^b	15.42 ^b	3.95 ^b	4.23 ^{cd}	4.84 ^a	3.35 ^{abc}	21.42 ^{ab}	A ₄ *B ₁
1.24 ^f	78.63 ^{ab}	15.71 ^{ab}	4.02 ^{ab}	5.12 ^{bcd}	4.27 ^{a-e}	3.56 ^{ab}	20.11 ^{abc}	A ₄ *B ₂
1.70 ^{b-f}	80.45 ^{ab}	16.08 ^{ab}	4.11 ^{ab}	6.35 ^a	3.75 ^e	2.10 ^{de}	18.25 ^{a-e}	A ₄ *B ₃
2.07 ^{a-d}	82.47 ^a	16.48 ^a	4.22 ^a	5.31 ^{abc}	3.94 ^{b-e}	2.98 ^{a-e}	19.23 ^{a-e}	A ₄ *B ₄

در هر ستون میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارد.

In each column, means with at least one common letter, no significant difference at the 5% level of Duncan's multiple test.

علامت‌های اختصاری تیمارهای آزمایش: A₁: غلظت صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن، A₂: غلظت ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، A₃: غلظت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و A₄: غلظت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن.

Abbreviations of table: A₁: concentration of 0 kg/ha of nitrogen, A₂: 50 kg/ha of nitrogen, A₃: 100 kg/ha of nitrogen and A₄: of 150 kg/ha of nitrogen.

B₁: غلظت صفر کیلوگرم در هکتار فسفر، B₂: غلظت ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، B₃: غلظت ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و B₄: غلظت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر

B₁: concentration of 0 kg/ha of nitrogen, B₂: 25 kg/ha of nitrogen, B₃: 50 kg/ha of nitrogen and B₄: of 100 kg/ha of phosphorus.

سیاسگزارى

و منابع طبیعی خوزستان، به خاطر حمایت مالی از این تحقیق،

تقدیر و تشکر می‌شود.

از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی

References

- Aguero, R.J.A., Aguirre, J.R. and Banue, V.A., 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, 64, pp.549-585. doi: 10.1016/j.jaridenv.2005.11.008
- Almodares, A., Jafarinia, M. and Hadi, M.R., 2009. The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science*, 6, pp.441-446. doi: 10.5829/idosi.ajeaes.2009.6.3.623
- Amador, B.M., Hernández, A.F., Hernández, J.L.C., Cepeda, R.D.V., Serrano, N.Y.A., Diéguez, E.T. and Espinoza, F.H.R., 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable. *Journal of professional Association for Cactus Development*, 7, pp.97-109. doi: 10.1080/14620316.2005.11511931

- Amal, G., Ahmed, N., Zaki, M. and Hassanein, M.S., 2007. Response of grain sorghum to different nitrogen sources. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3, pp.1002-1008. doi: **10.3923/rjabs.2007.1002.1008**
- Aruwa, C.E., Amoo, S.O. and Kudanga, T., 2018. *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. *Food Research International*, 112, pp.328-344. doi: **10.1016/j.foodres.2018.05.051**
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L., 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Soil Science and Plant Analysis*, 32, pp.921-950. doi: **10.1081/pls-100104165**
- Bayatani, H., Norouzian, M.A. and Afzalzadeh, A., 2019. Feeding value of *Lactuca serriola* at different harvesting stages and prediction of lag time with different models. *Journal of Animal Production*, 21, pp.219-221. [In Persian]. doi: **10.22059/jap.2019.270353.623341**
- Beyaert, R.P. and Roy, R.C., 2005. Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum-sudangrass yield and nitrogen use. *Agronomy Journal*, 97, pp.1493-1501. doi: **10.2134/agronj2005.1493**
- Bloomfield, K.J., Farquhar, G.D. and Lloyd, J., 2014. Photosynthesis–nitrogen relationships in tropical forest tree species as affected by soil phosphorus availability: a controlled environment study. *Functional Plant Biology*, 41, pp.820-832. doi: **10.1071/fp13219**
- 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, pp.248-254. doi: **10.1016/0003-2697(76)90527-390527-3**
- Dale, J.E. and Wilson, R.G., 2008. A comparison of leaf and ear development in barely cultivars as affected by nitrogen supply. *Agricultural Science*, 90, pp.503-508.
- Diepen Brock, W., 2000. Yield analysis of winter oil seed rape: A review. *Field Crops Research*, 67, pp.35-49. doi: **10.1016/s0378-4290(00)00095-000095-0**
- Dubeux, J.C.B., de Andrade, L.M.V., Cordeiro, D., Farias, I., Lima, L.E. and Ferreira, R.L.C., 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* L. Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67, pp.357-372. doi: **10.1016/j.jaridenv.2005.11.008**
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, G.K., Robers, P.A. and Smith, F., 1962. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 26, pp.350-356. doi: **10.1021/ac60259a007**
- Engels, C., Kirkby, E. and White, P., 2012. Mineral nutrition, yield and source-sink relationship. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants (ed. Marschner, P.) 85-134. Academic Press, London, U.K.
- Garsid, A., 2004. Sowing time effects on the development, yield and oil of flaxseed in semi-arid tropical. *Australian Journal of Production Agriculture*, 23, pp.607-612.
- Gonzalez, C.L., 1999. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). *Journal of Arid Environment*, 16, pp.87-94. doi: **10.1006/jare.1999.0533**

- Gouws, C., Mortazavi, R., Mellor, D., McKune, A. and Naumovski, N., 2020. The effects of Prickly Pear fruit and cladode (*Opuntia spp.*) consumption on blood lipids: A systematic review. *Complementary Therapies in Medicine*, 50, pp.102- 118. doi: **10.1016/j.ctim.2020.102118**
- Guevara, J.C., Gonnet, J.M. and Estevez, O.R., 2000. Frost hardiness and production of *Opuntia* forage clones in the Mendoza plain, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 46, pp.199-207. doi: **10.1006/jare.2000.0667**
- Karimi, T., Maleki Farahani, S. and Rezazadeh, A.R., 2017. Effects of sowing date and chemical fertilizer on seed vigor and qualitative and quantitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33, pp.126-138. [In Persian]. doi: **10.22092/ijmapr.2017.109717**
- Kelling, K.A., Rouse, D.I. and Speth, P.E., 2017. Fumigation and fertilizer nitrogen source effects on potato yield, quality, and early dying. *American Journal of Potato Research*, 94, pp.481-489. doi: **10.1007/s12230-017-9596-6**
- 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. *Soil Research*, 33, pp.155-166. [In Persian]. doi: **10.22092/ijrsr.2019.119757**
- Kjeldahl, J., 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Analytical Chemistry*, 22, pp.366-382. doi: **10.1021/ac60049a006**
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1985. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, pp.591-592. doi: **10.1042/bst0110591**
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press. London, 889 p.
- Maynard, A.J., 1970. Methods in Food Analysis, Academic Press, San Francisco, London, 845 p.
- Moe, K., Win, K., Kyaw, K. and Yamakawa, T., 2017. Effects of combined application of inorganic fertilizer and organic manures on nitrogen use and recovery efficiencies of hybrid rice. *American Journal of Plant Sciences*, 8, pp.1043-1064. doi: **10.4236/ajps.2017.86094**
- Mounir, B., Younes, G., Asmaa, M., Abdeljalil, Z. and Abdellah, A., 2020. Physico-chemical changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and harvesting areas. *Journal of Plant Physiology*, 251, pp.153-160. doi: **10.1016/j.jplph.2020.153160**
- Ochoa, M.J., Leguizamón, G. and Uhart, S.A., 2002. Effects of nitrogen availability on cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) postharvest quality. *Acta Horticulture*, 581, pp.225-230.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Vol 939 (p. 19), Washington. doi: **10.2134/agronj1954.00021962004600030006x**
- Perchlik, M. and Tegeder, M., 2017. Improving plant nitrogen use efficiency through alteration of amino acid transport processes. *Plant Physiology*, 175, pp.47-56. doi: **10.1104/pp.17.00039**

- Pourazizi, M. and Fallah, S., 2013. Optimization of application of nitrogen fertilizers for growth and yield of forage sorghum under low-input and conventional farming systems. *Journal of Crop Production and Processing*, 9, pp.81-91. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.7.0**
- Rasheed, M., Hussain, A. and Mahmood, T., 2013. Growth analysis of hybrid maize as influenced by planting techniques and nutrient management. *International Journal of Agricultural and Biology*, 2, pp.169-171. **doi: 10.17957/ijab/15.0010**
- Ravindranath, M.H., 1981. Manual research methods for crustacean biochemistry and physiology. *Special Publication*, 7, pp.10-20.
- Sandhya, V., Ali, S.K.Z., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswarlu, B., 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62, pp.21-30. **doi: 10.1007/s10725-010-9481-3**
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. and Aceituno, C., 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68, pp.534-545. **doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.11.005**
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology* (4th Ed), Sunderland, U.K., 690 pp.
- Vidal, I., Longeri, L. and Hetier, J.M., 1999. Nitrogen uptake and Chlorophyll meter measurements in spring wheat. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 55, pp.1-6. **doi: 10.1023/A:1009783407744**
- Williams, C.M., 2012. Nutritional quality of organic food: Shades of grey or shades of green? *Proceedings of the Nutrition Society*, 61, pp.19-24. **doi: 10.1017/s0029665112000028**
- Xi, X., Wei, X., Wang, Y., Chu, Q. and Xiao, J., 2010. Determination of tea polysaccharides in *camillaia sinensis* by a modified phenol-sulfuric acid method. *Archive of Biological Science*, 62, pp.671-678. **doi: 10.2298/abs1003671x**
- Zegbe, J.A., Serna-Pérez, A. and Mena-Covarrubias, J., 2014. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of 'Cristalina' cactus pear. *Scientia Horticulturae*, 167, pp.63-70. **doi:10.1016/j.scienta.2013.12.023**

Effect of different level of nitrogen and phosphorus fertilizers on morphophysiological characteristics, productivity and forage quality of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under water shortage

Hamed Hasan Zadeh¹, Mohamadreza Salehi Salmi^{2*}, Mohamadhosein Daneshvar², Payam Pourmohamadi³

¹ Master of Science, Department of Horticulture Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

² Department of Horticulture Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

³ Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

*Corresponding Author: salehi@asnrukh.ac.ir

Received: 23 June 2022

Accepted: 30 August 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.348621.1250

Abstract

Introduction: The arid and semi-arid region occupies most of south-west Iran, and livestock farming is one of the most important activities in this region. The goals of study were to recognize the effects of different level of Nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological characteristics, productivity and forage quality of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Opuntia* is cultivated in both hemispheres and all continents. Its products have always been very popular among the rural populations of arid and semi-arid areas in its native region of Mexico and in the Mediterranean basin, where it was introduced at the beginning of the 16th century. They include fruits and cladodes for human nutrition and cattle feeding. Moreover, its utilization is common in popular medicine (flowers and cladodes), and field management.

Materials and Methods: Experiments were conducted in field of Agriculture Sciences and Natural Resources University of Khuzestan in the semi-arid of Khuzestan, Iran. The experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with 3 replications (plot). The objective was to study Nitrogen (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹) and Phosphorus (0, 25, 50 and 100 kg ha⁻¹) fertilizations on growth of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. After two years of planting in the field, the plants were harvested and the characteristics of height, number of cladodes, fresh weight, phosphorus, nitrogen, amino acid, soluble carbohydrates, mucilage, fiber, chlorophyll were measured.

Results and Discussion: The effect of phosphorus and nitrogen fertilization on the growth and quality of *Opuntia ficus-indica* was investigated in this study. Phosphorus fertilization increased the dry matter content and the amino acid composition of the cladodes, which are the flattened stems of the cactus plant. Nitrogen fertilization had a positive and linear effect on the dry matter production and the yield of the plant, measured by the fresh weight of the shoots. However, no significant response to nitrogen fertilization was observed in the carbohydrate content of the cladodes, which remained relatively constant across different levels of nitrogen application. Nitrogen fertilization also increased the nitrogen concentration in the plant tissue, indicating a higher uptake and assimilation of this nutrient. The cladode area index (CAI), which is the ratio of the total cladode area to the ground area, increased with increasing nitrogen levels, reflecting a higher biomass accumulation and canopy development. The results showed that the application of 100 kg N / ha from urea source, which was the intermediate level of nitrogen treatment, resulted in an improvement of the vegetative parts of the plant and an increase in the fresh weight of the shoots, so that it was comparable to the yield obtained from the highest level of nitrogen treatment (200 kg N / ha). The results also showed that the amount of crude protein, amino acids and mucilage in the shoots, which are important indicators of the nutritional and medicinal value of the cactus plant, showed a good response to increased nitrogen consumption. However, phosphorus fertilization was able to affect some traits, especially the amount

of amino acids and protein, which are two important properties in forage plants. These results suggest that phosphorus fertilization can enhance the quality of the cactus plant as a feed source for livestock. **Conclusion:** In this study, it was found that *Opuntia ficus-indica*, which is a drought-tolerant and multipurpose cactus plant, had a significant performance even in the control treatment (without fertilization), when it was irrigated five times per year (one time in spring, three times in summer and one time in autumn). However, fertilization was necessary for optimal growth and quality of the plant. Due to the change in the amount of nitrogen and phosphorus in the cactus plant and also the affected properties, it seems that nitrogen fertilization was more effective than phosphorus fertilization in enhancing the productivity and value of the plant. In summary, increasing fertilizing with nitrogen and phosphorus resulted in greater productivity of *O. ficus-indica* in Khuzestan, a semi-arid region in Iran. Phosphorus fertilization involved less economical risk to the farmer, as it required lower amounts and frequencies of application, but positive responses occurred only when soil phosphorus was increasing. This work stresses the importance of using replicated field trials to look for quantitative differences in yield and fruit quality from visually indistinguishable cactus fruit clones, which may have different genetic and physiological characteristics.

Keywords: Carbohydrate, Cladode, Drought, Fiber, Protein

شناسایی عوامل کاهنده عملکرد گندم به روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA)

(مطالعه موردی: مزارع شهرستان ابرکوه)

امین اناقلی^{۱*}، مجید نیکخواه^۲، زهره امیدواری^۳

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

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

۳- کارشناس مرکز خدمات کشاورزی شهرستان ابرکوه، سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی یزد، یزد، ایران

* مسئول مکاتبه: anagholi@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.368709.1288

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

چکیده

عملکردهای واقعی بدست آمده توسط کشاورزان در اکثر مواقع کمتر از عملکرد پتانسیل منطقه است که به عوامل مدیریتی، اقلیمی، خصوصیات خاکی و یا سایر عوامل محدودکننده مثل تنش‌های زنده و غیرزنده مربوط می‌شود. هدف از اجرای این آزمایش یافتن عوامل محدودکننده عملکرد گندم در مزارع شهرستان ابرکوه واقع در استان یزد بود. ابتدا با هماهنگی مراکز خدمات کشاورزی، تعداد ۱۱ مزرعه گندم انتخاب گردید. تمامی عملیات کشاورزی انجام شده توسط کشاورزان از قبیل روش‌های خاکورزی، تاریخ کشت، ارقام مورد استفاده، میزان بذر، تناوب زراعی، کودهای مورد استفاده، دفعات تقسیط کود نیتروژن، مدیریت آبیاری و کنترل علف‌های هرز یادداشت‌برداری و یا اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت، برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و اجزای عملکرد آن شمارش گردید. با استفاده از رگرسیون گام به گام، مدل رگرسیونی مناسب برای این متغیرهای انتخاب شده در برابر عملکرد دانه برازش گردید. سپس با استفاده از روش تحلیل مقایسه‌ی کارکرد^۱ درجه تاثیرگذاری هر متغیر مشخص گردید. نتایج نشان داد که متوسط عملکرد مزارع ۵۰۴۰ کیلوگرم در هکتار و میزان خلأ عملکرد بدست آمده ۴۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. ترتیب اهمیت متغیرها در کاهش عملکرد بصورت تعداد آبیاری (۲۴ درصد)، تناوب زراعی (۱۸ درصد)، مصرف کود نیتروژن (۱۶ درصد)، روش تهیه بستر کشت (۱۲ درصد)، عدم مصرف کود دامی (۱۲ درصد)، کنترل علف‌های هرز (۱۱ درصد)، تاریخ کاشت (۴ درصد) و تقسیط نیتروژن (۲ درصد) بود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل تولید، خلأ عملکرد، عوامل محدودکننده تولید، مدیریت زراعی

مقدمه

امنیت غذایی توأم با حفظ محیط زیست یکی از مهم‌ترین

چالش‌های فعلی می‌باشد.

در اکثر مواقع عملکردهای واقعی بدست آمده توسط

کشاورزان کمتر از عملکرد پتانسیل منطقه می‌باشد که به دلیل

ضعف‌های مدیریتی، عوامل اقلیمی، عوامل خاکی و یا سایر

عوامل می‌باشد. خلأ عملکرد به فاصله یا تفاوت بین عملکرد

واقعی کشاورزان و عملکردی که می‌توانستند با مدیریت مطلوب

برداشت کنند، یعنی پتانسیل عملکرد، گفته می‌شود

(Hochman et al., 2016; Van Ittersum et al., 2013).

پتانسیل عملکرد، عبارت است از حداکثر عملکردی که با

مدیریت کاملاً مطلوب و در شرایط زراعت آبی قابل برداشت

است (Van Ittersum et al., 2013). باید توجه داشت که در

امنیت غذایی دغدغه همیشگی سیاست‌گذاران کشورهای

در حال توسعه بوده است (Ingram, 2011). بر اساس تعریف،

امنیت غذایی به معنی تأمین روزانه غذای کافی، سالم و مغذی

برای همه مردم و در تمام اوقات است؛ بطوری که یک زندگی

فعال و سالم داشته باشند. بر اساس سایت مرکز آمار ایران

(www.amar.org.ir)، جمعیت ایران ۸۴/۸۷ میلیون نفر است

و پیش‌بینی می‌شود که این جمعیت تا سال ۲۰۵۰ میلادی به

۱۰۱ میلیون نفر برسد. به دنبال افزایش جمعیت و به منظور

پاسخگویی به نیاز غذایی در سال ۲۰۵۰، باید تولید مواد غذایی

و علوفه به میزان ۷۰ درصد نسبت به سال ۲۰۰۵ افزایش پیدا

کند (Alexandratos and Bruinsma, 2012). از این رو تأمین

^۱ Comparative Performance Analysis (CPA)

بیماری‌ها، ورس و نامناسب بودن کیفیت بذر است. عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز شامل عدم توانایی در سودآوری بالا، قدرت ریسک پذیری کم، نداشتن توان مالی مناسب، اختصاص وقت کم برای عملیات کشاورزی و نداشتن دانش کافی برای انجام بهترین عملیات کشاورزی عنوان شده است (Lobell et al., 2009).

پژوهشگران در استرالیا بر اساس پروتکل اطلس جهانی خلأ عملکرد^۳ و سیستم شبیه ساز تولیدات کشاورزی^۴ میزان خلأ عملکرد گندم دیم را طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰، حدود ۲ تن در هکتار برآورد کردند (Gobbett et al., 2016). آنها استفاده از ارقام مناسب و بهبود روش‌های مدیریت زراعی را برای کاهش خلأ عملکرد مناسب تشخیص دادند. در یک بررسی کلی برای کشور ایران، نقش عوامل اقلیمی و مدیریتی به‌عنوان عوامل کاهنده عملکرد گندم بررسی شده است. در این بررسی در بین متغیرهای اقلیمی، سهم بارندگی در مقایسه با دما و تابش در تمام استان‌های کشور به جز استان‌های زنجان، گلستان، مازندران و گیلان بیشتر بود و بالاترین ضریب رگرسیونی مربوط به بارندگی در استان‌های اصفهان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قم و یزد بود (Koocheki et al., 2017). در این پژوهش تأثیر دما در استان‌های سرد کشور بر عملکرد پتانسیل مثبت و در استان‌های گرم کشور منفی بود. افزایش تابش خورشیدی نیز در استان‌هایی که تعداد ساعات آفتابی روزانه کمتر بود (مثل استان‌های حاشیه دریای خزر) مثبت گردید. در این پژوهش سهم عوامل مدیریتی نیز بررسی گردید که در استان خوزستان بالاترین سهم نسبی تأثیر فاکتورهای مدیریتی بر میزان خلأ عملکرد گندم به ترتیب مربوط به آبیاری، آفت‌کش، کود شیمیایی، کود دامی و مکانیزاسیون بود در حالی که این اولویت برای میانگین کشوری به ترتیب مربوط به آبیاری، کود شیمیایی، مکانیزاسیون، آفت‌کش و کود دامی بود (Koocheki et al., 2017). به هر حال به نظر می‌رسد که نتایج این پژوهش بسیار کلی است و می‌تواند در سطح کلان تصمیم‌گیری، برای توزیع نهاده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در حالیکه بررسی‌های موردی انجام شده در مناطق مختلف حاکی از آن است که این موضوع بسیار پیچیده بوده و در سطح هر

بیشتر سیستم‌های کشت گیاهان زراعی اصلی، رسیدن به پتانسیل عملکرد به‌لحاظ فنی و اقتصادی توجیه پذیر نیست، بنابراین رسیدن به ۷۰ تا ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد مد نظر قرار می‌گیرد که به آن عملکرد قابل حصول^۱ گفته می‌شود. به تفاوت بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی کشاورزان در یک منطقه خاص، خلأ عملکرد قابل بهره برداری^۲ یا خلأ عملکرد قابل مدیریت گفته می‌شود (Connor et al., 2011; Lobell et al., 2009; Soltani and Mirzaei, 2022). پژوهشگران بر اساس مدل‌های پیش‌بینی عملکرد و منابع آبی و اراضی زراعی موجود، برای گندم آبی عملکرد هدف ۶/۸ تن در هکتار را به عنوان عملکرد قابل حصول تا سال ۲۰۳۰ برآورد کردند، که می‌توان از طریق کاهش خلأ عملکرد، کاهش ضایعات و افزایش کارایی مصرف آب تا حدود زیادی به این هدف نائل شد (Soltani et al., 2020). بررسی‌های متعددی به راه‌های بهبود امنیت غذایی پرداخته‌اند و اکثر آنها بر رفع خلأ عملکرد به عنوان امید بخش‌ترین راه بهبود امنیت غذایی اتفاق نظر دارند (Foly et al., 2011; Godfray et al., 2010). اجرایی شدن نتایج اینگونه پژوهش‌ها، راهکارهای مدیریتی ساده‌ای برای افزایش عملکرد ایجاد می‌کند که با عملیاتی کردن این راهکارهای ساده که در اکثر مواقع هزینه‌های زیادی ندارد، می‌توان به پتانسیل قابل حصول منطقه نزدیک شد. برای شناسایی این عوامل و درجه تأثیرگذاری آنها بر میزان تولید لازم است تا اندازه‌گیری‌های خاصی از خاک و گیاه انجام گردد و در کنار آن عوامل اقلیمی و مدیریتی نیز ثبت گردند.

میزان خلأ عملکرد در کشورهای متنوع و در مناطق مختلف هر کشور دامنه وسیعی دارد؛ پژوهشگران خلأ عملکرد گندم در مناطق مختلف هندوستان را بین ۰/۲ تا ۴/۵ تن در هکتار محاسبه کردند (Lobell et al., 2009). آنها عوامل بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی را در این امر دخیل دانستند که بر اساس طبقه‌بندی آنها عوامل بیوفیزیکی شامل کمبود و عدم توازن عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و غیره، تنش غرقابی، تنش آبی، عملیات کشت نامناسب مثل زمان کاشت و تراکم بوته، مشکلات خاک مثل شوری، قلیایی، اسیدی، سمیت آهن، آلومینیم و بر، خسارات علف‌های هرز، خسارات آفات و

^۳ . Global Yield Gap Atlas (GYGA)

^۴ . Agricultural Production System sIMulator (APSIM)

^۱ . Exploitable Yield

^۲ . Exploitable Yield Gap

منطقه نتایج بسیار متفاوتی را شامل می‌شود.

در یک بررسی دیگر برای گیاهان زراعی مهم کشور، گزارش شد که دامنه تغییرات عملکرد واقعی گندم آبی در مناطق اقلیمی اصلی بین ۱۷۲۸ تا ۴۳۱۱ کیلوگرم در هکتار بود (Soltani *et al.*, 2018). این عملکردهای واقعی در حالی به دست آمده‌اند که پتانسیل عملکرد گندم آبی در کشور در مناطق اقلیمی اصلی تولید آن بین ۶۴۲۷ تا ۱۱۸۹۸ کیلوگرم در هکتار و متوسط آن ۸۸۱۹ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. در این بررسی، خلأ عملکرد قابل مدیریت در کشور برای گندم آبی ۲۳۶۳ تا ۵۴۴۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نشان می‌دهد این مقدار افزایش عملکرد در واحد سطح بسته به منطقه اقلیمی قابل دستیابی است. در بیشتر موارد، بالاترین مقادیر خلأ عملکرد قابل مدیریت در مناطقی مشاهده شدند که پتانسیل عملکرد بالاتری نیز دارند. بر اساس این نتایج، به طور متوسط ۳۶۷۷ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد در گندم آبی کشور امکان‌پذیر است. پژوهشگران با بررسی روند ۵۰ ساله تولید غلات در کشور بیان داشتند که افزایش تولید گندم، ۳۴ درصد بخاطر افزایش سطح کشت و مابقی بخاطر افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد که به نظر می‌رسد علت اصلی آن تولید ارقام جدید و بهبود روش‌های مدیریت زراعی بوده است (Zarea Feizabadi *et al.*, 2006).

رقم مورد استفاده در منطقه ابرکوه عمدتاً رقم سیستان می‌باشد که دارای متوسط عملکرد ۴۳۲۳ کیلوگرم در هکتار و ثبت رکورد ۶۶۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. پژوهشگران در پژوهشی در اراضی گندم دیم و آبی استان گلستان به عواملی مثل استفاده نکردن از دستگاه کاشت بذر در داخل بقایا و وضعیت نامناسب بستر کشت در اراضی دیم کم بازده، عدم وارد کردن بقولات در تناوب و مساحت کم اراضی در اراضی دیم پربازده و نهایتاً عدم مصرف بهینه کود نیتروژن و رعایت نکردن تاریخ کاشت بهینه در اراضی آبی اشاره کردند (Hajjarpour *et al.*, 2017). پژوهشگران دیگر طی یک بررسی در خوزستان با استفاده از مدل WOFOST، علت خلأ عملکرد بالا در ماهشهر را خاک نامناسب و علت آن در شهرستان ایذه، عوامل مدیریتی عنوان کردند (Gharineh *et al.*, 2012). در نهایت در این بررسی استان خوزستان از لحاظ پتانسیل تولید گندم به سه منطقه تفکیک گردید: ۱- مناطق با پتانسیل تولید بیش از ۹

تن در هکتار (محدوده شهرستان ایذه)؛ ۲- مناطق با پتانسیل بین ۸ تا ۹ تن در هکتار (بستان، مسجد سلیمان، دزفول و بهبهان)؛ ۳- مناطق با پتانسیل ۷ تا ۸ تن در هکتار (امیدیه، آبادان، اهواز، رامهرمز، ماهشهر و شوشتر) (Gharineh *et al.*, 2012).

در پژوهشی دیگر در شرق استان خوزستان پژوهشگران با جمع‌آوری داده‌های هواشناسی به نقش عوامل اقلیمی بر عملکرد دانه گندم پرداختند (Borna and Amiri, 2017). بر اساس نتایج این پژوهش، شهرستان ایذه به دلیل بارش مناسب و کافی مناسب برای شرایط دیم و شهرستان‌های بهبهان و رامهرمز به دلیل دسترسی آسان تر به آب رودخانه مارون مناسب برای کشت آبی تشخیص داده شدند. شهرستان امیدیه نیز بخاطر بارش کم و دمای بالا در فروردین و اردیبهشت برای کشت دیم توصیه نمی‌گردد. نامبردگان بیان داشتند که بدلیل کافی بودن تعداد ساعات آفتابی در این منطقه می‌توان از این خصوصیت برای تولید ارقامی با شاخص سطح برگ بیشتر و یا ارقام با میزان کلروفیل بالاتر استفاده کرد (Borna and Amiri, 2017). پژوهشگران دیگر در منطقه عقیلی گتوند در استان خوزستان، پتانسیل تولید گندم آبی را ۸۰۴۱ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند که با لحاظ کردن عوامل محدودکننده خاکی و سطوح مختلف مدیریتی، عملکردی بین ۲۲۹۶ تا ۶۷۵۶ کیلوگرم در هکتار بدست می‌آید؛ این در حالی است که عملکرد واقعی کشاورزان در منطقه بین ۵۰۰ کیلوگرم برای شرایط دیم تا ۵۷۰۰ کیلوگرم برای شرایط آبی متغیر بود. در نهایت آنها عوامل کاهنده‌ی عملکرد در منطقه را آهک، زهکشی ضعیف، شوری و قلیائیت و عدم مدیریت صحیح عنوان کردند (Seyed Jalali *et al.*, 2013). در گزارشی دیگر پتانسیل تولید گندم آبی در منطقه میان آب شوشتر ۹۳۳ تا ۶۰۲۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که پس از اصلاح محدودیت‌های خاکی و آبیاری اراضی، قابلیت تولید بین ۴۸۴۹ تا ۶۳۵۲ کیلوگرم در هکتار را خواهد داشت. این در حالی است که عملکرد کشاورزان منطقه در سال مورد بررسی بین ۱۵۰۰ تا ۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار در اراضی آبی بود (Seyed Jalali, 2016).

با توجه به بررسی‌های فوق و نتایج آنها به نظر می‌رسد که بیشتر بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف کشور با هدف تعیین پتانسیل عملکرد صورت گرفته است و عوامل کاهنده

شمارش بذر در سه تکرار و با دقت ۰/۰۱ گرم بدست آمد. شاخص برداشت دانه نیز از نسبت وزن دانه به عملکرد کل در هر کوادرات بر حسب درصد بدست آمد. مدیریت زراعی کشاورزان از قبیل: میزان بذر، تاریخ کاشت، مدیریت کودی، ادوات شخم و روش تهیه بستر، ماشین‌های کاشت، سیستم آبیاری، دفعات آبیاری، شوری آب آبیاری، مدیریت آفات و بیماری، روش کنترل علف هرز، سموم مورد استفاده و میزان دفعات بکارگیری، تناوب زراعی، ارقام مورد کشت، نوع بذر مصرفی، زمان و نحوه برداشت محصول، ریزش از کمباین و سایر مشکلات نظیر ورس، وضعیت بستر کشت و سطح ریسک پذیری کشاورز در تأمین نهاده مورد نیاز و سطح انتظارات کشاورز مورد بررسی قرار گرفت. در طول فصل رشد و پس از برداشت، از خاک محل آزمایش نمونه‌گیری شد و میزان عناصر نیتروژن، فسفر (Olsen *et al.*, 1945; Olsen *et al.*, 1982)، پتاسیم (Mc Lean and Watson, 1985)، کربن آلی (Walkey and Black, 1934) و نیتروژن و مواد آلی (محاسبه شده از کربن آلی) اندازه‌گیری شد.

آمار هواشناسی مورد نیاز از قبیل دمای حداقل و حداکثر روزانه، طول ساعات آفتابی، بارندگی و تشعشع کل بصورت روزانه از مرکز هواشناسی جمع‌آوری شد و مشخصات جغرافیایی هر مزرعه شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا نیز ثبت گردید. آمار تولید و سطح زیر کشت در استان یزد بر اساس داده‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید (جدول ۲). نیتروژن خاک در زمان کشت با استفاده از مدل تجربی و برآورد از میزان کربن آلی بدست آمد (Soltani, 2009). میزان خلأ عملکرد و تأثیر مدیریت‌های زراعی با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد انجام شد. بر اساس این روش، عملکرد استحصالی کشاورزان، Y و هر یک از اقدامات انجام شده به عنوان متغیر، X_i در نظر گرفته شد. سپس بر اساس رگرسیون گام به گام، مهمترین متغیرهای تأثیرگذار شناسایی گردید و توسط مدل رگرسیونی بدست آمده سهم هر یک از متغیرهای انتخابی در ایجاد خلأ عملکرد مشخص گردید (Soltani and Mirzaei, 2022). داده‌های آزمایش پس از آزمون توزیع نرمال (آزمون t) بصورت طرح آشیلنه‌ای در نرم‌افزار SAS و رویه GLM تجزیه گردید (Soltani and Torabi, 2014). مقایسات میانگین نیز بر اساس رویه Ismeans و رسم نمودارها در محیط

عملکرد را به صورت کلی به بارندگی کم، عوامل خاکی و مدیریت نامناسب ارتباط داده‌اند. به غیر از عوامل اقلیمی که در بهبود آن تأثیرگذاری کمی وجود دارد، عوامل خاکی و مدیریت نامناسب را تا حدود زیادی می‌توان مدیریت کرد. مدیریت نامناسب شامل محدوده بسیار وسیعی از عوامل، از سال‌ها پیش از کاشت تا زمان برداشت هستند که برآیند آنها می‌تواند عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در این پژوهش ضمن تعیین عوامل کاهنده عملکرد، به بررسی ریز مدیریت کشاورزان پرداخته شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در سایر نقاط کشور درباره علل خلأ عملکرد موجود در محصولات زراعی به ویژه گندم که هدف این پژوهش است و نتایجی که از ارزیابی‌های این بررسی‌ها بدست آمده می‌توان روی دستیابی به ۷۰ تا ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد (عملکرد قابل حصول) هدف‌گذاری کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزارع کشاورزی شهرستان ابرکوه انجام شد. ابرکوه جز فلات مرکزی ایران است و وسعتی بالغ بر ۵۳۴۷ کیلومتر مربع دارد و از جهت وسعت ششمین شهرستان بزرگ استان یزد محسوب می‌شود. این شهرستان در مقیاس عمومی، ویژگی‌های اقلیمی مناطق کویری درون فلاتی ایران را داراست و از مشخصات آن، کمی بارندگی، دامنه نوسان حرارتی کم و بیش زیاد و خشکی می‌باشد. برای انجام این پژوهش، ابتدا تعداد ۱۱ مزرعه گندم (مساحت ۰/۵ تا ۴ هکتار) از مناطق مختلف شهرستان ابرکوه و بر اساس پراکنش چاه‌های آب در منطقه و توصیه مراکز خدمات کشاورزی منطقه (میزان بالای همکاری کشاورزان) انتخاب گردید (جدول ۱). در طول فصل رشد به این مزارع سرکشی شد و اندازه‌گیری‌های لازم از شوری خاک، مدیریت زراعی، وضعیت رشدی گیاه، تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، طول مراحل رشدی (زمان کاشت، سبز شدن، پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، غلاف‌رفتن، خوشه‌دهی، گل‌دهی، شیرینی شدن، خمیری و رسیدگی برداشت) و عملکرد بدست آمده انجام گردید.

عملکرد دانه و تعداد سنبله در هر متر مربع در هر مزرعه با کوادرات یک متر مربعی و از نقاط مختلف مزرعه و در سه تکرار اندازه‌گیری و/یا شمارش گردید. تعداد دانه در سنبله از شمارش دانه‌ها در ۱۰ سنبله بطور تصادفی و وزن هزار دانه با دستگاه

اکسل انجام شد. در نهایت بر اساس نتایج بدست آمده از محاسبات انجام شده، به بررسی و تجزیه و تحلیل تفاوت اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات انجام شده از نحوه مدیریت مزارع و عملکرد ایجاد شده در هر مزرعه پرداخته شد.

جدول ۱- مدیریت‌های زراعی انجام شده در مزارع مورد بررسی شهرستان ابرکوه

Table 1- Agricultural managements carried out in the studied farms of Abarkoh

شماره مزرعه Farm Num.	مختصات جغرافیایی Geographic Coordinates	دفعات آبیاری - حجم آب ورودی به مزرعه Irri. No.-Water Volume Entering Farm (m ³ /ha)	تناوب زراعی دو ساله Biannual Rotation	میزان بذر مصرفی Seed Rate (Kg/ha)	تاریخ کشت-رقم Planting Date-Cultivar	دفعات تقسیم نیتروژن-مقدار مصرف نیتروژن N. Split Times-Applied N. (Kg/ha)	شخم تابستانه و پاییزه Summer and Autumn Plough
1	N 31.18, E 53.27	8-7448	آیش-گندم Fallow-Wheat	250	۱۰ آبان-طلایی 1 Nov.-Talaee	3-95	تابستانه و پاییزه Summer and fall
2	N 31.19, E 53.28	7-7503	آیش-گندم Fallow-Wheat	250	اواسط آبان-سیستان 6 Nov.-Sistan	5-120	تابستانه و پاییزه Summer and fall
3	N 31.01, E 53.36	9-8124	آیش-گندم Fallow-Wheat	250	اوایل آبان-سیستان 23 Oct.-Sistan	3-115	تابستانه و پاییزه Summer and fall
4	N 30.98, E 53.41	8-9118	آیش(یونجه)-گندم Fallow(Alfalfa)-Wheat	250	اواسط آبان-سیستان 6 Nov.-Sistan	2-115	پاییزه Fall
5	N 31.18, E 53.27	8-8816	یونجه-گندم Alfalfa-Wheat	230	اواسط آبان-سیستان 6 Nov.-Sistan	2-92	تابستانه و پاییزه Summer and fall
6	N 30.95, E 53.36	8-6786	آیش-گندم Fallow-Wheat	250	اوایل آبان-سیستان 23 Oct.-Sistan	2-115	تابستانه و پاییزه Summer and fall
7	N 31.05, E 53.33	9-8882	گندم-گندم Wheat-Wheat	210	اواسط آبان-برزگر 6 Nov.-Barzegar	3-115	تابستانه و پاییزه Summer and fall
8	N 31.17, E 53.28	7-5861	آیش-گندم Fallow-Wheat	250	اواخر آبان-سیستان 21 Nov.-Sistan	2-115	تابستانه و پاییزه Summer and fall
9	N 31.00, E 53.11	8-7721	آیش-گندم Fallow-Wheat	200	اوایل آبان-نارین 23 Oct.-Narin	1-115	پاییزه Fall
10	N 31.00, E 53.17	9-11036	آیش-گندم Fallow-Wheat	200	اوایل آبان-سیستان 23 Oct.-Sistan	1-115	پاییزه Fall
11	N 31.01, E 53.18	11-10662	آیش-گندم Fallow-Wheat	200	اواسط مهر-روشن 7 Oct.-Roshan	2-230	پاییزه Fall

جدول ۲- سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد گندم در استان یزد طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۳

Table 2- Cultivated area, wheat production and yield in Yazd province during 2014-2021

سال Year	۹۴-۱۳۹۳ 2014-2015	۹۵-۱۳۹۴ 2015-2016	۹۶-۱۳۹۵ 2016-2017	۹۷-۱۳۹۶ 2017-2018	۹۸-۱۳۹۷ 2018-2019	۹۹-۱۳۹۸ 2019-2020	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021
سطح زیر کشت Cultivated Area (ha)	13325	12150	11200	9767	10337	9100	9100
تولید Production (Ton)	40219	39494	41114	37636	34181	35035	--
عملکرد Yield (Kg/ha)	3018.3	3250.5	3670.9	3853.4	3306.7	3850.0	--

منبع: آمارنامه‌های کشاورزی

نتایج و بحث

عملکرد پتانسیل و میزان خلأ عملکرد

در این بررسی متوسط عملکرد بدست آمده از مزارع گندم، ۵۰۴۰ کیلوگرم در هکتار با دامنه ۳۱۶۷ تا ۷۶۲۲ کیلوگرم در هکتار بود. بر اساس رگرسیون گام به گام از مجموعه عوامل مدیریتی مورد بررسی و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای انجام شده، چند عامل به عنوان عوامل مؤثر در کاهش عملکرد انتخاب گردید و سهم هر عامل در کاهش عملکرد در جدول ۳ مشخص شد. مدل رگرسیونی بدست آمده بصورت رابطه ذیل بود:

$$Y = 6254.79 + 1601.39x_1 + 22.72x_2 + 159.09x_3 + 679.08x_4 + 9.17x_5 + 837.66x_6 - 135.37x_7 + 1051.03x_8$$

(رابطه ۱)

که در آن Y ، عملکرد دلنه و x_1 تا x_8 به ترتیب مدیریت تهیه بستر، تاریخ کاشت، دفعات تقسیط نیتروژن، دفعات آبیاری، مقدار کود نیتروژن، تناوب زراعی، کنترل علف‌های هرز و مصرف یا عدم مصرف کود دامی است. این مدل مقدار عملکرد واقعی را

۵۰۳۱ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد.

بر اساس جدول ۳ و مدل برازش داده شده، پتانسیل عملکرد و پتانسیل عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد پتانسیل عملکرد) بر اساس شرایط مدیریتی مطلوب به ترتیب ۹۶۹۰ و ۷۷۵۲ کیلوگرم در هکتار بود؛ لذا خلأ عملکرد آن ۴۶۵۹ کیلوگرم در هکتار و خلأ عملکرد قابل مدیریت آن ۲۷۲۱ کیلوگرم بدست آمد. پژوهشگران در گرگان خلأ عملکرد بدست آمده در مزارع مورد بررسی در گرگان را ۱۵۴۱ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند که با رعایت توصیه‌های مدیریتی می‌توان این عدد را تا حدود زیادی کم کرد (Hajjarpour *et al.*, 2016). پژوهشگران دیگر در خوزستان میزان خلأ عملکرد گندم را در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان محاسبه کردند که بین ۴۱ درصد در دزفول (۳۱۳۸ کیلوگرم در هکتار) تا ۶۶ درصد در ماهشهر (۵۰۶۹ کیلوگرم در هکتار) متغیر بود (Gharineh *et al.*, 2012).

جدول ۳- تاثیر متغیرهای انتخاب شده بر اساس نتایج رگرسیون بر خلأ عملکرد گندم در شهرستان ابرکوه

Table 3- The effect of selected variables based on regression results on wheat yield gap in Abarkouh

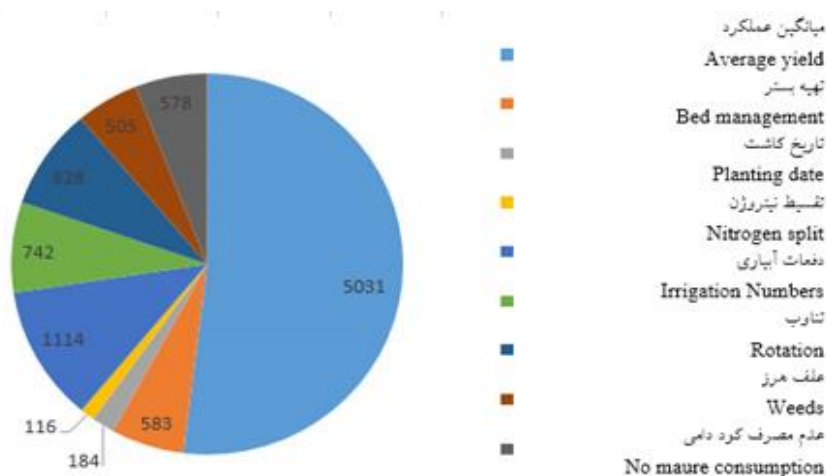
متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقدار متغیر در مدل Variable value in model		عملکرد حاصل با مدل Yield by model		کاهش عملکرد Yield decrease	
		میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	میانگین Mean	مقدار مطلوب Desired amount	مقدار Amount(kg/ha)	درصد Percent
عرض از مبدأ (Y) Intercept	-6254.79	1	1	-6254.79	-6254.79	--	--
مدیریت تهیه بستر (x1) Bed Management	1601.39	1.64	2	2619.87	3202.78	582.91	12.51
تاریخ کاشت (x2) Planting Date	22.72	36.91	45	838.59	1022.40	183.80	3.94
تقسیم نیتروژن (x3) N. Split	159.09	2.27	3	361.13	477.27	116.14	2.49
دفعات آبیاری (x4) Irrigation Number	679.08	8.36	10	5677.11	6790.80	1113.69	23.90
مقدار کود نیتروژن (x5) N.Fertilizer	19.17	51.31	90	983.61	1725.30	741.69	15.92
تناوب زراعی (x6) Rotation	837.66	1	2	837.66	1675.32	837.66	17.98
علف هرز (x7) Weeds	-135.37	3.73	0	-504.93	0	504.93	10.84
عدم مصرف کود دامی (x8) No Manure Consumption	1051.03	0.45	1	472.96	1051.03	578.07	12.41
مجموع Total	--	--	--	5031.23	9690.11	4658.88	100

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک شده و تأمین نیازهای غذایی گیاه از طریق مدیریت تلفیقی باعث بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش قابل توجه در عملکرد می‌شود (Rezaei, 2013). بر اساس نتایج جدول ۳، سهم علف‌های هرز در کاهش عملکرد، ۱۱ درصد و تاریخ کاشت، چهار درصد بود. در مزارع مورد بررسی، اکثریت کشاورزان در تاریخ کاشت اوایل تا اواسط آبان کشت خود را انجام دادند و لذا مزارعی که دیرتر و در اواخر آبان کشت شدند تا حدودی عملکرد کمتری تولید کردند. بر اساس نتایج جدول ۱، در نه مزرعه مورد بررسی در این پژوهش، تقسیط کود نیتروژن و مصرف کود سرک انجام شده بود بنابراین سهم دفعات تقسیط در کاهش عملکرد در این پژوهش تنها دو درصد بدست آمد.

بر اساس شکل ۱ و جدول ۳ سهم هشت عوامل مدیریتی تأثیرگذار در کاهش عملکرد دانه مزارع گندم مورد بررسی به ترتیب دفعات آبیاری (۲۴ درصد)، تناوب زراعی (۱۸ درصد)، مقدار کود نیتروژن (۱۶ درصد)، مدیریت تهیه بستر و مصرف کود دامی (هر کدام ۱۲ درصد)، علف هرز (۱۱ درصد)، تاریخ کاشت (۴ درصد) و تقسیط کود نیتروژن (۲ درصد) بودند. بنابراین با مدیریت دفعات آبیاری و مصرف کافی کود نیتروژن، می‌توان ۴۰ درصد از کاهش عملکرد جلوگیری کرد و با افزودن رعایت تناوب زراعی مناسب، مدیریت تهیه بستر، مصرف کود دامی و کنترل علف هرز، میزان جلوگیری از کاهش عملکرد به حدود ۹۴ درصد می‌رسد. بر اساس مدل رگرسیونی (رابطه ۱)، متوسط عملکرد مزارع مورد مطالعه ۵۰۳۱ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید و متوسط عملکرد مشاهده شده نیز ۵۰۴۰ کیلوگرم در هکتار بود که نشان‌دهنده برآورد مناسب مدل می‌باشد.

سهم عوامل مدیریتی در کاهش عملکرد

در بین عوامل انتخاب شده بر اساس رگرسیون گام به گام، سهم دفعات آبیاری در کاهش عملکرد ۲۴ درصد بدست آمد. این موضوع با توجه به فرار گرفتن منطقه در مناطق خشک (Montazeri and Dehghani, 2013) و سهمیه‌بندی آب توسط وزارت نیرو و تعطیلی دو ماهه چاه‌های آب و همچنین اولویت‌بندی کشاورزان به محصولات رقیب و با ارزش‌تر، دور از انتظار نیست. سهم تناوب زراعی در کاهش عملکرد ۱۸ درصد بود که این موضوع بخاطر تناوب یونجه-گندم در چند مزرعه بود که عملکردهای بالاتری تولید کردند. استفاده از بقولاتی مثل یونجه در تناوب باعث افزایش کربن آلی خاک می‌گردد (Sodaiezade *et al.*, 2019) و افزایش کربن آلی باعث حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول بعدی در تناوب می‌شود؛ بطوری‌که همبستگی ۸۰ درصدی بین کربن آلی و عملکرد گندم گزارش شده است (Zarea Feizabadi and Koocheki, 2012). بر اساس نتایج جدول ۳ در این پژوهش، مصرف کم مقدار کود نیتروژن باعث کاهش ۱۶ درصدی عملکرد دانه گردید و عدم مصرف کود دامی و مدیریت نامناسب تهیه بستر هر کدام ۱۲ درصد در کاهش عملکرد تأثیرگذار بودند. اهمیت مصرف مقدار کافی کود نیتروژن برای حصول حداکثر عملکرد در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است (Alizade and Soltani, 2016; Ifa, 2009). نتایج یک پژوهش با استفاده از آنالیز خط مرزی نشان داد که برای رسیدن به حداکثر روردهای ثبت شده در منطقه گرگان (بیش از شش تن در هکتار) نیاز به مصرف ۹۶ کیلوگرم نیتروژن خالص است که ۷۳ کیلوگرم آن باید بصورت سرک مصرف شود (Hajjarpour *et al.*, 2016). مصرف کود دامی نیز به نوبه خود باعث بهبود



شکل ۱- سهم عوامل مدیریتی زراعی در کاهش عملکرد مزارع مورد بررسی در شهرستان ابرکوه

Figure 1- The proportion of agricultural management variables on reducing the yield in investigated farms of Abarkoh

مزارع، ۳۰ دانه بدست آمد که دامنه آن ۲۴ تا ۳۴ دانه در سنبله به ترتیب در مزارع ۱ و ۲ هفت بود. درصد تأثیر تعداد دانه در سنبله در کاهش عملکرد ۲۰ درصد بدست آمد (جدول ۴). میانگین وزن هزا دانه نیز ۳۶ گرم با دامنه ۲۸ تا ۴۰ به ترتیب در مزارع ۳ و ۵ بود و درصد تأثیر این جزء در کاهش عملکرد ۱۰ درصد بدست آمد. میانگین شاخص برداشت مزارع ۳۸ درصد با دامنه ۲۷ تا ۴۶ درصد به ترتیب در مزارع ۹ و ۵ بود. از لحاظ میزان تأثیر در کاهش عملکرد، شاخص برداشت دانه ۲۹ درصد تأثیرگذار بود. یکی از عوامل مؤثر در شاخص برداشت، کسری از تولید است که پس از گرده‌افشانی صورت می‌گیرد لذا برای افزایش آن بایستی به فتوسنتز پس از گرده‌افشانی توجه کرد و یکی از راهکارهای مدیریتی عملی در این خصوص محلول پاشی نیتروژن می‌باشد. با توجه به اینکه جذب نیتروژن از خاک پس از گرده‌افشانی شدیداً کاهش یافته و نهایتاً متوقف می‌شود، لذا جذب برگی نیتروژن از طریق انجام محلول پاشی، می‌تواند ضمن بهبود فرایند فتوسنتز جاری، در تسهیل انجام انتقال مجدد نیز تأثیرگذار بوده و بدین طریق سهم زیادی در پر شدن دانه‌ها داشته باشد (Torabi et al., 2012). پژوهشگران تأثیر مثبت محلول پاشی نیتروژن در مراحل ساقه‌رفتن، گل‌دهی و خروج خوشه از غلاف برگ را بر افزایش شاخص برداشت گندم گزارش کردند (AbasDokht and Marvi, 2005). پژوهشگران دیگر نیز تأثیر مثبت محلول پاشی نیتروژن بر عملکرد دانه گندم را به اندازه مصرف تقسیط در زمان ساقه‌رفتن مؤثر دانستند، ولی تأکید کردند که واکنش ارقام مختلف در افزایش عملکرد و میزان جذب نیتروژن متفاوت است (Valizadeh and Khorsandi, 2016). در ارقام آرتا و مغان ۳ در منطقه گرگان با محلول پاشی کود ۵ درصد نیتروژن، باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار گردید که معنی‌دار نبود (Soughi et al., 2010).

برای افزایش شاخص برداشت از طریق مدیریت آبیاری، بایستی آبیاری به گونه‌ای مدیریت شود که بخش مناسبی از آب برای رشد و تولید عملکرد پس از گرده‌افشانی باقی بماند و بیوماس کافی نیز در زمان گرده‌افشانی ایجاد شود تا در زمان تشکیل و پر شدن دانه، سطح برگ کافی برای تعرق و فتوسنتز

پژوهشگران با استفاده از سیستم فرآیند سلسله مراتبی^۱ در منطقه گرگان بیان کردند که دیدگاه کشاورزان با کارشناسان کشاورزی در خصوص عوامل مدیریتی متفاوت است. از دیدگاه کارشناسان کشاورزی به ترتیب مدیریت نادرست آبیاری، نامناسب بودن ارقام مورد کشت از نظر ژنتیکی و استفاده نامناسب از کودهای پایه، سرک و میکرو دلایل اصلی کاهش عملکرد گندم در منطقه بودند، درحالی‌که از دیدگاه کشاورزان منطقه به ترتیب میزان نامناسب بذر در زمان کاشت، استفاده نامناسب از کود میکرو، عمق نامناسب کاشت، نامناسب بودن رقم مورد کشت از نظر ژنتیکی و ریزش بذر در هنگام برداشت محصول دلایل اصلی کاهش عملکرد گندم بودند. پس از بررسی‌های بیشتر، این پژوهشگران اولویت‌بندی کارشناسان را منطقی‌تر توصیف کردند (Torabi et al., 2013). این پژوهشگران در تحقیقی دیگر، ضمن تحلیل عوامل محدود کننده عملکرد گندم در منطقه گرگان بیان داشتند که بین عملکرد کشاورزان و عملکرد قابل حصول منطقه ۲۳۴۸ کیلوگرم تفاوت وجود دارد و با مدیریت مناسب کود نیتروژن و پتاسیم و تاریخ کاشت، می‌توان این فاصله را تا حدود زیادی از بین برد (Torabi et al., 2012).

بررسی اجزای عملکرد دانه

بر اساس نتایج رگرسیون، اجزای عملکرد مؤثر در کاهش عملکرد شامل تعداد سنبله در متر مربع (x1)، تعداد دانه در سنبله (x2)، وزن هزار دانه (x3) و شاخص برداشت (x4) دانه بودند. مدل رگرسیونی برازش شده بصورت:

$$Y = -3115.13 + 6.22x_1 + 68.00x_2 + 24.07x_3 + 62.03x_4$$

(رابطه ۲)

بود که در آن x1 تا x4 به ترتیب تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت دانه هستند. بر اساس نتایج جدول ۴، میانگین تعداد سنبله در متر مربع ۴۶۵ سنبله بود و بیشترین و کمترین آن به ترتیب در مزرعه پنج و ۱۱ با ۶۱۷ و ۲۳۳ سنبله در متر مربع بدست آمد. بیشترین تأثیر در کاهش عملکرد نیز مربوط به همین جزء با ۴۱ درصد بود (جدول ۴). میانگین تعداد دانه در سنبله در

۱. Analytical Hierarchy Process (AHP)

گردید. تناوب زراعی مناسب و گنجاندن گیاهانی مثل یونجه در تناوب زراعی، تهیه بستر مناسب برای استقرار کافی بوته، زمان کشت مناسب، استفاده از کود به مقدار کافی، تقسیط کود نیتروژن، مدیریت مناسب آبیاری و کنترل علف‌های هرز از مواردی است که در این پژوهش برجسته شدند و هر کدام سهم مشخصی در کاهش عملکرد داشتند. بیشترین سهم نیز در کاهش عملکرد مربوط به دفعات آبیاری بود که بیانگر کاهش حجم آب ورودی به مزرعه می‌باشد. تنش خشکی در مرحله رویشی باعث کاهش سطح برگ می‌شود که منجر به کاهش نسبت تبخیر به مجموع تبخیر و تعرق می‌شود و راندمان استفاده از آب کاهش می‌یابد. از نظر تغذیه‌ای نیز می‌توان به افزایش کارایی مصرف کود اشاره کرد که باعث افزایش شاخص برداشت خواهد شد. مدیریت‌های زراعی که در این خصوص اهمیت دارند، شامل اعمال تغذیه‌های متوازن عناصر غذایی است؛ بطوری‌که کمبود یک عنصر فراهمی بقیه عناصر را مختل نکند. استفاده از تناوب زراعی و گنجاندن بقولات در تناوب و افزایش ماده آلی خاک از طریق مصرف کود دامی که منبع مناسب و پایدار عناصر از جمله نیتروژن و فسفر است. تقسیط کود نیتروژن به دفعات مناسب که باعث جلوگیری از تلفات آبشویی نیترات خواهد شد. تمامی این عوامل در نهایت منجر به افزایش شاخص برداشت دانه خواهد گردید.

وجود داشته باشد یعنی رشد رویشی کافی نیز صورت پذیرد در غیر این صورت تعداد سنبله و دانه کافی برای پرشدن تشکیل نخواهد شد. این موضوع به‌خصوص در شرایطی که دفعات دسترسی به آب محدود است اهمیت بیشتری دارد. برای داشتن رشد رویشی کافی نیز تمام مدیریت‌های زراعی لازم برای رسیدن به پوشش حداکثر در زمان کوتاه بایستی انجام گیرد. این عملیات می‌تواند شامل میزان مناسب بذر، تاریخ کاشت به‌موقع، تهیه بستر مناسب و تناوب صحیح زراعی باشد. کنترل علف‌های هرز در ابتدای فصل کشت باعث خواهد شد تا سهم تعرق گیاه زراعی افزایش یافته و کارایی مصرف آب نیز بالاتر برود. با افزایش نسبت تعرق یا سهم کسری از آب ورودی به مزرعه که در تعرق مصرف می‌شود، می‌توان کارایی مصرف آب و عملکرد را افزایش داد (Soltani, 2009). عملیات تهیه بستر مناسب و شخم عمیق، افزایش ماده آلی خاک برای حفظ رطوبت، تناوب زراعی مناسب و استفاده از گیاهانی مثل کلزا و یونجه در تناوب که با ایجاد منافذ در خاک باعث تسهیل نفوذ ریشه گیاه بعدی می‌گردد، به همراه تغذیه و کوددهی مناسب برای گسترش و رشد ریشه، مبارزه با علف‌های هرز و آیش‌گذاری و حفظ بقایا راه‌کارهایی هستند که می‌توانند باعث افزایش سهم تعرق در گیاه زراعی بشوند. در پژوهش حاضر نیز بر اساس نتایج جدول ۳ سهم این مدیریت‌ها در کاهش عملکرد مشخص

جدول ۴- تأثیر اجزای عملکرد بر میزان خلأ عملکرد با استفاده از مدل برازش شده در مزارع مورد بررسی شهرستان ابرکوه

Table 4- The effects of yield components on the yield gap using the fitted model in the investigated farms of Abarkoh															
شاخص برداشت دانه		وزن هزار دانه		تعداد دانه در سنبله		تعداد سنبله در متر مربع		عملکرد دانه				Farm no.			
Grain harvest index (%)		1000 Kernel weight (g)		Grain/spike		Spike/m ²		Grain yield (kg/ha)							
Effectiveness (%)	Deficiency درصد تاثیر	Obtained کمبود	Effectiveness (%)	Deficiency درصد تاثیر	Obtained کمبود	Effectiveness (%)	Deficiency درصد تاثیر	Obtained کمبود	Effectiveness (%)	Deficiency درصد تاثیر	Obtained کمبود	Fitted	Obtained	Farm no.	شماره مزرعه
33.1	15.9	39.1	11.4	14.2	35.8	24.8	10.9	29.1	30.7	147.3	552.7	2986.8	5587.2	5552.7	1
29.3	11.5	43.5	19.6	17.8	30.2	20.5	7.3	32.7	30.7	120.0	580.0	2432.8	6141.2	6572.5	2
32.2	19.8	35.2	14.1	22.4	27.6	14.0	7.9	32.1	39.7	243.3	456.7	3816.0	4758.0	4812.0	3
18.9	12.1	42.9	7.6	12.5	37.5	22.1	12.9	27.1	51.4	328.7	371.3	3973.8	4600.3	3167.4	4
26.1	8.5	46.5	11.9	9.9	40.1	36.1	10.7	29.3	25.8	83.3	616.7	2007.7	6566.4	7622.2	5
31.9	16.1	38.9	9.6	12.4	37.6	16.1	7.4	32.6	42.4	213.3	486.7	3128.7	5445.3	5171.5	6
37.5	16.1	38.9	13.8	15.2	34.8	15.0	5.9	34.1	33.6	143.3	556.7	2653.5	5920.6	5666.1	7
27.2	14.3	40.7	9.7	13.2	36.8	16.7	8.0	32.0	46.4	243.3	456.7	3263.4	5310.6	4611.0	8
33.3	27.8	27.2	5.5	11.9	38.0	21.5	16.4	23.6	39.6	329.3	370.7	5177.6	3396.5	3899.1	9
35.2	23.2	31.8	6.5	11.1	38.9	17.8	10.7	29.3	40.5	266.7	433.3	4093.8	4480.2	4786.9	10
21.9	18.9	36.1	6.0	13.4	36.6	17.6	13.8	26.2	54.4	466.7	233.3	5337.0	3237.0	3580.2	11
29.4	16.7	38.3	9.7	14.0	35.8	19.6	10.2	29.8	41.4	235.3	465.0	3533.4	5040.6	5040.1	Mean

افزایش داد (Torabian and Maghsoudi, 2014).

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج این تحقیق، پتانسیل عملکرد گندم در شهرستان ابرکوه ۹۶۹۰ کیلوگرم در هکتار بود و با توجه به عملکرد استحصالی کشاورزان، میزان خلأ عملکرد ۴۸ درصد معادل ۴۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که ۲۷۲۱ کیلوگرم آن قابل استحصال در نظر گرفته می شود. بنابراین پتانسیل عملکرد قابل استحصال در منطقه ۷۷۵۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در این پژوهش، بیشترین عوامل مدیریتی در کاهش عملکرد به ترتیب مربوط به تعداد ناکافی آبیاری با سهم ۲۴ درصد (۱۱۱۴ کیلوگرم در هکتار)، عدم رعایت تناوب زراعی مناسب با سهم ۱۸ درصد (۸۳۸ کیلوگرم در هکتار)، مصرف ناکافی کود نیتروژن با سهم ۱۶ درصد (۷۴۲ کیلوگرم در هکتار)، مدیریت تهیه بستر با سهم ۱۲/۵ درصد (۵۸۳ کیلوگرم در هکتار)، عدم استفاده از کود دامی با سهم ۱۲/۴ درصد (۵۷۸ کیلوگرم در هکتار) و عدم کنترل مناسب علف های هرز با سهم ۱۱ درصد (۵۰۵ کیلوگرم در هکتار) بودند که مجموعاً ۹۳/۵ درصد از کاهش عملکرد را شامل می شدند. تاریخ کاشت نامناسب و تقسیط ناکافی کود نیتروژن نیز مجموعاً با سهم ۶/۵ درصد باعث کاهش ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گردیدند. با توجه به اینکه عوامل مدیریتی مثل مدیریت تهیه بستر، تاریخ کاشت، مدیریت حاصلخیزی و مدیریت آبیاری نسبت به هم اثرات متقابل دارند و به تنهایی نمی توانند باعث افزایش عملکرد قلیل توجه گردند، لذا داشتن یک زراعت موفق می بایست در هر مزرعه بر اساس یک بسته مدیریتی مناسب عمل کرد. هرچند نمی توان یک بسته مدیریتی واحد را برای تمامی مزارع شهرستان توصیه کرد؛ با وجود این، در پژوهش حاضر، مزارع پنج و دو به لحاظ داشتن مدیریت های مناسب تر، دارای عملکرد بیشتری بودند و می توان اقدامات مدیریتی این دو مزرعه را بیشتر مورد توجه قرار داد.

بر اساس نتایج جدول ۴، مزرعه شماره پنج کمترین خلأ عملکرد با مقدار ۲۰۰۷ کیلوگرم در هکتار و مزرعه ۱۱ بیشترین خلأ عملکرد با ۵۳۳۷ کیلوگرم در هکتار را داشتند. میانگین خلأ عملکرد برای مزارع مورد بررسی از طریق بررسی اجزای عملکرد دانه، ۳۵۳۳ کیلوگرم در هکتار بود. سهم تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در کاهش عملکرد مزرعه شماره پنج به ترتیب ۲۵/۸۲، ۳۶/۱۴، ۱۱/۹۰ و ۲۶/۱۴ درصد و در مزرعه شماره ۱۱ به ترتیب ۵۶/۳۹، ۱۷/۶۲ و ۶/۰۵ و ۲۱/۹۴ درصد بود. این اعداد برای میانگین همه مزارع مورد بررسی به ترتیب ۴۱/۳۷، ۱۹/۵۷، ۹/۶۷ و ۲۹/۳۹ درصد بود. مؤثرترین جزء عملکرد، تعداد سنبله در متر مربع بود و در عملیات زراعی بایستی به این موضوع توجه ویژه ای داده شود. برای افزایش تعداد سنبله در متر مربع، ایجاد یک بستر مناسب برای استقرار کافی بوته، بسیار لازم است و پس از آن داشتن بوته های قوی در یک بستر حاصلخیز و با رطوبت کافی که بتوانند به تعداد کافی پنجه بارور تولید نمایند. در مزرعه شماره پنج، تعداد سنبله در متر مربع ۶۱۷ عدد بود و لذا سهم آن در کاهش عملکرد در این مزرعه کمتر بود، ولی تعداد دانه در سنبله ۲۹/۳۳ دانه بود و تأثیر بیشتری در کاهش عملکرد در این مزرعه ایجاد کرد. تنش آبی در مرحله گرده افشانی و گل دهی می تواند روی این جزء عملکرد بسیار تأثیر بگذارد. بر اساس نتایج جدول ۵، وزن هزار دانه در همه مزارع مورد بررسی، تأثیر کمتری در کاهش عملکرد از بقیه اجزای عملکرد داشت و شاخص برداشت دانه پس از تعداد سنبله در متر مربع بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد داشت. برای داشتن یک شاخص برداشت بالا که خود هر سه جزء تعداد سنبله، تعداد دانه و وزن دانه را شامل می شود، بایستی مدیریت زراعی مناسبی را قبل از کاشت تا زمان برداشت اجرا کرد. پژوهشگران دیگر طی انجام یک پژوهش بیان داشتند که برای رسیدن به عملکرد بالاتر در شرایط بدون تنش آبی باید به ترتیب شاخص برداشت، تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله و در شرایط تنش، در درجه اول شاخص برداشت و سپس تعداد دانه در سنبله را

References

- Abas Dokht, H. and Marvi, H., 2005. The effect of nitrogen spraying on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36(6), pp.1325-1331 [In Persian].
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J., 2012. World agriculture towards 2030/2050. Global Perspective Studies Team

- FAO Agricultural Development Economics Division. ESA Working Paper No. 12-03.
- Alizadeh, P. and Soltani, A., 2016. Simulation of soil nitrogen balance in wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Gorgan, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18(3), pp.218-231. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.15625540.1395.18.3.3.6**
- Borna, R. and Amiri, H., 2017. Study the effect of climate on wheat in the east of Khuzestan, using GIS and AHP model. *Quarterly of Geography & Regional Planning*, 6(2), pp.33-54. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22286462.1395.6.2.3.8**
- Connor, D.J., Loomis, R.S. and Cassman, K.G., 2011. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 556 p.
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. and Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, pp.337-342. **doi: 10.1038/nature10452**
- Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A., Andarzian, B. and Fayeziadeh, N., 2012. Agro-climatic zonation of Khuzestan province based on potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. *Quarterly Journal of Agroecology*, 4(3), pp.255-264. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v4i3.15314**
- Gobbett, D., Hochman, Z., Horan, H., Navarro Carcia, J., Grassini, P. and Cassman, K., 2016. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science*, 155(2), pp.282-299. **doi: 10.1017/s0021859616000381**
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, pp.812-818. **doi: 10.1126/science.1185383**
- Hajjarpour, A., Soltani, A. and Torabi, B., 2016. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Crop Production*, 8(4), pp.183-201. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1394.8.4.10.6**
- Hajjarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Aynehband, A. and Nazeri, M., 2017. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis (CPA) method. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(2), pp.86-101. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.15625540.1396.19.2.1.9**
- Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H. and Garcia, J.N., 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research*, 197, pp.97-106. **doi: 10.1016/j.fcr.2016.08.017**
- Ifa, Unname. 2009. Assessment of fertilizer use by crop at global level. Statistic [Online]. Available at: www.fertilizer.org.
- Ingram, J., 2011. "A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change." *Food Security*, 3(4), pp.417-431. **doi: 10.1007/s12571-011-0149-9**
- Introduction of agricultural varieties. 2015. *Agricultural Research, Education and Extension Organization*.
- Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Mansouri, H. and Moradi, R., 2017. Effect of Climate and Management Factors

- on Potential and Gap of Wheat Yield in Iran with Using WOFOST Model. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 15(2), pp.244-256. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v15i2.54278**
- Lobell, D.B., Cassman, K.G. and Field, Ch.B., 2009. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34, pp.1-26. doi: **10.11146/annurev.environ.041008.093740**
- Mc Lean, E.O. and Watson, M.E., 1985. Soil measurements of plant-available potassium. pp. 277-308 In: *Munson, R.D. (ed.) Potassium in agriculture*. SSSA. Madison, WI.
- Montazeri, M. and Dehghani, M., 2013. Climatic regionalization of Yazd province using multivariate statistical methods. *Quarterly Journal of Physical Geography*, 6(19), pp.45-58. [In Persian].
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe F.S. and Dean, C.A., 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agriculture Circular. No. 939, 19.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorous. pp. 423-424. In: *Methods of soil analysis (2nded) part2*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Rezaei, H., 2013. A review of research on application of livestock manure in agricultural land of Iran. *Land Management Journal*, 1(1), pp.55-68. [In Persian]. doi: **10.22092/lmj.2013.100076**
- Seyed Jalali, S.A., 2016. Determination of land production potential for wheat in Gotvand and Shoustar areas, Khuzestan province. *Journal of Land Management*, 3(1), pp.15-23. [In Persian]. doi: **10.22092/lmj.2015.103669**
- Seyed Jalali, S.A., Sarmadian, F. and Shorafa, M., 2013. Modeling of Land Production Potential for Irrigated Winter Wheat in Aghili Plain, Khuzestan Province. *Iranian Journal of soil Research*, 27(4), pp.427-439. [In Persian]. doi: **10.22092/ijsr.2014.126277**
- Sodaiezade, H., Advin, S., Hakimi. M.H., Hakhmzadeh. M.A. and Hoshmandzade, F., 2019. The Effect of Crop Rotation on Some Soil Properties in Dry Lands (Case Study Roknabad Maybod). *Journal of Environmental Science Studies*, 4(4), pp.2056-2062 [In Persian].
- Soltani, A., 2009. Mathematical Modeling in Field Crops. Jahad Danedhgahi Mashhad Press. 175p. [In Persian].
- Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., van Loon, M.P. and van Ittersum, M.K., 2020. Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*, 24, 100351. doi: **10.1016/j.gfs.2020.100351**
- Soltani, A., Maddah, V. and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*, 7(4), pp.711-740. doi: **10.22069/ijpp.2013.1266**
- Soltani, A. and Mirzaei, A., 2022. Analysis of Potential Yield and Yield Gap in Plant Production Systems. Sirang Press, Gorgan, Iran. 45p. [In Persian].
- Soltani, A., NehBandani, A., Zeinali, E., Torabi, B. and Zand, E., 2018. Yield gap atlas and production capacity of important crops in the country in current and future climatic conditions. Sirang Press. 268p. [In Persian].
- Soltani, A. and Torabi, B., 2014. Design and Analysis of Agricultural Experiment (with SAS Programs). Jahad Daneshgahi Mashhad Press. 430p. [In Persian].
- Soughi, H., Kazemi, M., Kalateh Arabi1, M., Shykh, F., Abroudi, S.A.M. and Askar, M., 2010. Effect of different

- amounts of foliar- and soil- applied N on yield and yield components of promising bread wheat (*Triticum aestivum*) lines in Gorgan. *Crop Production*, 2(4), pp.167-176. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1388.2.4.10.4**
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zeinali, E., 2012. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Crop Production*, 4(4), pp.1-17. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1390.4.4.1.9**
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Kazemi Korgehei, M., 2013. Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Crop Production*, 6(1), pp.171-189. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1392.6.1.10.6**
- Torabian, A. and Maghsoudi, K., 2014. Study on relationship between yield and yield components of wheat under normal irrigation and and drought stress conditions by path analysis method. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazeadegi)*, 104, pp.47-53. [In Persian]. **doi: 10.22092/aj.2014.101642**
- Valizadeh, G.R. and Khorsandi, H., 2016. Study on effects of foliar spraying and soil split application of nitrogen on differences of dry land wheat varieties and genotype for nitrogen uptake, grain and straw yields. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 5(1), pp.87-98. [In Persian]. **doi: 10.22092/idaj.2016.107113**
- Van Ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tittonell, P. and Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A Review. *Field Crops Research*, 143, pp.4-17. **doi: 10.1016/j.fcr.2012.09.009**
- Van Wart, J., Kersebaum, C.K., Peng, S., Milner, M. and Cassman, K.G., 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, pp.34-43. **doi: 10.1016/j.fcr.2012.11.018**
- 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), pp.29-38. **doi: 10.1097/00010694-193401000-00003**
- Zarea Feizabadi, A., Koocheki, A. and Nasiri mahalati, M., 2006. Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 4(1), pp.42-69. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v4i1.1318**
- Zarea Feizabadi, A. and Koocheki, A., 2012. Effects of different crop rotations on yield and yield components of wheat in cold regions of Iran. *International Journal of Agricultural Crop Science*, 4(10), pp.616-621.

Identification of yield-reducing factors using Comparative Performance Analysis (CPA) method in wheat fields (Case study: Abarkoh)

Amin Anagholi^{1*}, Majid Nikkhah², Zohre Omidvari³

¹ Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), National Salinity Research Center, Yazd, Iran

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

³ Agronomy Expert of Abarkoh Agricultural Service Center, Yazd Agricultural Jihad and Natural Resources Organization, Yazd, Iran

*Corresponding Author: anagholi@yahoo.com

Received: 9 November 2022

Accepted: 1 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.368709.1288

Abstract

Introduction: Feeding the Iran's over than 90 million people has been recognized as one of the most important challenges of country in 2050; so we need to increase yields of crops in cultivated areas. Mostly the actual yields obtained by farmers are less than the potential yields of the region, due to management, climatic, nutrients, soil properties, weeds and/or other living and non-living stress factors. The differences between these potential yield levels and actual farmers' yields define the yield gaps, and precise spatially explicit knowledge about these yield gaps is essential to guide sustainable intensification of agriculture. The goal of this experiment is finding of limiting factors that affected the wheat yield and then reduce the yield gap between potential and actual yields of farmers in the fields of Abarkoh city located in Yazd province.

Materials and Methods: Eleven wheat farms were selected with the coordination and consultation of agricultural service centers in different regions of Abarkoh counties. Soil samples were prepared from all farms before planting. All agricultural operations performed by farmers such as tillage methods, planting date, cultivars used, seed rate, cultivation area, crop rotation, fertilizers used and fertilization time, irrigation operations, pest and disease control, weeding and/or spraying herbicide and harvest methods were noted or measured. At the end of tillering phase and harvest time, soil was sampled and its nutrients, organic matter and salinity were determined. At harvest time, samples were taken from different parts of the field by one square meter plots and 10 plants were randomly selected to measure yield components. The farmer's performance with the combine was also recorded based on the farmers' claims and the approval of the local expert. Nitrogen, phosphorus and potassium levels were measured in grain, straw and soil after harvesting operation. Meteorological data were collected daily from the Abarkoh weather station. The potential yield of region was calculated using regression model and the difference between obtained yield and potential yield was considered as yield gap. Eighty percent of potential yield is also considered as exploitable yield. Using step-by-step regression, the most effective factors in yield reduction were identified and a suitable regression model was fitted for these variables against grain yield. Then, the degree of influence of each variable was determined using Comparative Performance Analysis.

Results and Discussion: The results showed that the average yield obtained from these farms was 5040 kg/ha and the yield gap was 4659 kg/ha, of which 2721 kg can be attainable. The order of the importance of agricultural operations in reducing yield in the form of insufficient number of irrigations (24 percent), lack of crop rotation with pulses (18 percent), low consumption of nitrogen fertilizer (16 percent), the method of preparing the cultivation bed and plowing times (12 percent), lack of manure fertilizer consumption (12%), improper weed control (11%), improper planting date (4%) and insufficient nitrogen split (3%). The analyze of grain yield components also showed that the share of the number of spikes per square meter, number of seeds per spike, 1000 kernel weight and harvest index in yield reduction are 39, 24, 12 and 25% respectively.

Conclusion: Based on the results obtained , we can to define an optimal crop management : enough irrigation (10 times), rotation with legumes, use enough nitrogen fertilizer, use animal manure to increase soil organic matter, plowing in summer and autumn, weed control, proper planting date and Nitrogen split 3 times. Considering that management factors mentioned above have mutual effects on each other and cannot cause a significant yield increase alone, therefore, in order to have a successful agriculture, it is necessary to act on the basis of a suitable management package.

Keywords: Agronomic management, Potential yield, Production restriction factors, Yield gap

بررسی اثر تنش کم آبیاری بر ترکیبات تشکیل دهنده اسانس و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه دارویی برازمبل (*S. abrotanoides*)

مهوش افشاری^{۱*}، مهدی رحیم ملک^۲، محمدرضا سبزه‌علیان^۱

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* مسئول مکاتبه: m.afshari1992@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.338848.1228

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد، نمو و فرایندهای بیوشیمیایی گیاه مانند تولید متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گیاه برازمبل (زیرجنس *Perovskia* از جنس *Salvia*) متعلق به تیره نعناعیان می‌باشد و مصارف دارویی فراوانی دارد. به منظور بررسی اثر تنش کم آبیاری بر محتوای پلی فنول‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و ترکیبات تشکیل دهنده اسانس دو جمعیت برازمبل از گونه *S. abrotanoides*، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در دو سال متوالی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا شد. سطوح رطوبتی اعمال شده شامل: در حد ظرفیت زراعی مزرعه (شاهد)، ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) بود. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی میزان فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، غلظت پرولین و درصد اسانس نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین، در مقایسه بین دو جمعیت، بیشترین مقدار فنول و فلاونوئید کل و خاصیت آنتی اکسیدانی در جمعیت ایبانه نسبت به جمعیت دیگر و در سال دوم زراعی مشاهده گردید. هم چنین در سطوح تنش ملایم و شدید، درصد همه ترکیبات غالب اسانس (دلتا ۳ کارن، کمفور، ۸۱ سینئول، برنتول، میرسن و آلفاپینن) افزایش یافت و در نتیجه موجب بهبود کیفیت اسانس این گیاه گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی ملایم و شدید به طور قابل توجهی باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه، فعالیت آنتی اکسیدانی و درصد ترکیبات اصلی اسانس شد و این موضوع بینشی برای بهبود کمی و کیفی اجزای زیست فعال گیاه برازمبل با ایجاد تنش رطوبتی مدیریت شده فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تنش رطوبتی، خانواده نعناعیان، فلاونوئید، فنول کل، مونوترپن‌ها

مقدمه

بسیار بیشتر از سایر گونه‌های سالویا است و در این طبقه بندی‌ها، گروه خواهری برازمبل با رزماری نیز حائز اهمیت می‌باشد (Drew and Sytsma, 2012). از نظر جغرافیایی، این گیاه بومی جنوب غرب آسیا و آسیای مرکزی می‌باشد و از پراکنش وسیعی در استان‌های گلستان، اصفهان، خراسان رضوی و جنوبی، مازندران و سیستان و بلوچستان برخوردار است. در منابع برای زیر جنس *Perovskia* نه گونه ذکر شده است؛ که سه گونه *S. abrotanoides*، *S. atriplicifolia* و *S. artemisioides* متداول‌ترین در ایران هستند. برای این گیاه خواص دارویی مختلف نظیر درمان تیفوئید، سالک، مالاریا، تب بر، مسکن دردهای روماتیسمی، کنترل عفونت و تأثیرات ضد التهابی ذکر شده است (Ghaffari et al., 2019).

متابولیت‌های ثانویه از بیوسنتز متابولیت‌های اولیه به دست می‌آیند و به عنوان ترکیبات فرعی و انتهایی متابولیسم اولیه در

امروزه گیاهان دارویی، از اهمیت چشمگیری در بین محصولات کشاورزی برخوردار می‌باشند و پیشرفت در زمینه تولید و افزایش کیفیت گیاهان دارویی یکی از اهداف مهم فعالان بخش کشاورزی به شمار می‌آید. گیاهان دارویی در ایران جزء ذخایر ژنتیکی ارزشمند محسوب می‌شوند. امروزه بسیاری از تحقیقات علوم گیاهی به جنبه‌های مختلف کاربردی این گیاهان معطوف شده است؛ از این رو پژوهشگران کشورهای مختلف، تحقیقات ارزشمندی را در زمینه گیاهان دارویی به انجام رسانده‌اند (Sabagh et al., 2017). گیاه دارویی برازمبل (زیرجنس *Perovskia* از جنس *Salvia*) متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae) و گیاهی درختچه‌ای و چندساله می‌باشد. هم چنین از نظر فیلولوژی، شباهت این گیاه دارویی با ارزش و کمتر شناخته شده به زیر گروه شماره یک جنس سالویا

Arpanahi and (2019)، آویشن (*Thymus vulgaris*) (Feizian, 2019)، ماریتغال (*Silybum marianum*) (El-) (Sayed et al., 2019)، بادرشبو (*Dracocephalum*) (Ghanbarzadeh et al., 2019)، بومادران (*Achillea pачycephala*) (Gharibi et al., 2019)، کنگر فرنگی (*Cynara cardunculus*) (Nouraei et al., 2018)، مریم گلی (*Salvia officinalis*) (Vosoughi et al., 2018)، مرزنجوش (*Origanum vulgare*) (Morshedloo et al., 2017)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Zardak et al., 2017)، بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) (Farahani et al., 2009)، و مورد (*Myrtus communis*) (Caravaca et al., 2005)، انجام شده است.

رادیکال‌های آزاد به دلیل داشتن الکترون آزاد، گونه‌هایی فعال و در نتیجه ناپایدار هستند. گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شامل آنیون سوپراکسید، رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن، به علت تمایل زیاد برای واکنش با سایر مولکول‌ها می‌توانند به سلول‌ها و بافت‌ها آسیب برسانند. این مولکول‌ها در غلظت‌های بالا موجب ایجاد وضعیتی به نام استرس اکسیداتیو می‌شوند که در اثر برهم خوردن تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد از یک سو و تضعیف سیستم آنتی‌اکسیدانی از سوی دیگر ایجاد می‌شود. گیاهان دارویی قادرند تحت استرس‌های محیطی با سنتز مواد مؤثر ثانویه و فعال از جمله ترپنوییدها، پلی‌فنول‌ها و آلکالوئیدها، در پاک‌کنندگی رادیکال‌های آزاد و کلاته‌کنندگی فلزات مؤثر واقع شوند (Morshedloo et al., 2017).

تاکنون پژوهش‌های بسیار محدودی بر گیاه برازمبل معطوف گردیده است. پژوهشگرانی تأثیر نور LED بر روند انباشت ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها در دو گونه برازمبل شامل *S. abrotanoides* و *S. atriplicifolia* را بررسی نمودند (Ghaffari et al., 2019). در تحقیقی خاصیت آنتی‌اکسیدانی گونه *S. abrotanoides* مورد بررسی قرار گرفته است (Ashraf et al., 2014). در مطالعه‌ای روی عصاره اتانولی گونه *S. abrotanoides* جمع‌آوری شده از استان سمنان، مشاهده گردید که بین قدرت عصاره گیاهی در به دام انداختن رادیکال‌های آزاد و میزان ترکیبات فنولیک در این گیاه ارتباط معنی‌داری وجود داشت (Ghaffourian and Mazandarani, 2019).

نظر گرفته می‌شوند. هم‌چنین این ترکیبات در فرآیندهای متابولیسمی وارد نمی‌شوند اما ابزار مهمی در گیاهان برای مقابله با علف‌خواران و میکروب‌ها به شمار می‌آیند. از جمله مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه؛ آلکالوئیدها، فنولیک‌ها، روغن‌های ضروری، تانن‌ها و فلاونوئیدها هستند. این ترکیبات عمدتاً در سلول‌های تخصصی و در مرحله خاصی از چرخه زندگی گیاه تولید می‌شوند و همین امر، استخراج و تخلیص آن‌ها را در مقایسه با متابولیت‌های اولیه که در تمام سلول‌ها تولید می‌شوند، دشوار می‌نماید (El-Sayed et al., 2019).

به‌طور کلی، ۷۰-۸۰ درصد اسانس برازمبل را مونوترپن‌های اکسیژن‌دار نظیر کامفور، برنیل استات و (۸۰ سینئول (به‌عنوان بارزترین مونوترپن در اسانس آن‌ها) و سسکوی‌ترپن‌های هیدروکربن‌دار غالب شامل آلفا-هیومولن، آلفا و بتا-کاروفیلین، گاما و دلتا-کادینن، شامل می‌شوند (Hafez Ghoran et al., 2016). در پژوهشی مشاهده نمودند که اسانس اندام هوایی حاوی گل *S. abrotanoides*، دارای ترکیباتی با خاصیت سیتوتوکسینی است و نقش مهمی در حفظ محصولات انباری به عنوان دفع‌کننده آفات دارد، که این خاصیت را به ترکیب (۸۰ سینئول نسبت دادند (Arabi et al., 2008).

از اهداف اصلی به‌نژادی گیاهان دارویی، افزایش کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه می‌باشد. استفاده از محرک‌های زنده و غیر زنده‌ای که بتوانند مسیرهای متابولیسمی سنتز متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر و میزان تولید آن‌ها را افزایش دهند، از جمله این راهکارهاست. خشکی از جمله تنش‌های فیزیکی است که به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان در اکثر نقاط جهان و خصوصاً ایران شناخته می‌شود. پژوهش‌های بسیاری اظهار داشته‌اند که خشکی یک تنش چند بعدی است که تمام جنبه‌های رشدی گیاه از جمله آناتومی، مورفولوژی، فیزیولوژی، بیوشیمیایی و بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم‌چنین، صدمات اکسیداتیو نیز از عوامل مهم محدودکننده تولیدات گیاهی هستند که در اثر تنش خشکی ایجاد می‌شوند (Gharibi et al., 2019).

مطالعات متعددی در زمینه تأثیر تنش رطوبتی و خشکی بر میزان متابولیت‌های ثانویه و اسانس در گیاهان دارویی مختلف نظیر خرفه (*Portulaca oleracea*) (Hosseinzadeh et al., 2019).

برای اعمال شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی ملایم و شدید در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ بوته با فاصله بین ردیف ۱۰۰ سانتی متر و فاصله بوته در ردیف ۷۰ سانتی متر بود. در سال اول زراعی پس از کاشت، در زمان شروع اعمال تیمارهای تنش رطوبتی در مرحله ۵۰ درصد گل دهی، رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه اندازه گیری گردید و مقدار آب آبیاری برای تأمین کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی مزرعه تعیین و سپس در هر سه تیمار آبیاری اعمال شد. برای تعیین زمان آبیاری در هر تیمار رطوبتی، به منظور کاهش تعداد نمونه گیری رطوبت خاک، از روش پیش بینی با استفاده از اندازه گیری تبخیر و تعرق جمعی استفاده شد. به طوری که پس از هر آبیاری مقدار جمعی تبخیر و تعرق (ETc) با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانیتث با اعمال ضریب گیاهی برابر ۰/۵ طی دوره رشد محاسبه و زمانی که مقدار تبخیر و تعرق جمعی به عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (I_d) در تیمار رطوبتی مورد نظر رسید، آبیاری انجام شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$I_d = (FC - PWP) \times D \times B \times MAD$$

I_d : عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی متر)،
 FC: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، PWP:
 رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)، D: عمق
 فعال توسعه ریشه (میلی متر)، B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه
 توسعه ریشه (۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب) و MAD ضریب
 مدیریت مزرعه برای حالت بدون تنش برابر با ۵۰ درصد، محیط
 تنش ملایم برابر با ۷۰ درصد و محیط تنش شدید برابر با ۹۰
 درصد در نظر گرفته شد. در طول آزمایش مواظبت های زراعی
 بویژه مبارزه با علف های هرز بر اساس توصیه های علمی انجام و
 روند تغییرات صفات فیزیولوژیک، فیتوشیمیایی و اسانس اندام
 هوایی جمعیت های موجود در سطوح مختلف رطوبتی و پس از
 حدود دو ماه از زمان اعمال تیمارهای تنش رطوبتی، بررسی
 گردید. هم چنین در دو جمعیت گیاهی مورد مطالعه در سطوح
 مختلف رطوبتی، نمونه برداری برای اندازه گیری صفات محتوای
 پلی فنول ها، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و درصد اسانس در

2017). در پژوهش دیگری تأثیر مراحل مختلف فنولوژیک بر میزان تجمع فنول و فلاونوئید کل در *S. abrotanoides* مورد بررسی قرار گرفته است (Sabagh et al., 2017). در گزارش دیگری، کمیت ترکیبات اسانس گونه *S. artemisioides* با استفاده از روش GC-MS^۱ بدست آمد (Hafez Ghoran et al., 2016). در مطالعه ای دیگر، ترکیبات فنولیک و خاصیت آنتی اکسیدانی را در گونه *S. abrotanoides* ارزیابی شده است (Ghaderi et al., 2019).

با توجه به اهمیت و کاربرد اسانس ها در صنایع مختلف دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی، استخراج و مطالعه اجزای تشکیل دهنده آن ها از مواد گیاهی مختلف بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. هم چنین با توجه به قرارگیری بخش زیادی از ایران در مناطق خشک و نیمه خشک و نقش مهم تنش رطوبتی بر سنتز ثانویه متابولیت های ثانویه و خواص دارویی متعدد گیاه مورد مطالعه، مطالعات اندکی در زمینه ارزیابی تنش های غیرزیستی نظیر خشکی و روند تغییرات خواص آنتی اکسیدانی و متابولیت های ثانویه برازمبل در شرایط مذکور، به ویژه در ایران، در دسترس می باشد. بنابراین در همین راستا، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر سطوح مختلف رطوبتی بر ترکیبات تشکیل دهنده اسانس و فعالیت آنتی اکسیدانی در دو جمعیت برازمبل از گونه *S. abrotanoides* بود.

مواد و روش ها

قلمه دو جمعیت برازمبل از گونه *S. abrotanoides* جمع آوری شده از دو منطقه ایران (جدول ۱) در سه محیط رطوبتی عدم تنش (شاهد)، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در منطقه لورک نجف آباد (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، ۱۶۳۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد، میانگین دمای سالانه ۱۴/۵ درجه سانتی گراد و ۱۴۰ میلی متر بارندگی سالانه) کشت شدند. آزمایش در سه قطعه زمین مجزا با فاصله دو متر از یکدیگر

جدول ۱- مشخصات جمعیت‌های مورد مطالعه با ویژگی‌های جغرافیایی آن‌ها

Table 1- The origins of studied populations with their geographical characteristics

شماره هر بارיום Herbarium No.	منطقه Origin	ارتفاع از دریا Altitude (m)	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude
13352	مзде- اصفهان Mezdeh-Isfahan	1977	33° 27' E	51° 84' N
13356	ایبانه- اصفهان Abyaneh- Isfahan	2222	33° 59' E	51° 59' N

دو سال متوالی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام گردید. تعیین درصد اسانس ۳۰-۵۰ گرم از نمونه توسط آسیاب پودر شده و به همراه ۴۵۰-۲۷۰ میلی لیتر آب مقطر به بالن دستگاه تقطیر کلونجر منتقل شد. پس از ۴ ساعت اسانس گیری، درصد اسانس نسبت به وزن خشک برای هر نمونه طبق فرمول زیر تعیین گردید (Farahani et al., 2009):

$$\frac{W(f)-W(e)}{W(DM)}(\%) = \text{میزان کل اسانس}$$

در این فرمول Wf: وزن ظرف پر، We: وزن ظرف خالی، WDM: وزن خشک نمونه می‌باشد.

د) کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی (GC-MS)

دستگاه کروماتوگرافی گازی از نوع Agilent مدل ۷۸۹۰، ستون DB-5 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی متر، ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر، دمای ستون از ۶۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش دمای ۳ درجه در دقیقه، دمای تزریق و آشکارساز به ترتیب ۲۲۰ و ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، گاز حامل: نیتروژن با سرعت ۰/۷ میلی لیتر در دقیقه بود. شناسایی ترکیبات اسانس با استفاده از اندیس بازداری و بررسی طیف‌های جرمی پیشنهادی توسط کتابخانه دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی و با ترکیبات استاندارد صورت گرفت (Ghanbarzadeh et al., 2019).

ه) تحلیل آماری

برای بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین جمعیت‌های مورد بررسی از نظر صفات فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی و بررسی تأثیر تنش رطوبتی، تجزیه واریانس مرکب انجام شد. قابل ذکر است که قبل از انجام تجزیه واریانس، مفروضات آن بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای پلی فنول‌ها

برای صفت محتوای فنول و فلاونوئید کل اندازه‌گیری شده

دو سال متوالی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام گردید.

الف) اندازه‌گیری ترکیبات فنولیک و فلاونوئید کل

مقدار کل ترکیبات فنولیک موجود در عصاره این گیاه توسط رنگ‌سنجی به روش فولین- سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفوتومتری در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد تانیک‌اسید به دست آمد. هم‌چنین، میزان فلاونوئید با روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید، اندازه‌گیری شد و شدت جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت غلظت نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین به دست آمد (Gharibi et al., 2019).

ب) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) بر اساس روش نورائی و همکاران (Nouraei et al., 2018) اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت سینیتیکی آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)، تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. فعالیت آنزیمی بر حسب میکرومول تترایاکایکول تولید شده در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین بیان گردید (Nouraei et al., 2018).

پ) اندازه‌گیری محتوای پرولین

سنجش پرولین برگ گیاه به کمک روش غریبی و همکاران (Gharibi et al., 2016) صورت گرفت. در این روش، مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن به دست آمد و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه گزارش شد.

ج) اندازه‌گیری درصد اسانس اندام هوایی

بدین منظور اسانس سرشاخه دو جمعیت در سه سطح رطوبتی و در سه تکرار استخراج شد. نمونه‌ها از اندام هوایی جمع‌آوری و در شرایط سایه و هوای آزاد خشک شد. به منظور

است. از آنجا که اولین واکنش گیاهان به تنش خشکی بستن روزنه‌هایشان می‌باشد، بسته شدن روزنه‌ها باعث کاهش میزان فتوسنتز و در نهایت افزایش تنفس می‌شود. بنابراین میزان پیش‌سازهای کربوهیدراتی در سلول گیاهی بیشتر می‌شود و گیاه با افزایش تجمع ترکیبات فنولی به افزایش این سوبسترا پاسخ می‌دهد (Nouraei *et al.*, 2018). در مطالعه اخیر نیز در اثر اعمال تنش کم آبی، ترکیبات فنولی و فلاونوئید کل جمعیت‌های برازمبل در هر دو سال مورد مطالعه افزایش یافت ولی میزان افزایش آن‌ها در سال دوم بخصوص در سطح تنش رطوبتی شدید بیشتر بود (جدول ۴ و ۵).

در مقایسه بین دو جمعیت، بیشترین مقدار فنول در جمعیت ایبانه نسبت به جمعیت دیگر مشاهده گردید (جدول ۳). برای صفت محتوای فنول کل، دامنه تغییرات بین ۷۰/۵۱-۱۷۳/۸۷ میلی گرم تانیک اسید بر گرم ماده خشک متغیر بود. بیشترین مقدار میانگین بدست آمده برای این صفت، برای جمعیت‌های مورد بررسی تحت تنش رطوبتی شدید در سال زراعی دوم مربوط به جمعیت ایبانه با میزان ۱۷۳/۸۷ میلی گرم تانیک اسید بر گرم ماده خشک بود. کمترین مقدار میانگین برآورد شده در بین نمونه‌های شاهد برای این صفت مربوط به جمعیت مزده و در سال اول (۷۰/۵۱ میلی گرم تانیک اسید بر گرم ماده خشک) بود (جدول ۵). دامنه تغییرات محتوای فلاونوئید بین ۲/۵۹ تا ۹/۵۲ میلی گرم کوئرستین در گرم وزن خشک بود. بیشترین مقدار میانگین این صفت تحت تنش رطوبتی شدید در سال زراعی دوم برای جمعیت مزده (۹/۵۲ میلی گرم کوئرستین در گرم وزن خشک) و کمترین مقدار آن برای جمعیت ایبانه تحت شرایط رژیم آبیاری شاهد در سال اول (۲/۵۹ میلی گرم کوئرستین در گرم وزن خشک) بود (جدول ۵). تفاوت در محتوای فنول کل تحت شرایط مختلف تنش خشکی ممکن است به دلیل سنتز ترکیبات مختلف فلاونوئیدی و فنولیک اسیدی جهت ایجاد سازگاری گیاه به درجات مختلف رطوبت خاک در جمعیت‌های مختلف باشد (Hodaie *et al.*, 2018).

محققان پیشین در مطالعه خود اثر نور LED را بر کل ترکیبات فنولیک و فلاونوئید گیاه برازمبل گزارش نمودند. نتایج

با روش فولین سیوکالتو، نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر اصلی جمعیت، رژیم آبیاری، سال و اثر دوگانه جمعیت و رژیم آبیاری، جمعیت و سال، رژیم آبیاری و سال و اثر سه‌گانه جمعیت و رژیم آبیاری و سال معنی‌دار بود (جدول ۲). معنی‌دار بودن اثر سال بر تجمع فنول و فلاونوئید، احتمالاً به دلیل استقرار بیشتر نمونه‌های سال دوم در مزرعه و توسعه بهتر ریشه آن‌ها بوده و در نتیجه پاسخ بهتری به تنش خشکی داده‌اند. از سوی دیگر ساختار و میزان ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها به میزان زیادی از محیط تأثیر می‌پذیرد و می‌تواند در اثر تنش‌های محیطی تغییر یابد (Gharibi *et al.*, 2019). تنها تفاوت این دو گروه مهم ترکیبات دارویی در حساسیت میزان فلاونوئیدها به نور می‌باشد. سیگنال‌هایی با حساسیت بالا به نور در گیاهان وجود دارد که سنتز فلاونوئیدها را به شدت القا می‌کنند. در این پژوهش تفاوت میزان تابش نور خورشید در زمان نمونه‌برداری می‌تواند دلیلی برای مشاهده تفاوت غلظت فلاونوئیدها در دو سال متوالی باشد. بنابراین وجود عوامل تنش‌زای احتمالی در حین مطالعه به غیر از خشکی را می‌توان دلیلی بر معنی‌دار شدن اثر سال دانست.

در این مطالعه با افزایش شدت تنش رطوبتی میزان فنول و فلاونوئید کل افزایش یافتند، اما روند این افزایش در دو جمعیت برازمبل متفاوت بود که نشان می‌دهد پاسخ‌های بیوشیمیایی گیاه برازمبل نسبت به تنش رطوبتی می‌تواند جمعیت-اختصاصی باشند (جدول ۳). تغییرات فنولیک اسیدها در شرایط تنش خشکی می‌تواند به واسطه تغییرات مورفولوژیک و متابولیک برای جلوگیری از صدمات ناشی از تنش‌های اکسیداتیو باشد. از آنجا که جمعیت‌های مورد مطالعه دارای ساختار مورفولوژیک و متابولیک متفاوت می‌باشند پاسخ متفاوت آن‌ها در تجمع این ترکیبات دور از ذهن نیست.

دو مسیر بیوشیمیایی برای سنتز این مواد گزارش شده است که شامل مسیر شیکیمیک و مالونیک اسید می‌باشد. مسیر شیکیمیک اسید قادر به تبدیل پیش‌سازهای کربوهیدراتی ساخته شده در مسیر گلیکولیز و پنتوز فسفات به اسید آمینه‌های آروماتیک می‌باشد. هم‌چنین تعادل بین منبع^۱ و مخزن^۲ عاملی است که در افزایش ترکیبات فنولیک تأثیرگذار

هیدروکسیل، وجود بلندهای دوگانه کربن و قابلیت تغییر در آن‌ها از قبیل گلیکوزیله شدن و متیله شدن نقش حفاظتی در مقابل رادیکال‌های آزاد تولید شده در اثر تنش‌های محیطی خصوصاً تنش خشکی دارند. همچنین، فلاونوئیدها به دلیل داشتن نقش آنتی‌اکسیدانی، به طور مستقیم با وارد شدن در واکنش‌های احیایی و یا به طور غیر مستقیم به وسیله کلات کردن آهن، مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند (Nouraei et al., 2018)؛ بنابراین افزایش غلظت فلاونوئیدها در این شرایط دور از انتظار نیست. همچنین افزایش در ترکیبات پلی‌فنول تحت تنش رطوبتی ممکن است ناشی از تجزیه ترکیبات فنولیک بزرگتر به ترکیبات کوچکتر باشد. در مطالعات مختلف به امکان تجمع ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی، به عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی، به منظور بهبود کیفیت محصولات حاصل از گیاهان دارویی با به‌کارگیری تنش خشکی اشاره شده است. به عنوان مثال ارتباط بین بیوسنتز پلی‌فنول و میزان تنش رطوبتی در برخی از گیاهان دارویی مانند تاج خروس (*Amaranthus tricolor*) (Sarker and Oba, 2018)، گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) (Hodaie et al., 2018)، بومادران (*Achillea millefolium*) (Gharibi et al., 2016) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) (Bettaieb et al., 2011)، مطالعه و محققین افزایش قابل توجهی را در کل ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی با شدت بخشیدن میزان تنش کم‌آب‌باری مشاهده نمودند که با نتایج این پژوهش همسو بود.

محتوای پرولین

پرولین یکی از اسمولیت‌های سیتوپلاسمی است که در پاسخ به تنش خشکی در واکنش‌های گیاهان تجمع می‌یابد و به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کند؛ بدین نحو که از طریق حفظ پتانسیل اسمزی سلول‌ها به کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی کمک می‌نماید (Chaeikar et al., 2020). نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر جمعیت، رژیم آبیاری، سال و اثر دوگانه جمعیت و رژیم آبیاری، جمعیت و سال، رژیم آبیاری و سال و اثر سه‌گانه جمعیت و رژیم آبیاری و سال از نظر آماری بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسات میانگین محتوای پرولین در سطوح مختلف تنش نیز حاکی از آن بود که در بین سه تیمار آبیاری اختلاف معنی‌داری

مطالعه آن‌ها نشان داد که بیشترین محتوای فنولیک و فلاونوئید کل تحت تیمار رنگ آبی در این گیاه به دست آمد (Ghaffari et al., 2019). در مطالعه ایشان، محتوای پلی‌فنول‌ها در *S. abrotanoides* بین ۶۹/۸۱ تا ۱۳۱/۹۱ میلی‌گرم تانیک اسید در گرم ماده خشک گزارش شده است. همچنین محتوای فلاونوئید کل، بین ۱۲/۲۰ تا ۶۰/۹۹ میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن خشک گزارش گردید. پژوهشگران دیگری با به‌کارگیری دو روش عصاره‌گیری متفاوت، محتوای پلی‌فنول‌ها را در برگ سه گونه سالویا چنین گزارش کردند: ۲۴/۹۰ تا ۳۶/۷۲ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک در *S. officinalis*، ۱۹/۸۴ تا ۲۸/۹۰ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک در *S. lavandulifolia* و ۷/۶۸ تا ۱۱/۲۳ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک در *S. elegans* (Pop et al., 2015). تنوع کمی پلی‌فنول‌ها در مواد گیاهی، نه تنها به روش عصاره‌گیری و روش کمی‌سازی بستگی دارد بلکه فاکتورهای جغرافیایی و اقلیمی، فاز رویشی و جمعیت نیز در برآورد میزان پلی‌فنول‌ها در گیاهان مؤثر است (Vosoughi et al., 2018).

تنش خشکی از جمله تنش‌های اکسیداتیو می‌باشد که باعث تجمع رادیکال‌های آزاد در سلول می‌شود. گیاهان با تجمع فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتی‌اکسیدان‌ها به پاکسازی این رادیکال‌ها می‌پردازند. به علاوه، مولکول پراکسید هیدروژن ناشی از اکسایش فنول‌ها، شروع‌کننده چندین فرآیند فیزیولوژیک و مولکولی است و سیگنالی برای تولید ترکیبات و آنزیم‌های مختلف دفاعی می‌باشد. از جمله مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش خشکی، افزایش سطوح ترکیبات فنولی است، چرا که این گونه ترکیبات با اختلال در سیستم انتقال الکترون به عنوان پالاینده‌های گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن (ROS) عمل کرده و در نتیجه سبب ثبات غشاهای سلولی و مانع از پراکسیداسیون لیپیدها می‌شوند. مطالعات قبلی نشان داده است که در طی تنش خشکی بیان ژن‌های مسیر سنتز فلاونوئیدها با فعالیت سیگنال‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد (Gharibi et al., 2019). افزایش ترکیبات فنولیک و فلاونوئید در شرایط تنش خشکی، مرتبط با تجمع کربوهیدرات‌های محلول و در نتیجه کاهش انتقال آن‌ها در شرایط کمبود آب می‌باشد. فلاونوئیدها به دلیل خصوصیات منحصر بفردشان مانند ساختار اختصاصی آن‌ها، وجود گروه

تغییرات نقل و انتقالات پرولین در داخل و خارج سلول باشد (Chaeikar *et al.*, 2020). غلظت بالاتر پرولین غالباً با تنظیم اسمزی و حفظ محتوای نسبی آب مرتبط می‌باشد (Hussain *et al.*, 2018). تنظیم اسمزی برای محافظت از رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی ضروری می‌باشد. به طور مشابه، چندین پژوهشگر همبستگی مثبت بین غلظت پرولین و افزایش شدت تنش آبی را در برخی از گیاهان دارویی مانند چای سبز (*Camellia sinensis*) (Chaeikar *et al.*, 2020)، گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) (Hodaei *et al.*, 2018)، ریحان (*Ocimum basilicum*) (Hussain *et al.*, 2018) و گونه‌های بومادران (Gharibi *et al.*, 2016) گزارش نمودند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر جمعیت، تنش خشکی، سال و اثر دوگانه جمعیت و رژیم آبیاری، جمعیت و سال، رژیم آبیاری و سال و اثر سه‌گانه جمعیت و رژیم آبیاری و سال از نظر آماری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز با تشدید تنش افزایش یافت و بیشترین میزان آن در تنش رطوبتی شدید حاصل گردید (جدول ۳). جمعیت‌های مورد مطالعه روند مشابهی را برای فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز نشان دادند. میزان افزایش فعالیت هر دو آنزیم در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (جدول ۴).

برای صفت فعالیت آنزیم پراکسیداز، دامنه تغییرات بین ۹۱/۸۵-۱۲۶۱/۲۴۹ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین متغیر بود. بیشترین مقدار میانگین بدست آمده برای این صفت، برای دو جمعیت مورد بررسی تحت تنش رطوبتی شدید در سال زراعی دوم مربوط به جمعیت ایبانه (۱۲۶۱/۹۱) میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) بود. کمترین مقدار میانگین برآورد شده در تنش رطوبتی شدید برای فعالیت این آنزیم مربوط به جمعیت مزده و در سال اول (۲۴۹/۸۵) میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) و در بین نمونه‌های شاهد بود (جدول ۵). دامنه تغییرات فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در دو جمعیت گیاهی بین ۹/۲۹ تا ۶۷/۸۰ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین بود. بیشترین مقدار میانگین این صفت تحت

از لحاظ این صفت وجود دارد و کمترین غلظت آن در شرایط رژیم آبیاری شاهد و بیشترین میزان پرولین در تنش رطوبتی شدید مشاهده شد تا بتواند با منفی نگه داشتن پتانسیل آب گیاه جذب فعال آب را افزایش دهد (جدول ۳). میزان افزایش تجمع پرولین، در سال دوم اعمال تیمار به طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود (جدول ۴). غلظت پرولین در شرایط مختلف محیطی تغییر می‌کند، از آنجا که گیاهان مورد استفاده در سال دوم آزمایش در مقایسه با نمونه‌های سال اول مدت زمان بیشتری در زمین استقرار یافتند احتمال دارد اندام زیرزمینی آن‌ها توسعه بیشتری پیدا کرده باشد و گیاهانی که توسعه ریشه بیشتری داشته باشند در جذب آب بیشتر و تحمل شرایط خشکی موفق‌ترند. بنابراین تفاوت در غلظت پرولین در دو سال را می‌توان به تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه در طول زمان ربط داد. از طرفی معنی‌دار بودن اثر جمعیت روی این صفت احتمالاً به ساختارهای متابولیک متفاوت گیاهان در تولید و ذخیره اسمولیت‌هایی نظیر پرولین ارتباط دارد. بیشترین و کمترین مقدار میانگین بدست آمده برای محتوای پرولین در دو جمعیت مورد بررسی، مربوط به جمعیت ایبانه و در سال زراعی دوم بترتیب در شرایط تنش رطوبتی شدید با میزان ۲۸/۱۲ میکرومول در گرم ماده تر و در شرایط عدم تنش و در سال زراعی اول با میزان ۱/۰۴ میکرومول در گرم ماده تر بود (جدول ۵).

تجمع پرولین در سلول‌های گیاهی ممکن است بر اثر افزایش در پروتئولیز (تجزیه پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه) و کاهش در سنتز پروتئین‌ها باشد. افزایش محتوای پرولین به عنوان یک چارپون شیمیایی با تأثیر بر حلالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و تنظیم اسمزی، نقش مهمی در سیگنال‌دهی در شرایط تنش، پایداری فرم طبیعی پروتئین‌ها و غشاء، حفظ شکل و ساختار آنزیم‌ها، هضم و از بین بردن رادیکال‌های آزاد، محافظت از ساختار کلروپلاست در برابر آسیب اکسیداتیو و کاهش اسیدپتید سیتوپلاسمی سازگار با متابولیسم در شرایط تنش خشکی را بر عهده دارد. همچنین تجمع پرولین باعث بهبود تولید و ذخیره انرژی از طریق تأثیر بر متابولیسم نیتروژن در گیاه می‌شود. مقادیر بالاتر غلظت پرولین در گیاهان تحت تنش خشکی (در مقایسه با گیاهان رشد یافته در شرایط شاهد) (جدول ۳) ممکن است ناشی از افزایش تولید، کاهش تجزیه یا

افزایش یافت و بیشترین میزان آن در تنش رطوبتی شدید حاصل گردید (جدول ۳). میزان افزایش تجمع اسانس اندام هوایی جمعیت‌ها در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (جدول ۴).

دامنه تغییرات درصد اسانس در دو سال زراعی در جمعیت ایبانه بین ۱/۰۱ تا ۲/۸۲ درصد و در جمعیت مزده بین ۰/۷۸ تا ۲/۰۴ درصد متغیر بود. بیشترین درصد اسانس با میزان ۲/۸۲ درصد (حدود ۳ برابر شاهد) در جمعیت ایبانه در سطح تنش رطوبتی شدید و در سال زراعی دوم مشاهده شد. در شرایط رژیم آبیاری شاهد در سال اول، جمعیت مزده دارای کمترین درصد اسانس (۰/۷۸ درصد) نسبت به جمعیت دیگر بود (جدول ۵).

نتایج بدست آمده در مورد محدوده درصد اسانس در راستای تحقیقات پیشین می‌باشد که در بررسی عوامل محیطی مؤثر بر رشد شش جمعیت *S. abrotanoides* متعلق به شش ناحیه مهم استان پهناور خراسان محدوده درصد اسانس را بین ۱/۱۸ تا ۲/۲۱٪ گزارش کردند (Ilkaee et al., 2017). همسو با مطالعه حاضر، افزایش قابل توجه در میزان اسانس با شدت بخشیدن میزان تنش کم‌آبیاری در برخی از گیاهان دارویی مانند خرفه (*Portulaca oleracea*) (Hosseinzadeh et al., 2019)، آویشن (*Thymus vulgaris*) (Arpanahi and Feizian, 2019)، بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) (Ghanbarzadeh et al., 2019)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) (Vosoughi et al., 2018)، مرزنجوش (*Origanum vulgare*) (Morshedloo et al., 2017) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) (Farahani et al., 2009) گزارش گردیده است. گیاهان دارویی در شرایط تنش خشکی میزان اسانس بیشتری تولید می‌کنند؛ زیرا گیاه هنگام مواجهه با تنش خشکی محتوای متابولیت‌های خود را به منظور جلوگیری از عمل اکسیداسیون درون سلول‌ها افزایش می‌دهد. هم‌چنین تنش خشکی با اختلال در فتوسنتز و تنفس، درصد و ترکیب شیمیایی اسانس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش سطح برگ در اثر تنش خشکی موجب بالا رفتن تراکم غده‌های ترشحی در برگ شده و مقدار تجمع اسانس را افزایش می‌دهد (Ghanbarzadeh et al., 2019).

تنش رطوبتی شدید در سال زراعی دوم برای جمعیت ایبانه (۶۷/۸۰ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) و کمترین مقدار آن برای جمعیت مزده تحت شرایط رژیم آبیاری شاهد در سال اول (۹/۲۹ میکرومول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۵). مشابه نتایج مطالعه حاضر، افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیدازی طی کاهش ذخیره آب در خاک در برخی گیاهان دارویی نظیر نعنا فلفلی (*Mentha piperita*) (Chiappero et al., 2019)، کنگر فرنگی (*Cynara cardunculus*) (Nouraei et al., 2018)، آویشن دناپی (*Thymus daenensis*) (Bahari et al., 2015) و مورد (*Myrtus communis*) (Caravaca et al., 2005) نشان داده شده است. تولید پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به عنوان یک گونه اکسیژن فعال (ROS) ناشی از تنش خشکی می‌تواند از تثبیت CO_2 جلوگیری کرده و به عنوان یک مولکول سیگنالینگ نقش ایفا کند. فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیو نظیر پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز نیز منجر به تولید و تجزیه H_2O_2 می‌شود (Caravaca et al., 2005). از آنجا که آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (APX) از مولکول‌های آسکوربیک اسید به عنوان دهنده الکترون برای تجزیه مولکول‌های پراکسید هیدروژن استفاده می‌کند؛ محصول نهایی واکنش این آنزیم H_2O_2 و O_2^- و آسکوربیک اسید اکسید شده می‌باشد. در حقیقت APX با قدرت چسبندگی زیادی که با H_2O_2 دارد می‌تواند باعث بازدارندگی فعالیت آن گردد و در رفع مسمومیت به گیاه کمک کند. از طرف دیگر غشاهای پلاسمایی به تنش‌های اکسیداتیو بسیار حساس می‌باشند و مقادیر بالای آسکوربیک اسید در سلول باعث پایین نگه داشتن گروهی از ترکیبات شامل آنزیم پراکسیداز (GPX) و ویکلین E (آلفا-توکوفرول) که آن‌ها نیز نقش حفاظتی برای فسفولیپیدهای غشایی دارند، می‌شود (Chiappero et al., 2019).

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر جمعیت، رژیم آبیاری، سال و اثر دوگانه جمعیت و رژیم آبیاری، جمعیت و سال، رژیم آبیاری و سال و اثر سه‌گانه جمعیت و رژیم آبیاری و سال از نظر آماری بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد اسانس با تشدید تنش

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای دو جمعیت در دو سال متوالی

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) of the studied traits for two populations during two consecutive years

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square					
		فنول کل Total phenolics	فلاونوئید کل Total flavonoids	پراکسیداز Peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	محتوای پرولین Proline content	درصد اسانس Essential oils
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	11017.80**	46.86**	710615.55**	3882.89**	2005.62**	4.54**
سال Year	1	5474.52**	22.24**	755033.55**	231.24**	58.19**	1.46**
رژیم آبیاری و سال Year×Irrigation regime	2	889.97**	1.52**	62385.55**	66.84**	31.04**	0.17**
بلوک داخل سال و رژیم آبیاری Block/ Year and Irrigation regime	12	0.90	0.11	11.16	0.18	0.05	0.10
جمعیت Population	1	271.48**	9.67**	1067729.55**	2087.57**	23.15**	2.28**
جمعیت و رژیم آبیاری Irrigation ×Population regime	2	15.02**	2.77**	24136.71**	92.26**	28.17**	1.17**
جمعیت و سال Year×Population	1	889.43**	6.38**	66687.89**	114.06**	70.70**	0.08**
جمعیت و رژیم آبیاری و سال Irrigation ×Population regime Year	2	141.10**	0.53**	19192.89**	14.55**	30.74**	0.06**
باقی مانده Residual	12	1.24	0.02	2.27	0.07	0.11	0.001
ضریب تغییرات C.V%	-	5.02	3.41	12.21	9.88	8.42	3.17

** یعنی معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** is significant at 1 probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل جمعیت و رژیم آبیاری برای صفات مورد مطالعه

Table 3- Mean comparison of the population and irrigation regime interactions for studied traits

جمعیت	فنول کل Total phenolics (mg TAE/g DW)			فلاونوئید کل Total flavonoids (mg QUE/g DW)			پراکسیداز Peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min mg protein}$)			آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min mg protein}$)			محتوای پرولین Proline content ($\mu\text{mol}/\text{g FW}$)			درصد اسانس Essential oils (%)		
	نرمال	شدید	شدید	نرمال	شدید	شدید	نرمال	شدید	شدید	نرمال	شدید	شدید	نرمال	شدید	شدید	نرمال	شدید	شدید
مزده Mezdeh	75.96 ^c	106.01 ^b	134.91 ^a	3.14 ^c	5.93 ^b	7.99 ^a	308.44 ^c	587.04 ^b	698.26 ^a	9.87 ^c	16.36 ^b	38.95 ^a	1.41 ^c	2.54 ^b	26.96 ^a	1.01 ^c	1.37 ^b	1.79 ^a
ایبانه Abyaneh	80.68 ^c	109.74 ^b	142.93 ^a	5.28 ^c	6.57 ^b	8.33 ^a	569.61 ^c	919.76 ^b	1137.68 ^a	19.91 ^c	30.94 ^b	60.02 ^a	1.16 ^c	3.09 ^b	21.85 ^a	1.07 ^c	1.86 ^b	2.74 ^a

در هر ردیف از هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند.

Means with a similar letter in each row of the treatments had non-significant differences according to LSD Test ($p < 0.05$).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل جمعیت و سال برای صفات مورد مطالعه

Table 4- Mean comparison of the population and year interactions for studied traits

جمعیت Population	فنول کل Total phenolics (mg TAE/g DW)		فلاونوئید کل Total flavonoids (mg QUE/g DW)		پراکسیداز Peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min mg}$ protein)		آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min mg}$ protein)		محتوای پرولین Proline content ($\mu\text{mol}/\text{g FW}$)		درصد اسانس Essential oils (%)	
	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
مزده Mezdeh	98.26 ^b	112.99 ^a	4.48 ^b	6.89 ^a	343.38 ^b	719.11 ^a	20.97 ^b	22.48 ^a	10.17 ^b	11.43 ^a	1.14 ^b	1.64 ^a
ایبانه Abyaneh	93.81 ^b	128.42 ^a	6.36 ^b	7.09 ^a	773.90 ^b	977.46 ^a	32.64 ^b	41.27 ^a	6.03 ^b	11.37 ^a	1.74 ^b	2.04 ^a

در هر ردیف از هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند. Means with a similar letter in each row of the treatments had non-significant differences according to LSD Test ($p < 0.05$).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل جمعیت و رژیم آبیاری و سال برای صفات مورد مطالعه

Table 5- Mean comparison of the population and irrigation regime and year interactions for studied traits

سال جمعیت Year Population	فنول کل Total phenolics (mg TAE/g DW)		فلاونوئید کل Total flavonoids (mg QUE/g DW)			پراکسیداز Peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min mg}$ protein)			آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase ($\mu\text{mol}/\text{min mg}$ protein)			محتوای پرولین Proline content ($\mu\text{mol}/\text{g FW}$)			درصد اسانس Essential oils (%)			
	نرمال	ملازم	شدید	نرمال	ملازم	شدید	نرمال	ملازم	شدید	نرمال	ملازم	شدید	نرمال	ملازم	شدید	نرمال	ملازم	شدید
	Norma	Mild	Severe	Normal	Mild	Severe	Normal	Mild	Severe	Normal	Mild	Severe	Normal	Mild	Severe	Normal	Mild	Severe
۱۳۹۹ Mezdeh	70.51 ^c	102.98 ^b	121.30 ^a	2.59 ^c	4.38 ^b	6.47 ^a	249.85 ^c	331.64 ^b	448.67 ^a	9.29 ^c	17.42 ^b	36.21 ^a	1.25 ^c	2.43 ^b	26.83 ^a	0.78 ^c	1.08 ^b	1.55 ^a
2020 Abyaneh	71.43 ^c	98.04 ^b	111.98 ^a	5.08 ^c	6.15 ^b	7.85 ^a	505.07 ^c	803.19 ^b	1013.45 ^a	18.29 ^c	27.39 ^b	52.25 ^a	1.04 ^b	1.47 ^b	15.57 ^a	1.01 ^c	1.55 ^b	2.67 ^a
۱۴۰۰ Mezdeh	81.42 ^c	109.02 ^b	148.52 ^a	3.70 ^c	7.47 ^b	9.52 ^a	367.03 ^c	842.43 ^b	947.86 ^a	10.46 ^c	15.30 ^b	41.69 ^a	1.56 ^c	2.65 ^b	27.09 ^a	1.23 ^c	1.66 ^b	2.04 ^a
2021 Abyaneh	89.94 ^c	121.45 ^b	173.87 ^a	5.47 ^c	6.99 ^b	8.81 ^a	634.15 ^c	1036.33 ^b	1261.91 ^a	21.52 ^c	34.50 ^b	67.80 ^a	1.29 ^c	4.70 ^b	28.12 ^a	1.14 ^c	2.17 ^b	2.82 ^a

در هر ردیف از هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد باهم ندارند. Means with a similar letter in each row of the treatments had non-significant differences according to LSD Test ($p < 0.05$).

ترکیبات متشکله اسانس

جمعیت‌های مورد مطالعه براز مبل در هر سه رژیم رطوبتی به کلاس مونوترپن‌های اکسیژنه اختصاص داشت. بیشترین و کمترین مقدار مونوترپن‌های اکسیژن‌دار به ترتیب متعلق به تیمار تنش رطوبتی شدید در جمعیت مزده (۵۲/۹۶ درصد) و تیمار رطوبتی شاهد در جمعیت ایبانه (۴۳/۱۳ درصد) بود. در کل، مجموع مونوترپن‌های اکسیژن‌دار تحت تنش رطوبتی شدید بیشتر از شاهد مشاهده شد. بطور کلی طبق نتایج می‌توان گفت،

در پروفایل اسانس اندام هوایی دو جمعیت مورد مطالعه توسط GC-MS تحت سه سطح تیمار رطوبتی، در مجموع ۴۰ نوع ترکیب مختلف شناسایی شدند، که در پنج گروه شامل مونوترپن‌های هیدروکربنه، مونوترپن‌های اکسیژنه، سزکوئی‌ترین هیدروکربنه، سزکوئی‌ترین اکسیژنه و سایر ترکیبات طبقه بندی شدند (جدول ۶). طبق نتایج، قسمت عمده ترکیبات اسانس در

در دو جمعیت برازمبل مورد مطالعه با افزایش شدت تنش رطوبتی، مجموع مونوترپن‌های اکسیژنه افزایش یافت و در مقابل میزان تجمع سزکوئی‌ترین‌ها (اکسیژنه و هیدروکربنه) روند نزولی نشان داد (جدول ۶). دلتا ۳ کارن، کمفور، او ۱ سینئول، برنئول و آلفاپینن ترکیبات اصلی و غالب اسانس در دو جمعیت گیاهی و در سطوح مختلف رطوبتی بودند. سطوح مختلف رطوبتی اثرات متفاوتی بر این ترکیبات داشتند. در دو جمعیت گیاهی مورد مطالعه ترکیبات مهم کمفور و میرسن با افزایش شدت تنش رطوبتی مقدارشان افزایش یافت. در مقابل برخی ترکیبات از جمله دلتا ۳ کارن مقدارشان نسبت به شاهد کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار مونوترپن اکسیژنه کمفور به ترتیب متعلق به جمعیت‌های مزده و ایبانه در سطح تنش رطوبتی شدید (۲۹/۲۶ درصد) و تنش رطوبتی ملایم (۱۸/۲۸ درصد) بود (جدول ۶). هم‌چنین بیشترین و کمترین میانگین او ۱ سینئول به ترتیب مربوط به جمعیت ایبانه در سطح تنش رطوبتی ملایم (۲۵/۷۹ درصد) و مزده در شرایط رطوبتی شاهد (۱۵/۹۵ درصد) حاصل گردید. بیشترین و کمترین میانگین برنئول مربوط به جمعیت مزده و به ترتیب در سطح تنش رطوبتی ملایم (۴/۳۴ درصد) و رژیم رطوبتی شاهد (۱/۱۸ درصد) مشاهده گردید. بیشترین میزان دو ترکیب مونوترپن هیدروکربنه دلتا ۳ کارن و میرسن مربوط به جمعیت ایبانه و به ترتیب در تنش رطوبتی ملایم (۱۱/۸۱ درصد) و تنش رطوبتی شدید (۹/۹۰ درصد) بود. بیشترین و کمترین میزان آلفاپینن در اسانس جمعیت ایبانه و به ترتیب در تنش رطوبتی شدید (۱۰/۸۱ درصد) و رژیم رطوبتی شاهد (۵/۰۴ درصد) مشاهده شد (جدول ۶). دو جمعیت ایبانه (۸/۶۱ درصد) و مزده (۷/۸۵ درصد) در رژیم رطوبتی شاهد بیشترین میزان ترکیب سسکوئیترپن هیدروکربنه کاریوفیلین را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین ایبانه بیشترین میزان ترکیب سسکوئیترپن آلفا-یودسمول را تحت رژیم رطوبتی شاهد (۲/۱۴ درصد) به خود اختصاص داد. در پژوهش حاضر، از آنجا که در جمعیت مزده رژیم رطوبتی ملایم موجب افزایش میزان ترکیبات دلتا ۳ کارن، برنئول و آلفاپینن و رژیم رطوبتی شدید موجب افزایش میزان ترکیبات کمفور، او ۱ سینئول و میرسن گردید و در جمعیت ایبانه رژیم رطوبتی ملایم موجب افزایش میزان ترکیبات دلتا ۳ کارن، برنئول و او ۱ سینئول و

رژیم رطوبتی شدید موجب افزایش میزان ترکیبات کمفور، میرسن و آلفاپینن شد (جدول ۶)؛ می‌توان گفت که اعمال تنش رطوبتی ملایم و شدید در این گیاه موجب افزایش درصد ترکیبات مهم اسانس‌ها و در نتیجه افزایش کیفیت آن‌ها گردید. در اغلب مطالعات گذشته، کمفور، او ۱ سینئول، برنئول و آلفاپینن ترکیبات غالب اسانس برازمبل معرفی شدند. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که خاصیت دفع حشرات و افزایش انبارمائی میوه‌ها به ترکیب او ۱ سینئول اسانس برازمبل مرتبط است (Arabi et al., 2008). هم‌چنین تولنایی از بین بردن باکتری *Staphylococcus aureus* (پاتوژن ثانویه زخم سالک) با غلظت بالای کمفور و آلفاپینن اسانس برازمبل مرتبط است. بررسی ترکیب اسانس گونه‌های مختلف سالویا توسط پژوهشگران پیشین، گویای شباهت زیاد در ترکیبات بود که بیانگر ایفای نقش ترکیبات اسانس در طبقه بندی‌های کموتاکسونومی گونه‌های سالویا می‌باشد (Li et al., 2015). آن‌ها دریافتند که ترانس کریوفیلین، کریوفیلین اکسید و لینالول ترکیبات اصلی اسانس تمام گونه‌های سالویا هستند.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تأثیر تنش کم آبیاری بر برخی از صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و اسانس دو جمعیت برازمبل بومی ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با شدت تنش رطوبتی مقدار فنول کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، غلظت پرولین و درصد اسانس نسبت به شاهد افزایش یافت که نوعی سازگاری نسبت به شرایط تنش محسوب می‌شود. به طوری که بیشترین مقادیر این صفات در تنش رطوبتی شدید به دست آمد. هم‌چنین، در مقایسه بین دو جمعیت، بیشترین مقدار فنول و فلاونوئید کل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی در جمعیت ایبانه نسبت به جمعیت دیگر و در سال دوم زراعی مشاهده گردید. به عبارت دیگر می‌توان گفت که جمعیت ایبانه تحمل بیشتری نسبت به تنش کم آبیاری از خود نشان داده است. هم‌چنین در دو جمعیت گیاهی با افزایش شدت تنش رطوبتی، مجموع مونوترپن‌های اکسیژنه افزایش یافت و در مقابل میزان تجمع سزکوئی‌ترین‌ها (اکسیژنه و هیدروکربنه) روند نزولی نشان داد. در سطوح تنش ملایم و شدید، افزایش درصد ترکیبات اصلی و غالب اسانس (دلتا ۳

می‌توان در مقطعی از رشد گیاه با ایجاد تنش رطوبتی مدیریت شده افزایش کمی و کیفی متابولیت‌های ثانویه را فراهم نمود.

کارن، کمفور، (۸ و سینئول، برنئول، میرسن و آلفاپینن) و در نتیجه بهبود کیفیت اسانس این گیاه مشاهده گردید. بنابراین با توجه به مقاومت نسبتاً مناسب برازمبل به شرایط کم‌آبی،

جدول ۶- ترکیبات موجود در اسانس جمعیت‌های مورد مطالعه

Table 6- The composition of essential oils (EOs) in the studied populations

ترکیبات اسانس Composition of EOs (%)	شاخص بازداری Retention Index	ابیانه Abyaneh			مزده Mezdeh		
		نرمال	ملایم	شدید	نرمال	ملایم	شدید
		Normal	Mild	Severe	Normal	Mild	Severe
آلفا-توجن α -Thujene	930	nd	nd	0.65	nd	nd	0.44
آلفا-پین α -Pinene	940	5.04	6.45	10.81	6.42	9.86	8.72
کمفن Camphene	958	2.26	3.31	4.09	4.94	3.63	1.48
بتا-پینن β -Pinene	984	1.66	2.02	1.60	1.24	1.34	1.48
میرسن Myrcene	989	0.59	0.59	9.90	7.94	8.72	9.73
دلتا-۳-کارن δ -3-Carene	1016	11.33	11.81	2.10	nd	3.08	1.62
آلفا-ترپینن α -Terpinene	1023	nd	nd	0.29	nd	nd	nd
پی-سیمن p-Cymene	1032	0.54	0.72	0.78	0.53	0.55	0.55
لیمونن Limonene	1037	1.20	1.16	1.49	1.33	1.52	1.30
۸ و ۱-سینئول 1,8-Cineole	1042	21.27	25.79	24.85	15.95	19.57	20.62
دلتا-ترپینن δ -Terpinene	1066	0.53	nd	0.41	0.39	0.34	nd
لینالول Linalool	1102	nd	nd	0.29	nd	0.35	nd
کمفور Camphor	1149	19.08	18.28	23.56	27.00	25.27	29.26
سیس-کریسنتمول cis-Chrysanthemol	1163	0.52	0.62	0.46	0.39	0.40	0.47
برنئول Borneol	1166	2.26	3.17	2.14	1.18	4.34	2.03
ترپینن-۴-ال Terpinen-4-ol	1171	nd	nd	0.29	nd	nd	nd
میرتنول Myrtenol	1201	nd	nd	0.39	0.37	nd	0.58
لینالیل استات Linalyl acetate	1253	nd	nd	0.31	nd	0.39	nd
برنیل استات Bornyl acetate	1290	3.80	3.92	1.67	1.96	1.35	1.69
آلفا-ترپینیل استات α -Terpinyl acetate	1343	3.44	2.94	1.86	2.26	2.07	2.25
آلفا-کوپائینن α -Copaenene	1364	nd	nd	nd	nd	nd	0.43
گرانیل استات Geranyl acetate	1367	0.75	0.47	0.72	0.72	0.88	0.93
آلفا-گورجونن α -Gurjunene	1415	1.22	1.06	0.88	1.00	1.05	1.28

ادامه جدول ۶- ترکیبات موجود در اسانس جمعیت‌های مورد مطالعه

Table 6 Continued- The composition of essential oils (EOs) in the studied populations

ای-کاریوفیلین E-Caryophyllene	1429	8.61	4.66	4.22	7.85	6.60	4.21
آلفا-هومولن α -Humulene	1465	6.65	3.65	3.09	9.17	1.85	3.31
لدول Ledol	1503	nd	nd	nd	nd	nd	0.46
گاما-کادینن γ -Cadinene	1517	0.91	0.53	0.60	1.11	0.92	1.02
دلتا-کادینن δ -Cadinene	1521	2.27	1.19	1.54	1.99	2.26	2.52
اپیزونارن Epizonarene	1525	nd	nd	nd	nd	0.54	0.81
آلفا-کالاکورن α -Calacorene	1542	nd	0.66	nd	nd	nd	nd
اسپاتولنول Spathulenol	1553	nd	0.89	nd	nd	nd	nd
کاریوفیلین اکسید Cryophyllene oxide	1576	nd	nd	nd	0.37	nd	nd
ایزومیرستیسین isomyristicin	1615	nd	1.10	nd	nd	nd	nd
کالارن Calarene	1620	0.53	0.80	nd	0.40	nd	nd
تی-مورولول t-Muurolol	1643	0.53	1.55	nd	0.47	nd	nd
فوننول Fonenol	1648	1.03	nd	nd	0.47	nd	nd
تاو-کادینول tau-Cadinol	1652	nd	nd	nd	1.62	nd	nd
آلفا-یودسمول α -Eudesmol	1657	2.14	0.98	0.99	1.62	1.79	2.16
۲-دسین 2-Decyne (CAS)	1666	1.01	1.06	nd	0.80	0.75	nd
لومنول Levomenol	1679	0.81	0.62	nd	0.53	0.57	nd
هیدروکربن‌های مونوترپنی Monoterpene hydrocarbons		24.16	27.12	32.12	23.59	29.79	25.32
مونوترپن‌های اکسیژن دار oxygenated monoterpenes		43.13	47.86	51.98	48.05	46.77	52.96
هیدروکربن‌های سسکوئیدی ترپنی Sesquiterpene hydrocarbons		17.39	10.56	8.79	15.96	14.12	11.06
سسکوئیدی ترپن‌های اکسیژن دار Oxygenated sesquiterpenes		7.31	7.13	2.53	7.47	4.62	5.14
سایر ترکیبات Others		7.99	7.33	4.56	4.94	4.69	4.87

References

- Arabi, F., Moharramipour, S. and Sefidkon, F., 2008. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Perovskia abrotanoides* (Lamiaceae) against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 28, pp.144-150. doi: 10.53555/ecb/2024.13.01.26

- Arpanahi, A. A. and Feizian, M., 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate mild to moderate water stress and improve essential oil yield in thyme. *Rhizosphere*, 9, pp.93-96. doi: **10.1016/j.indcrop.2023.117849**
- Ashraf, S.N., Zubair, M., Rizwan, K., Tareen, R.B., Rasool, N., Zia-Ul-Haq, M. and Ercisli, S., 2014. Compositional studies and biological activities of *Perovskia abrotanoides* Kar. oils. *Biological Research*, 47, pp.1-12. doi: **10.1186/0717-6287-47-12**
- Bahari, A.A., Sokhtesaraei, R., Chaghazardi, H.R., Masoudi, F. and Nazarli, H., 2015. Effect of water deficit stress and foliar application of salicylic acid on antioxidants enzymes activity in leaves of *Thymus daenensis* subsp. *Lancifolius*. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 48, pp.57-67.
- Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B., 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, pp.1103-1111. doi: **10.1007/s11738-010-0638-z**
- Caravaca, F., Alguacil, M.M., Hernandez, J.A. and Roldan, A., 2005. Involvement of antioxidant enzyme and nitrate reductase activities during water stress and recovery of mycorrhizal *Myrtus communis* and *Phillyrea angustifolia* plants. *Plant Science*, 169, pp.191-197. doi: **10.1016/j.plantsci.2005.03.013**
- Chaeikar, S.S., Marzvan, S., Khiavi, S.J. and Rahimi, M., 2020. Changes in growth, biochemical, and chemical characteristics and alteration of the antioxidant defense system in the leaves of tea clones (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 265, e109257. doi: **10.1016/j.scienta.2020.109257**
- Chiappero, J., Cappellari R., L., A., L. G.S., Palermo, T.B. and Banchio, E., 2019. Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, e111553. doi: **10.1016/j.indcrop.2019.111553**
- Drew, B. T. and Sytsma, K. J., 2012. Phylogenetics, biogeography, and staminal evolution in the tribe *Mentheae* (Lamiaceae). *American Journal of Botany*, 99, pp.933-953. doi: **10.3732/ajb.1100549**
- El-Sayed, A. I., El-hamahmy, M. A., Rafudeen, M. S., 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, pp.611-629. doi: **10.3390/plants8120611**
- Farahani, H. A., Valadabadi, S. A., Daneshian, J. and Khalvati, M. A., 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3, pp.329-333.
- Ghaderi, S., Ebrahimi, S. N., Ahadi, H., Moghadam, S. E. and Mirjalili, M. H., 2019. In vitro propagation and phytochemical assessment of *Perovskia abrotanoides* Karel. (Lamiaceae)- A medicinally important source of phenolic compounds. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, e101113. doi: **10.1016/j.bcab.2019.101113**
- Ghaffari, Z., Rahimmalek, M. and Sabzalian, M. R., 2019. Variation in the primary and secondary metabolites derived from the isoprenoid pathway in the *Perovskia* species in response to different wavelengths generated by light emitting diodes (LEDs). *Industrial Crops and Products*, 140, e111592. doi:

10.1016/j.indcrop.2019.111592

Ghafourian, M. and Mazandarani, M., 2017. Ethnopharmacology, ecological requirements, antioxidant and antimicrobial activities of *Perovskia abrotanoides* Karel. extract for vaginal infections from semnan province.

International Journal of Women's Health and Reproduction Sciences, 5, pp.295-300. doi: **10.15296/ijwhr.2017.50**

Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V. and Moradshahi, A., 2019. Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglossum etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. *Scientia Horticulturae*, 256, e108652. doi: **10.1016/j.scienta.2019.108652**

Gharibi, S.H., Tabatabaei, B.E.S., Saeidi, G.H. and Goli, S.A.H., 2016. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178, pp.796-809. doi: **10.1007/s12010-015-1909-3**

Gharibi, S., Tabatabaei, B. E. S., Saeidi, G., Talebi, M. and Matkowski, A., 2019. The effect of drought stress on polyphenolic compounds and expression of flavonoid biosynthesis related genes in *Achillea pachycephala* Rech. f. *Phytochemistry*, 162, pp.90-98. doi: **10.1016/j.phytochem.2019.03.004**

Hafez Ghoran, S., Azadi, B. and Hussain, H., 2016. Chemical composition and antimicrobial activities of *Perovskia artemisioides* Boiss. essential oil. *Natural Product Research*, 30, pp.1997-2001. doi: **10.1080/14786419.2015.1101694**

Hodaei, M., Rahimmalek, M., Arzani, A. and Talebi, M., 2018. The effect of water stress on phytochemical accumulation, bioactive compounds and expression of key genes involved in flavonoid biosynthesis in *Chrysanthemum morifolium* L. *Industrial Crops and Products*, 120, pp.295-304. doi: **10.1016/j.indcrop.2018.04.073**

Hosseinzadeh, M., Ghalavand, A., Mashhadi Akbar Boojari, M., Modarres-Sanavy, S. and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2019. Changes morphological, agronomic and oil and essential oil content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress, mycorrhiza and organic/chemical fertilizer of nitrogen. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, pp.831-846. doi:**10.22077/escs.2019.1578.1356** [In Persian].

Hussain, S., Khalid, M. F., Saqib, M., Ahmad, S., Zafar, W., Rao, M. J., Morillon, R. and Anjum, M. A., 2018. Drought tolerance in citrus rootstocks is associated with better antioxidant defense mechanism. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, pp.135-145. doi: **10.1007/s11738-018-2710-z**

Ilkaee, M. N., Moradi, R., Mansouri, H., Ghorbani, S. and Paknajat, F., 2017. Effect of abiotic environmental factors on growth and essential oil characteristics of *Perovskia Abrotanoides* Karel. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20, pp.729-743. doi: **10.1080/0972060X.2017.1358672**

Li, B., Zhang, C., Peng, L., Liang, Z., Yan, X., Zhu, Y. and Liu, Y., 2015. Comparison of essential oil composition and phenolic acid content of selected *Salvia* species measured by GC-MS and HPLC methods. *Industrial Crops and Products*, 69, pp.329-334. doi: **10.1016/j.indcrop.2015.02.047**

Morshedloo, M. R., Craker Lyle, E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H. and Maggi, F., 2017. Effect of prolonged

- water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 111, pp.119-128. doi: **10.1016/j.plaphy.2016.11.023**
- Nouraei, S., Rahimmalek, M., and Saeidi, G., 2018. Variation in polyphenolic composition, antioxidants and physiological characteristics of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* Hayek L.) as affected by drought stress. *Scientia Horticulturae*, 233, pp.378-385. doi: **10.1016/j.scienta.2017.12.060**
- Pop, A.V., Tofană, M., Socaci, S.A., Nagy, M., Bors, M.D., Salanta, L. and Vlaic, R., 2015. Studies on total polyphenols content and antioxidant activity of methanolic extracts from selected *Salvia* species. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 72, pp.86-91. doi: **10.15835/buasvmcn-fst:11095**
- Sabagh, S., Niakan, M. and Gholam-ali pour, A., 2017. Quantitative and qualitative evaluation of some primary and secondary metabolites of *Perovskia abrotanoides* Karel. at different phenological stages. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 12, pp.14-26 [In Persian].
- Sarker, U. and Oba, S., 2018. Drought stress effects on growth, ROS markers, compatible solutes, phenolics, flavonoids, and antioxidant activity in *Amaranthus tricolor*. *Applied biochemistry and biotechnology*, 186, pp.999-1016. doi: **10.1007/s12010-018-2784-5**
- Vosoughi, N., Gomarian, M., Pirbalouti, A.G., Khaghani, S. and Malekpoor, F., 2018. Essential oil composition and total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) extract under chitosan application and irrigation frequencies. *Industrial Crops and Products*, 117, pp.366-374. doi: **10.1016/j.indcrop.2018.03.021**
- Zardak, S. G., Dehnavi, M. M., Salehi, A. and Gholamhoseini, M., 2017. Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 5, pp.16-25. doi: **10.1016/j.jarmap.2016.09.004**

Evaluation of limited irrigation effects on essential oil constituents and antioxidant activities of the medicinal plant *S. abrotanoides*

Mahvash Afshari^{1*}, Mehdi Rahimmalek², Mohammad Reza Sabzalian¹

¹ Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

² Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding Author: m.afshari1992@gmail.com

Received: 24 April 2022

Accepted: 12 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.338848.1228

Abstract

Introduction: Drought is one of the most important abiotic stresses that affects plant growth, development and biochemical processes of plants such as the production of secondary metabolites and aromatic chemical compounds. *Salvia* subgenus *Perovskia* belongs to the Lamiaceae family and it has numerous therapeutic properties. In general, the anti-oxidative defense mechanisms are mainly classified into enzymatic (e.g., guaiacol peroxidase, and ascorbate peroxidase) and non-enzymatic, i.e., polyphenolic compounds, terpenoids, proline, which can coordinately detoxify excess reactive oxygen species in the cells. Indeed, water deficit stress can impose profound effects on quality and quantity of essential oils in aromatic plants.

Materials and Methods: In order to investigate the effects of limited irrigation on polyphenol contents, antioxidant enzyme activities and essential oil constituents of two populations of *S. abrotanoides* viz., Abyaneh and Mezdeh populations, as endemic species of Iran, a randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Farm of Isfahan University of Technology, in two consecutive years 2020-2021. Water deficit levels included field capacity (as control), 70% of field capacity (mild stress), and 50% of field capacity (severe stress).

Results and Discussion: The results showed that total phenolic content, total flavonoids, antioxidant enzymes activities, proline content, and essential oil yield substantially increased with the severity of stress as compared with well-watered plants. Furthermore, the highest contents of total phenolics, total flavonoids, and antioxidant activities were obtained in Abyaneh population in comparison to the other ones at the second year of cultivation. In other words, Abyaneh has a greater capacity in regulating water deficit stress than the other population. The essential oil content ranged from 1.01 to 2.82% in Abyaneh population and 0.78 to 2.04% in Mezdeh population. The analysis of the essential oils by GC/MS revealed the presence of a large number of components represented mainly by oxygenated monoterpenes. Camphor concentration ranged from 18.28% (Abyaneh population and mild stress) to 29.26% (Mezdeh population and severe stress). The amount of borneol ranged from 1.18% (Mezdeh population and well-watered level) to 4.34% (Mezdeh population and mild stress), and the level of δ -3-carene ranged from 1.62% (Mezdeh population and severe stress) to 11.81% (Abyaneh population and mild stress). The highest and lowest amount of 1,8-cineole were found in Abyaneh population under mild stress level (25.79%) and Mezdeh population under well-watered level (15.95%), respectively. Among main essential oil compositions, Abyaneh population showed the highest amount of α -pinene under well-watered level (10.81%), while this population had the lowest value (5.04%) under severe stress level. Furthermore, the concentration of myrcene were obtained in the range of 0.59% to 9.90%, in which the highest value was observed for the sample collected from Abyaneh population under severe stress level, while the sample of this population under well-watered along with mild stress levels showed the lowest values. In both plant populations, the proportions of oxygenated monoterpenes were elevated with increasing stress severity while the sesquiterpenes (sesquiterpene hydrocarbons and oxygenated sesquiterpenes) decreased. In addition, the percentage of all prominent volatile constituents including δ -3-carene, camphor, 1,8-cineole,

berneol, myrcene and α -pinene elevated at the levels of mild and severe stress, and it suggested that water stress conditions improved the quality of the studied essential oils.

Conclusion: Finally, it can be concluded that mild and severe drought stress significantly increased secondary metabolites, antioxidant activities, and the percentage of prominent volatile constituents, which provided an insight for improving the qualitative and quantitative status of bioactive components of *S. abrotanoides* with moisture-stress management practices.

Keywords: Flavonoids, Lamiaceae family, Moisture stress, Monoterpenes, Total phenols

بررسی برخی از صفات مورفولوژیکی و عملکرد دانه سویا تحت تنش کم آبیاری و محلول پاشی اسیدهای آمینه

زهرا بهروشن^۱، حسین زاهدی^{۲*}، اکبر علیپور^۲، یونس شرقی^۲، آریتا زند^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۲- گروه کشاورزی و مرکز تحقیقات کشت‌های تلفیقی، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

* مسئول مکاتبه: hzahedi2006@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.382054.1315

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸

چکیده

با توجه به این که ایران جز مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، مدیریت آب در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر سویا، آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. آزمایش به‌صورت سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه مختلف در شش سطح (لوسین، والین، سیستئین، اسیدهای آمینه تجاری و بدون محلول‌پاشی) به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج مشخص شد در کم آبیاری شدید، برخی از صفات مورفولوژیکی سویا مانند صفات ارتفاع بوته، وزن تر و خشک برگ و ساقه، وزن تر و خشک غلاف، شاخص سطح برگ، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه کاهش معنی‌داری نسبت به آبیاری مطلوب نشان می‌دهند. هم‌چنین در کم آبیاری شدید عملکرد دانه کاهش ۱۶/۲۶ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل داشت. نتایج نشان داد با محلول‌پاشی بوته‌ها، عملکرد دانه سویا افزایش معنی‌داری داشت و هم‌چنین سیستئین و والین در بین اسیدهای آمینه کاربردی، بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند. با توجه به نتایج پژوهش به‌منظور جلوگیری از کاهش عملکرد بهتر است از کم آبیاری شدید در حد امکان استفاده نشود و هم‌چنین در صورت لزوم از محلول‌پاشی اسید آمینه والین و سیستئین به‌منظور تأثیر مثبت روی عملکرد گیاه سویا، استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، تعداد غلاف، سیستئین، لوسین، والین

مقدمه

است. تنش یکی از بزرگ‌ترین عوامل کاهش عملکرد گیاهان بوده و محدوده توزیع طبیعی گیاهان را مشخص می‌کند. تنش خشکی اثر تنش‌های دیگر را نیز تشدید و یا باعث به وجود آمدن آن‌ها می‌شود (Cruz de Carvalho, 2005). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تعیین‌کننده توزیع پوشش گیاهی و محدودیت تولید در بخش کشاورزی می‌باشد و هم‌چنین یک خطر جدی در تأمین امنیت غذایی جهان است (Ahmed *et al.*, 2013). تنش خشکی به منزله کمبود آب در گیاه بوده و این وضعیت هنگامی ایجاد می‌شود که میزان تعرق از میزان جذب آب بیشتر باشد که اثرات منفی بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی داشته و کاهش اساسی در تولیدات گیاهی را موجب می‌شود (Zadehbagheri *et al.*, 2012).

کم آبیاری یک راه‌کار سودمند اقتصادی است که در شرایط بحران آب و به‌منظور حداکثر استفاده از واحد آب مصرفی است (Muneer *et al.*, 2018). پاسخ گیاهان به تنش خشکی،

سویا با داشتن حدود ۲۰ درصد روغن و ۴۰ درصد پروتئین، از لحاظ سطح زیر کشت در صدر گیاهان دانه روغنی در جهان قرار دارد (Movahedi *et al.*, 2018). سویا از تیره لگومینوز، روز کوتاه و هم‌چنین با ۵ درصد دگرگشینی یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی می‌باشد (Daneshian *et al.*, 2009). تنش در نتیجه روند غیر عادی فرآیندهای فیزیولوژیکی بوده و از تأثیر یک یا چند عامل زیست‌محیطی حاصل می‌شود. به عبارت دیگر تنش عبارت است از قرار گرفتن ارگانیسم تحت تأثیر شدتی از یک عامل محیطی که موجب افت ظاهری، بازده و یا ارزش آن می‌شود. رشد و نمو گیاهان زراعی به طور دائمی تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی قرار می‌گیرند و تنش‌های محیطی نیز از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در جهان هستند (Franklin *et al.*, 2010).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده در گیاهان

GSH از سیستمین نسبت داد (Nasibi *et al.*, 2016). هدف از این پژوهش بررسی تأثیر مصرف بذرمال، کم آبیاری و محلول پاشی اسیدهای آمینه والین، لوسین، سیستمین، تجاری و محلول پاشی آب خالص بر برخی از صفات گیاه سویا مانند افزایش تعداد دانه، وزن هزاردانه، بیوماس گیاه و عملکرد می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در ۱۷ کیلومتری اتوبان تهران- کرج اجرا شد. مختصات جغرافیایی محل آزمایش برابر با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و هم‌چنین با ارتفاع ۱۲۱۵ متر از سطح دریا می باشد. میانگین درجه حرارت و مقدار بارش سالانه در منطقه بر اساس آمار هواشناسی به ترتیب ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۷/۴ میلی‌متر است.

مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

به منظور ارزیابی و تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری نمونه برداری انجام شد. بافت خاک محل آزمایش از نوع لومی شنی بود (جدول ۱).

متفاوت است و تا حد زیادی بسته به گونه و شدت استرس می باشد گیاهان عالی از طریق بستن روزنه‌ها و لوله کردن برگ‌ها، تنظیم اسمزی، کاهش گسترش سلولی در ایجاد تغییرات در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌تواند به تنش کم‌آبی پاسخ دهند (Costa *et al.*, 2008). اسیدهای آمینه موادی هستند که باعث تحریک سوخت و ساز (متابولیسم) و فرآیندهای سوخت و سازی (متابولیکی) در جهت افزایش کارایی گیاهان می‌شوند (Faten *et al.*, 2010). متابولیت سلولی بویژه اسید آمینه‌ها به شدت تحت تأثیر تعاملات ژنوتیپ و محیط قرار دارد. اگر چه سنتز متابولیت‌ها تحت کنترل ژن‌ها قرار دارد، شروع بیوسنتز آن‌ها در مراحل توسعه و یا تحت عوامل محیطی به خصوص نوع خاک، دما، نور، کمپوست، رطوبت و غیره منجر می‌شود (Shahid *et al.*, 2016).

در پژوهشی محققین نشان دادند که استفاده از انواع اسیدهای آمینه اثر افزایشی بر عملکرد بذر گیاه گزنه داشت (Wahba *et al.*, 2015). اثر تقویتی اسیدهای آمینه مختلف بر رشد و عملکرد گونه‌های مختلف گیاهی بر گندم (Nasibi *et al.*, 2016) و باقلا (El-Awadi *et al.*, 2016) گزارش شده است. در پژوهشی اسید آمینه سیستمین اثر افزایشی بر رشد و عملکرد سویا داشت (Sadak *et al.*, 2020). اثر تقویتی اسید آمینه سیستمین بر معیارهای رشد گیاه سویا را می‌توان به سنتز

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of the test site in 2018 and 2019

عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (ds/m)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن N (%)
۱۳۹۷ 0-30	80	13	7	7.48	0.73	1.2	689	32	0.12
2018 30-60	83	8	9	7.46	0.73	1.0	754	25.80	0.10
۱۳۹۸ 0-30	81	10	9	7.81	0.59	0.62	391	17.20	0.102
2019 30-60	79	11	10	7.91	0.54	0.66	746	17.80	0.038

مبارزه با علف‌های هرز نیز به صورت وجین دستی در طول دوره رشد انجام گرفت و هم‌چنین آبیاری مزرعه به صورت قطره‌ای و توسط لوله انجام شد.

این تحقیق به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا گردید. عوامل آزمایشی

با توجه به آزمایش خاک و غنی بودن خاک مزرعه از فسفر و پتاسیم، از کودپاشی زمین در زمان تهیه بستر استفاده نشد. مبنای تعیین مقدار مورد نیاز کود اوره عبارت از درصد ماده آلی خاک و مقدار کود نیتروژنه لازم برای گیاه سویا بود که به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کشت به زمین اضافه گردید.

خط کشت کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر خط) تعداد پنج بوته بطور تصادفی از هر کرت انتخاب و ارتفاع بوته آن از سطح خاک تا انتهای اندازه گیری و بعد از میانگین گیری به عنوان ارتفاع بوته ثبت شد. جهت تعیین سطح برگ، کل برگ های پنج بوته جدا و توسط دستگاه سطح برگ سنچ (Li-Cor, Model Li-1300; USA) اندازه گیری و پس از میانگین گیری سطح برگ هر بوته یادداشت گردید.

به منظور تعیین وزن تر و خشک برگ، ساقه و غلاف قبل از رسیدگی فیزیولوژیک تعداد ۵ بوته از هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه ای به طور تصادفی انتخاب شد. بعد از جداسازی برگ، ساقه و غلاف ۵ بوته، هر کدام به طور جداگانه توزین و بعد از میانگین گیری به عنوان وزن تر صفات مذکور ثبت گردید. سپس هر کدام به طور جداگانه داخل پاکت های کاغذی به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به حداقل رطوبت قرار داده شدند و بعد از توزین و میانگین گیری به عنوان وزن خشک برگ، ساقه و غلاف ثبت شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

با توجه به جدول ۲، ارتفاع بوته تحت اثرات اصلی محلول پاشی اسیدهای آمینه ($P < 0.05$)، رژیم آبیاری و اثر متقابل سال در رژیم آبیاری ($P < 0.01$) معنی دار بود اما واکنش معنی داری نسبت به سال و دیگر اثرات متقابل دوگانه و سه گانه نشان نداد (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در رژیم آبیاری، در هر سال با کاهش آبیاری ارتفاع بوته کاهش یافت اما این کاهش در سال اول معنی دار نبود. در سال دوم ارتفاع بوته تحت کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید به ترتیب کاهش ۱۵/۷۲ و ۳۵/۶۶ درصدی و نسبت به آبیاری کامل معنی دار بود (شکل ۱). طبق پژوهشی مشخص شد که با کاهش آبیاری و افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته کاهش می یابد (Sadeghi *et al.*, 2021). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد که در طی دو سال زراعی انجام شد در هر دو سال ارتفاع بوته تحت تنش خشکی کاهش یافت (Abo-Alhassan *et al.*, 2022).

شامل سه سطح آبیاری که شامل آبیاری کامل (قطع آبیاری تا تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده موجود در منطقه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه)، کم آبیاری متوسط (قطع آبیاری تا تخلیه ۴۵ درصد آب قابل استفاده موجود در منطقه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه) و کم آبیاری شدید (قطع آبیاری تا تخلیه ۶۵ درصد آب قابل استفاده موجود در منطقه ریشه و سپس آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه) در کرت های اصلی و محلول پاشی برگ اسیدهای آمینه با پنج سطح (لوسین، والین، سیستئین، اسیدهای آمینه تجاری، بدون محلول پاشی) به عنوان کرت های فرعی در نظر گرفته شدند. تعداد کرت های آزمایشی ۵۴ عدد بود. در هر تکرار سه کرت اصلی به فاصله یک متر از هم و ۶ کرت فرعی در داخل هر کرت اصلی ایجاد شد. هر کرت شامل چهار ردیف کشت به فاصله ۵۰ سانتی متر انجام شد. طول هر ردیف ۱/۵ متر و بین هر دو کرت نیز یک ردیف نکاشت (به فاصله ۵۰ سانتی متر) در نظر گرفته شد. فاصله بوته ها روی ردیف های کشت، ۸ سانتی متر می باشد. فاصله دو تکرار نیز دو متر در نظر گرفته شد.

جهت تعیین مقدار رطوبت خاک در طی فصل رشد گیاه سویا و اعمال تنش کم آبی ۱۰ روز قبل از اولین مرحله از محلول پاشی اسیدهای آمینه (در مرحله شروع گل دهی وقتی ۱۰ درصد مزرعه گل داده باشد) طبق تیمارهای آبیاری اقدام به اعمال تنش کم آبیاری شد. میزان پتانسیل رطوبتی خاک با توجه به درصد رطوبت حجمی (اعداد به دست آمده از TDR^1) در زمان تنش که با دستگاه TDR اندازه گیری شد، محاسبه گردید. نمونه خاک از عمق معادل طول میله (۳۰ تا ۵۰ سانتی متر) هر یک از حسگرها با استفاده از مته خاک انجام شد. این کار با ۱۵ نوبت داده برداری ادامه یافت. چگالی ظاهری هر یک از نمونه های خاک، بعد از پایان این مرحله هر یک با سه تکرار از روش Sand bottle و در همان عمق اندازه گیری شد تا برای تبدیل رطوبت وزنی به رطوبت حجمی مورد استفاده قرار گیرد. در سال دوم نیز اعمال تیمارها و کشت سویا همانند سال اول انجام شد.

به منظور تعیین ارتفاع بوته، با رسیدن محصول زمانی که سویا آماده برداشت شد، بعد از حذف اثرات حاشیه ای (حذف دو

¹ Time-domain reflectometer

نداشتند (شکل ۲). در پژوهشی ارتفاع بوته بابونه تحت سطوح مختلف اسیدهای آمینه تجاری به طور معنی داری افزایش داشت (Omer *et al.*, 2013). در بررسی‌هایی بر گندم ارتفاع بوته تحت محلول پاشی اسیدهای آمینه افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان داد (Jeber and Khaeim, 2019).

نتایج نشان داد با محلول پاشی بوته‌ها توسط اسیدهای آمینه ارتفاع بوته سویا افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت و در بین اسیدهای آمینه، اسید آمینه تجاری (۹۱/۷۷ سانتی‌متر) و سیستئین (۹۱/۰۶ سانتی‌متر) بیشترین تأثیر را بر ارتفاع بوته داشتند هر چند که تفاوت معنی داری با سایر اسیدهای آمینه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر برخی از صفات مورفولوژی سویا رقم ویلیامز طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 2- The results of the analysis of variance of the effect of irrigation regime and foliar spraying of amino acids on some morphological traits of Williams variety soybean during two crop years 2018 and 2019

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		ارتفاع بوته Plant height	سطح برگ هر بوته Leaf area of each plant	وزن تر برگ Fresh weight of leaves	وزن خشک برگ Leaf dry weight
سال Year	1	1.32 ^{ns}	4194.16 ^{ns}	506264.59 ^{ns}	38920.38 ^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	5013.20**	1849070.48**	10453624.83**	1923619.99**
سال در رژیم آبیاری Years in the irrigation regime	2	1977.58**	32488.44 ^{ns}	576542.23 ^{ns}	86314.64 ^{ns}
خطای a (بلوک در سال و رژیم آبیاری) Error a (block per year and irrigation regime)	12	61.49	74493.94	973738.12	36132.78
اسیدهای آمینه Amino acids	5	180.53*	3242485.32**	8863638.94**	904150.02**
سال در اسیدهای آمینه Years in amino acids	5	7.16 ^{ns}	466577.73**	1013175.51 ^{ns}	53788.35 ^{ns}
رژیم آبیاری در اسیدهای آمینه Irrigation regime in amino acids	10	27.91 ^{ns}	215457.30*	939409.45**	50545.41 ^{ns}
سال در رژیم آبیاری در اسیدهای آمینه Year in irrigation regime in amino acids	10	11.11 ^{ns}	79444.60 ^{ns}	702592.97 ^{ns}	76241.96 ^{ns}
خطای b Error b	60	73.32	83382.14	381002.08	41875.97
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)		9.62	13.11	10.55	11.63

^{ns}, * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

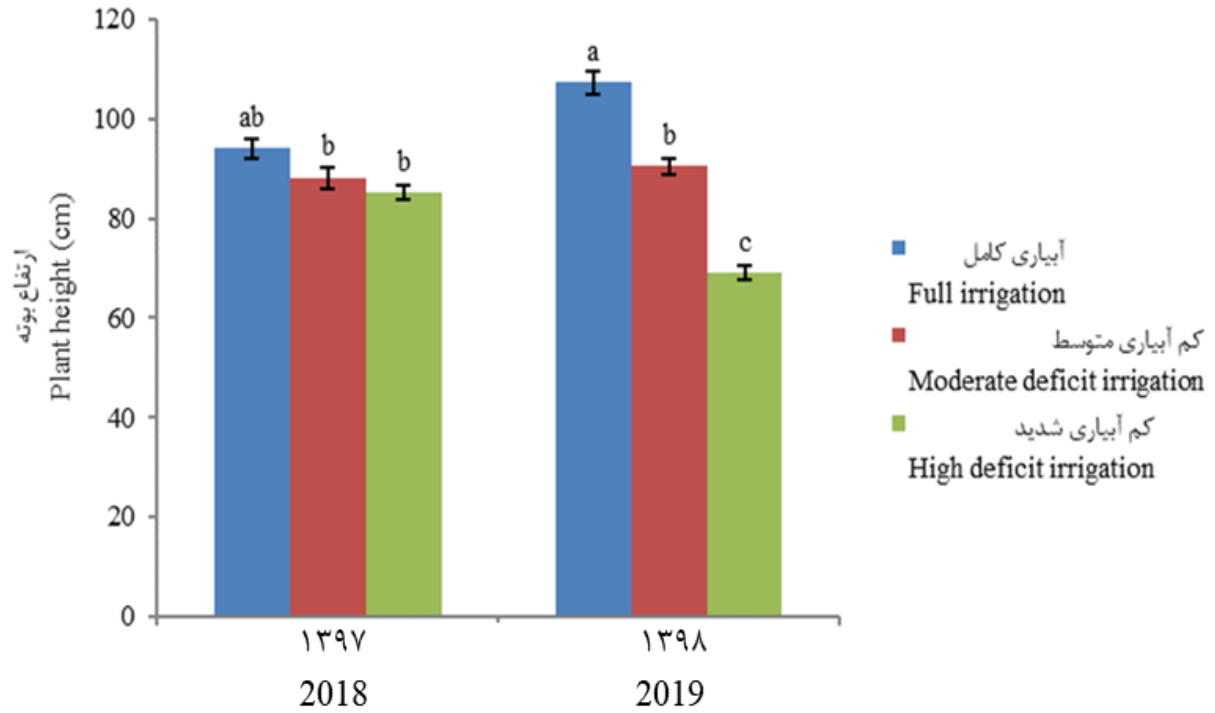
گیاهان جهت مقابله با تنش خشکی کاهش سطح برگ از طریق کاهش اندازه یا کاهش تعداد برگ برای زنده ماندن در شرایط خشکی می‌باشد (Bahreynejad *et al.*, 2013). در پژوهشی نیز سطح برگ دو رقم لوبیا تحت تنش خشکی کاهش معنی داری نسبت به شرایط آبیاری کامل داشت (Rasti Sani

سطح برگ در هر بوته

بیشترین سطح برگ مربوط به بوته‌های محلول پاشی شده توسط والین در سال دوم بود. نتایج نشان داد در هر سال با محلول پاشی اسیدهای آمینه سطح برگ بوته سویا افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت (شکل ۳). یکی از واکنش‌های

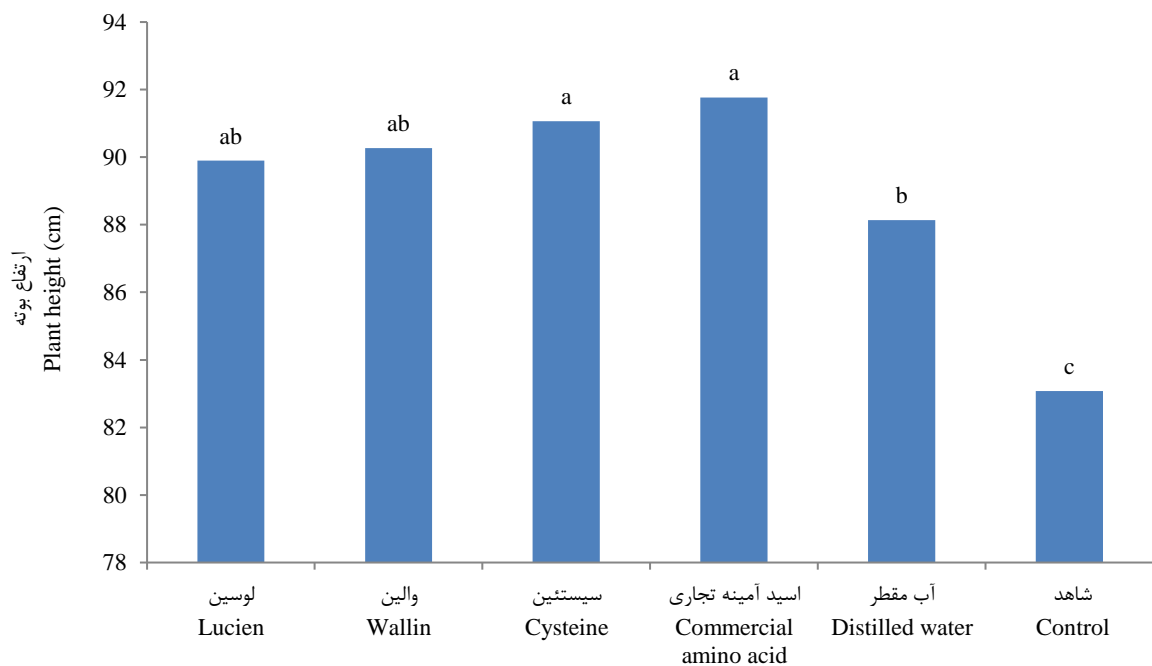
بررسی مبنی بر اثر افزایشی اسیدهای آمینه بر سطح برگ
مطابقت دارد.

(et al., 2018). در پژوهش دیگر محققین نشان دادند که سطح
برگ تحت تیمارهای اسیدهای آمینه افزایش معنی داری داشت
(Shekari and Javanmardi, 2017) که با نتایج حاصل از این



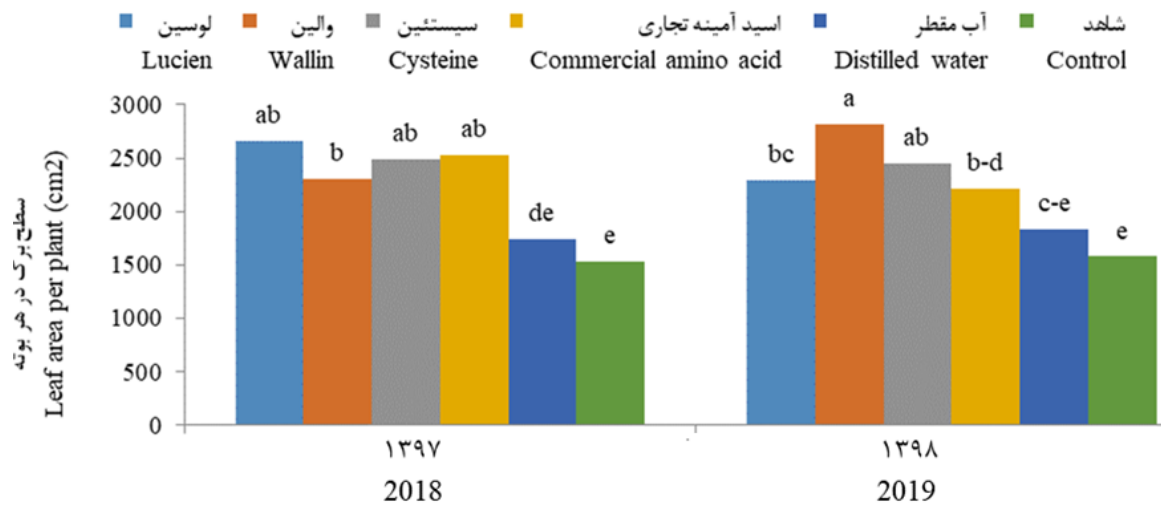
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در رژیم آبیاری بر ارتفاع بوته سویا

Figure 1- Comparison of the average interaction effect of year and irrigation regime on the height of soybean



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر ارتفاع بوته سویا رقم ویلیامز

Figure 2- Comparison of the average effect of foliar spraying of amino acids on the height of the soybean cultivar Williams

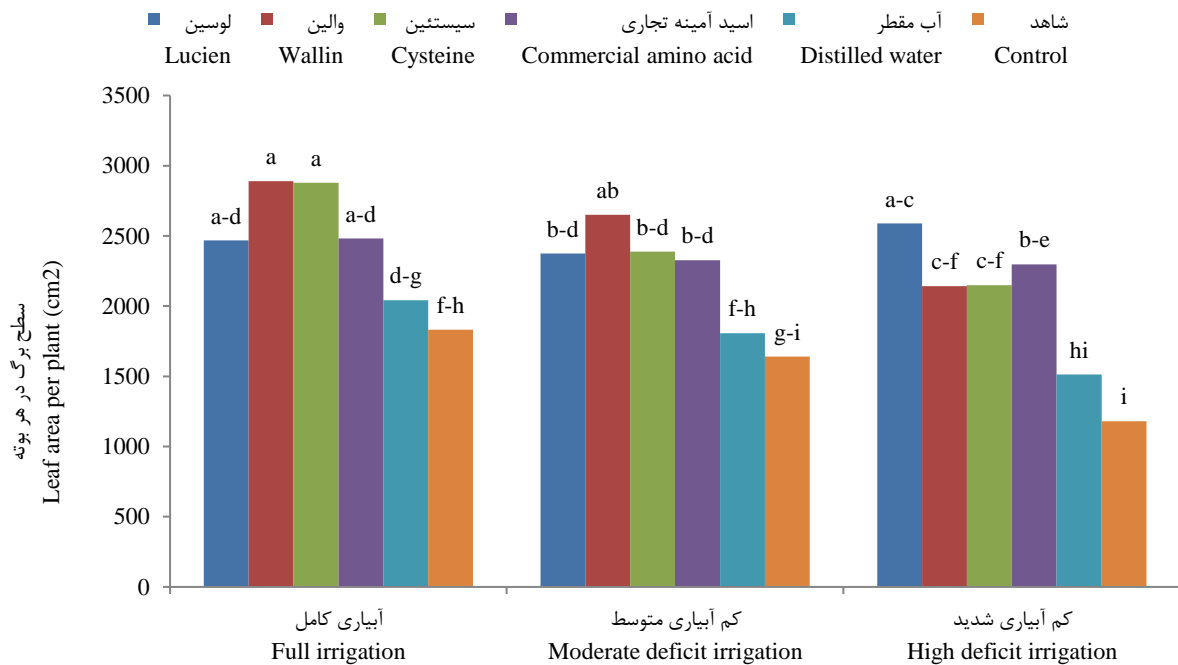


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در محلول پاشی آمینو اسیدهای آمینه بر سطح برگ در بوته سویا رقم ویلیامز

Figure 3- Comparison of the average interaction effect of the year in the application of amino acids on the leaf surface in Williams cultivar soybean plant

تحت محلول پاشی توسط والین و سیستئین در شرایط آبیاری کامل اختصاص داشت که تفاوت معنی داری با دو نوع اسید آمینه دیگر در همین سطح آبیاری نداشتند (شکل ۴).

طبق نتایج در هر سطح آبیاری با محلول پاشی اسیدهای آمینه سطح برگ بوته دارای افزایش معنی داری نسبت به شاهد بود و در هر تیمار از محلول پاشی با کاهش آبیاری سطح برگ بوته روندی کاهشی داشت. بیشترین سطح برگ به بوته‌های



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی اسیدهای آمینه بر سطح برگ در بوته سویا رقم ویلیامز

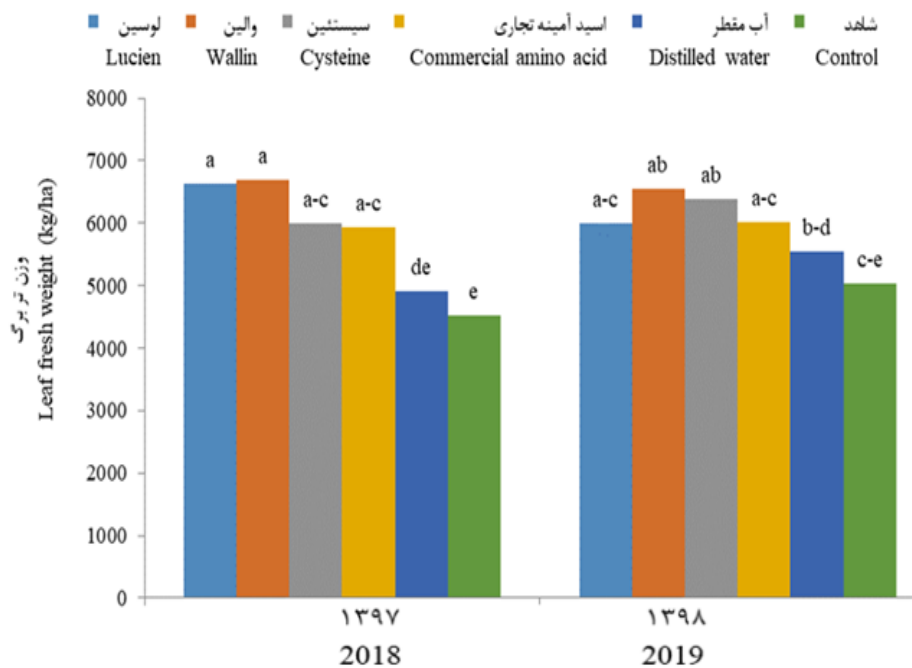
وزن تر و خشک برگ

Figure 4- Comparison of the average interaction effect of irrigation regime in spraying amino acids on the leaf surface in Williams variety soybean plant

وزن خشک و تر برگ

سه‌گانه نداشت (شکل ۵). وزن خشک برگ نسبت به سال و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه واکنش معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

طبق نتایج، وزن تر برگ به‌طور معنی‌داری تحت اثرات اصلی رژیم آبیاری، محلول پاشی اسیدهای آمینه قرار گرفت اما تغییر معنی‌داری نسبت به سال و دیگر اثرات متقابل دوگانه و

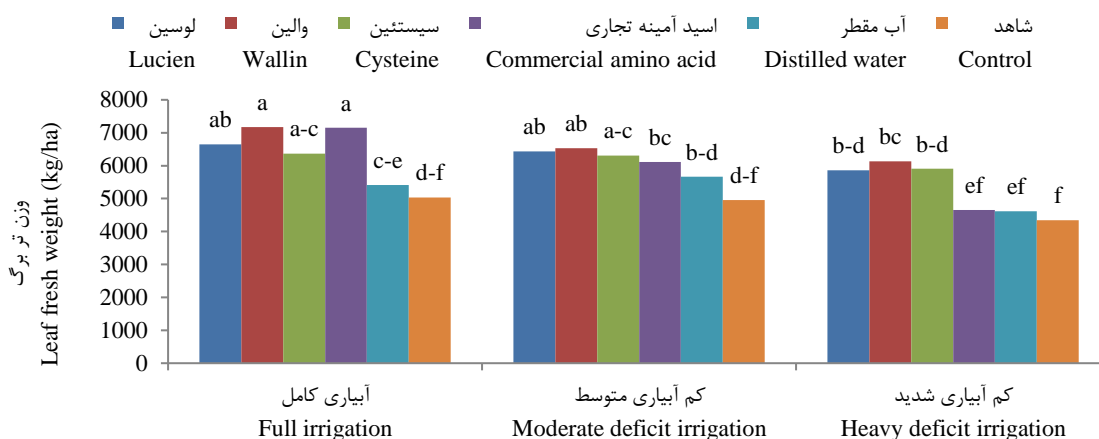


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن تر برگ سویا رقم ویلیامز

Figure 5- Comparison of the average interaction effect of the year in amino acid solution spraying on the fresh weight of soybean leaves of Williams variety

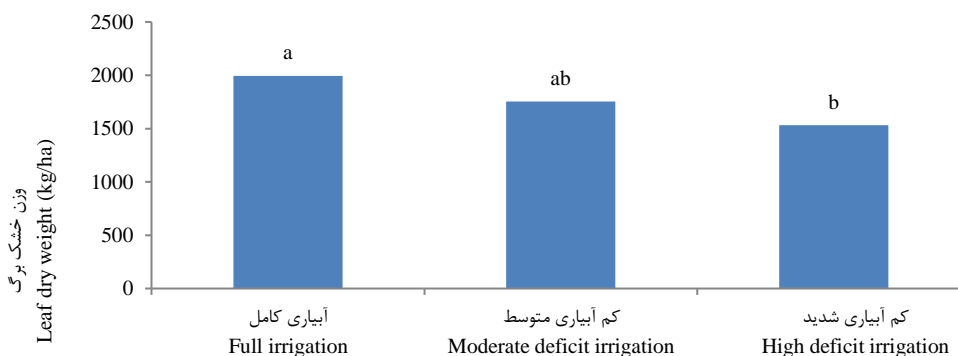
مهمی در متابولیسم گیاه و جذب پروتئین‌های لازم برای تشکیل سلول‌های جدید دارند و بنابراین می‌توانند نقش مهمی در افزایش وزن تر و خشک گیاه داشته باشند (Kandi *et al.*, 2016). با توجه به نتایج بررسی حاضر محلول پاشی اسیدهای آمینه اثر افزایشی بر سطح برگ و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ داشت و این خود می‌تواند دلیل بر افزایش وزن تر و خشک برگ باشد. در پژوهشی بر باقلا مصرف اسیدهای آمینه پرولین و سیستئین باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه و برگ شدند (El-Awadi *et al.*, 2016). با محلول پاشی بوته‌ها توسط اسیدهای آمینه و آب مقطر وزن خشک برگ افزایش داشت اما این افزایش فقط تحت محلول پاشی اسیدهای آمینه معنی‌دار بود. اسید آمینه والین با بیشترین تأثیر بر وزن خشک برگ باعث افزایش ۲۹/۵۷ درصدی آن نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۸).

بر اساس نتایج در هر سطح آبیاری همراه با محلول پاشی اسید آمینه، وزن تر برگ افزایش پیدا کرد و با کاهش آبیاری در هر تیماری حاصل از محلول پاشی، وزن تر برگ روندی کاهشی پیدا کرد. بیشترین وزن تر برگ به بوته‌های تحت محلول پاشی والین و اسید آمینه تجاری در شرایط آبیاری مطلوب اختصاص داشت. نتایج نشان داد در شرایط کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید با محلول پاشی بوته‌ها توسط اسیدهای آمینه لوسین، والین و سیستئین وزن تر برگ افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت (شکل ۶). کاهش مقدار فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌خصوص کلروفیل (Noreen *et al.*, 2017) می‌تواند دلیلی بر کاهش تولید ماده تر و خشک و کاهش تولید برگ بوده باشد. طبق نتایج مشخص شد که وزن خشک برگ تحت کم آبیاری شدید کاهش ۲۳/۱۸ درصدی نسبت به آبیاری کامل داشت (شکل ۷). اسیدهای آمینه نقش



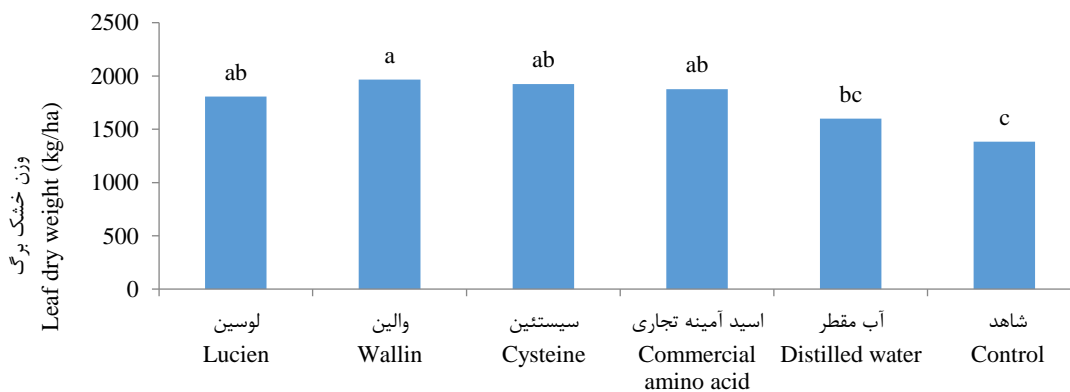
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن تر برگ سویا رقم ویلیامز

Figure 6- Comparison of the average interaction effect of irrigation regime in amino acid foliar application on fresh weight of soybean leaves of Williams cultivar



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر وزن خشک برگ سویا رقم ویلیامز

Figure 7- Comparison of the average effect of irrigation regime on the dry weight of Williams cultivar soybean leaves



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن خشک برگ سویا رقم ویلیامز

Figure 8- Comparison of the average effect of foliar spraying of amino acids on the dry weight of soybean leaves of Williams variety

تعداد برگ در نتیجه کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش فشار آماس سلول و در نهایت کاهش اندازه و تقسیم سلول بوده باشد. علاوه بر این کاهش مقدار فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش

کمیت و کیفیت رشد گیاه وابسته به تقسیم سلولی است اما این تقسیم سلولی تحت تنش خشکی به دلیل کاهش تورژانس سلولی کاهش می‌یابد. کاهش وزن تر و خشک برگ تحت تنش خشکی در این بررسی می‌تواند به دلیل کاهش سطح برگ و

وزن تر و خشک ساقه

طبق نتایج جدول ۳ وزن تر ساقه به طور معنی داری تحت اثرات اصلی رژیم آبیاری، محلول پاشی اسیدهای آمینه و اثرات متقابل دوگانه سال در اسیدهای آمینه ($P < 0.01$) و اثر متقابل سه گانه سال در رژیم آبیاری در اسیدهای آمینه ($P < 0.05$) قرار گرفت اما واکنش معنی داری نسبت به سال و دیگر اثرات متقابل دوگانه نداشت (جدول ۳). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد وزن خشک ساقه نیز به طور معنی داری ($P < 0.01$) تحت اثرات اصلی رژیم آبیاری، محلول پاشی اسیدهای آمینه و اثر متقابل دوگانه سال در رژیم آبیاری قرار گرفت اما تغییر معنی داری نسبت به دیگر اثرات متقابل دوگانه و سه گانه نشان نداد (جدول ۳).

رنگدانه های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل (Noreen *et al.*, 2017) می تواند دلیلی بر کاهش تولید ماده تر و خشک و کاهش تولید برگ بود. اسیدهای آمینه نقش مهمی در متابولیسم گیاه و جذب پروتئین های لازم برای تشکیل سلول های جدید دارند و بنابراین می توانند نقش مهمی در افزایش وزن تر و خشک گیاه داشته باشند (Kandil *et al.*, 2016). با توجه به نتایج بررسی حاضر همان گونه که ذکر خواهد شد محلول پاشی اسیدهای آمینه اثر افزایشی بر سطح برگ و افزایش رنگیزه های فتوسنتزی برگ داشت و این خود می تواند دلیل بر افزایش وزن تر و خشک برگ بوده باشد. در پژوهشی بر باقلا مصرف اسیدهای آمینه پرولین و سیستئین باعث افزایش معنی دار ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه و برگ شدند (El-Awadi *et al.*, 2016).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و محلول پاشی اسیدهای آمینه بر برخی صفات مورفولوژی سویا رقم ویلیامز طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 3- The results of analysis of variance of the effect of irrigation regime and foliar spraying of amino acids on some morphological traits of Williams variety soybean during two crop years 2017 and 2018

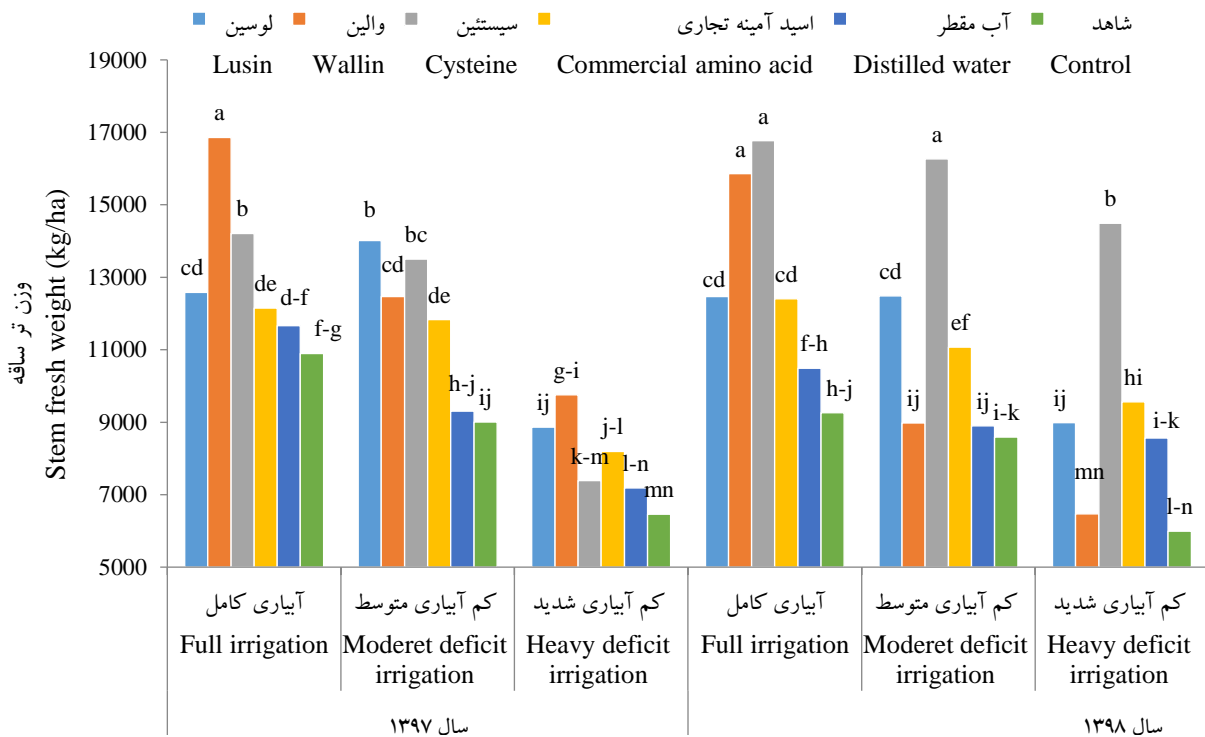
منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean of squares				
		وزن تر ساقه Stem fresh weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن تر غلاف Pod fresh weight	وزن خشک غلاف Dry weight of pods	عملکرد دانه Grain yield
سال Year	1	9224288.32 ^{ns}	14955.89 ^{ns}	67364962.46 ^{**}	435728.19 ^{ns}	89412.55 ^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime	2	150706478.05 ^{**}	6307216.50 ^{**}	120959920.05 ^{**}	18351238.62 ^{**}	**2555229.65
سال در رژیم آبیاری Years in the irrigation regime	2	5463458.70 ^{ns}	1681328.38 ^{**}	2350398.57 ^{ns}	694283.14 ^{ns}	34735.73 ^{ns}
خطای a (بلوک در سال و رژیم آبیاری) Error a (block per year and irrigation regime)	12	2774008.12	52723.83	3426306.74	246519.88	257375.13
اسیدهای آمینه Amino acids	5	58460931.46 ^{**}	2443884.57 ^{**}	71895944.59 ^{**}	7251292.97 ^{**}	**3416008.56
سال در اسیدهای آمینه Years in amino acids	5	29058862.52 ^{**}	191297.99 ^{ns}	13225180.87 ^{**}	700127.68 ^{**}	49335.001 ^{ns}
رژیم آبیاری در اسیدهای آمینه Irrigation regime in amino acids	10	3423225.02 ^{ns}	80757.68 ^{ns}	6399361.77 ^{ns}	400294.29 ^{**}	91138.008 ^{ns}
سال در رژیم آبیاری در اسیدهای آمینه Year in irrigation regime in amino acids	10	8601795.54 [*]	135881.64 ^{ns}	4940101.02 ^{ns}	309073.74 ^{**}	138706.97 ^{ns}
خطای b Error b	60	3336538.71	109219.22	3262095.90	116505.25	71147.73
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		17.09	10.46	16.95	10.63	8.87

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

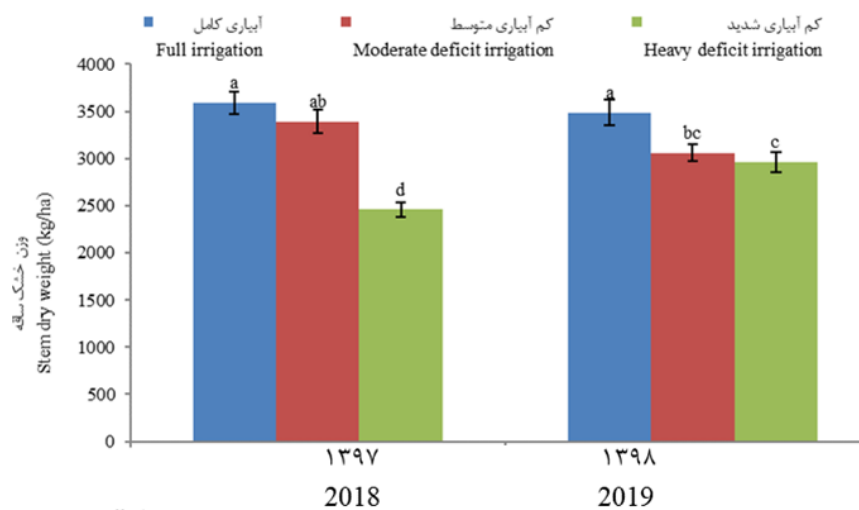
ns, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

آمینو والین بیشترین تأثیر مثبت را بر وزن تر ساقه داشت (شکل ۹). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال در آبیاری نشان داد در هر سال با کاهش آبیاری وزن خشک ساقه روندی کاهش داشت به طوری که در سطح کم آبیاری شدید کاهش معنی داری نسبت به آبیاری کامل داشتند (شکل ۱۰).

در هر سال و در هر سطح آبیاری با محلول پاشی اسیدهای آمینو وزن تر ساقه افزایش داشت این افزایش در شرایط آبیاری کامل در سال دوم معنی دار بود. در سال دوم آمینو سیستین در هر سه سطح آبیاری بیشترین تأثیر معنی دار را بر وزن تر ساقه داشت. در سال اول تحت کم آبیاری شدید اسید



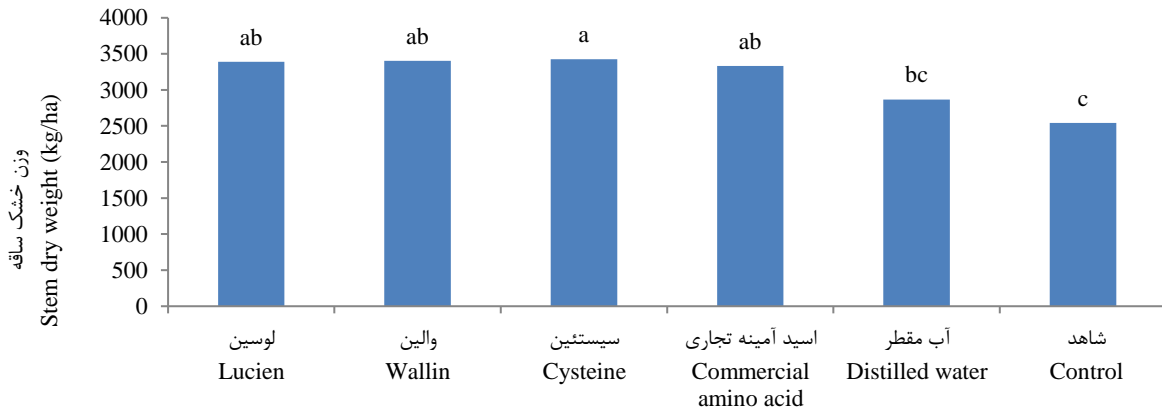
شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی اسیدهای آمینو بر وزن تر ساقه سویا رقم ویلیامز طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸
 Figure 9- Comparison of the average interaction effect of irrigation regime in foliar application of amino acids on the fresh weight of Williams cultivar soybean during two crop years 2018 and 2019



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در رژیم آبیاری بر وزن خشک ساقه سویا رقم ویلیامز
 Figure 10- Comparison of the average interaction effect of the year in the irrigation regime on the dry weight of soybean stalk of Williams variety

شاهد را داشت. هر چند که فاقد اختلاف معنی دار با سایر تیمارهای اسید آمینه بود (شکل ۱۱).

نتایج نشان داد محلول پاشی هر چهار نوع اسید آمینه اثر افزایشی معنی داری بر وزن خشک ساقه نسبت به شاهد داشتند و سیستئین ۳۴/۶ درصد افزایش وزن خشک ساقه نسبت به



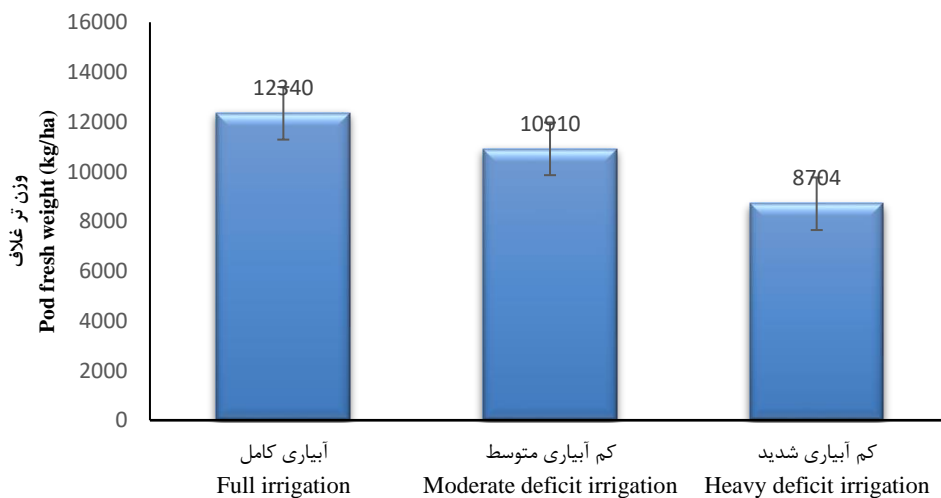
شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن خشک ساقه سویا رقم ویلیامز

Figure 11- Comparison of the average effect of foliar spraying of amino acids on the dry weight of soybean stem of Williams variety

غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیستئین به ترتیب باعث افزایش ۵۰ و ۵۵ درصدی وزن تر اندام هوایی کلم بروکلی نسبت به شاهد شد (Shekari and Javanmardi, 2017). طی بررسی‌هایی محلول پاشی چهار غلظت از پرولین بر لوبیا اثر افزایشی بر ارتفاع بوته و وزن خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد داشت (Amin et al., 2014). در پژوهشی ارتفاع بوته و وزن تر و خشک گیاه گشنیز در هر دو فصل زراعی تحت محلول پاشی اسیدهای آمینه افزایش معنی داری نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) داشت (Wafaa et al., 2021).

وزن تر و خشک غلاف

وزن تر نیز به طور معنی داری ($P < 0.01$) تحت اثرات اصلی رژیم آبیاری، محلول پاشی اسیدهای آمینه و اثرات متقابل دوگانه (به جز سال در رژیم آبیاری) و سه گانه قرار گرفت اما واکنش معنی داری نسبت به سال نشان نداد (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین تیمارها مشخص شد با کاهش مقدار آبیاری، مقدار وزن تر غلاف روندی کاهشی داشت طوری که در سطح کم آبیاری شدید دارای کاهش ۲۹/۴۶ درصدی و معنی داری نسبت به آبیاری کامل بود (شکل ۱۲). در پژوهشی کاربرد



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر وزن تر غلاف سویا رقم ویلیامز

Figure 12- Comparison of the average effect of irrigation regime on the fresh weight of soybean pods of Williams variety

یک درصد داشت اما نسبت به سال و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه تغییر معنی‌داری نشان نداد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد با کاهش آبیاری عملکرد دانه کاهش پیدا کرد بطوری‌که در سطح کم‌آبیاری شدید دارای کاهش ۱۶/۲۶ درصدی و معنی‌داری نسبت به آبیاری کامل بود. با محلول‌پاشی بوته‌های سویا عملکرد دانه افزایش معنی‌داری داشت و در بین اسیدهای آمینه کاربرد سیستئین و والین بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند اما تفاوت معنی‌داری با دو نوع اسید آمینه دیگر نشان ندادند (جدول ۳).

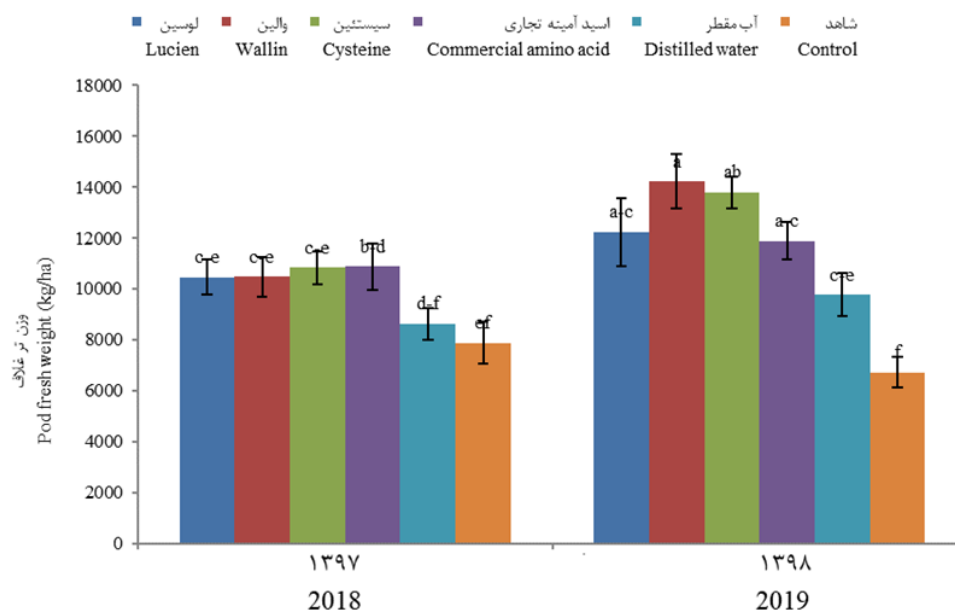
کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل محدودیت تولید مواد پرورده در زمان گل‌دهی و پیش از آن بوده باشد (Aslam *et al.*, 2014) به‌طوری‌که تنش در مرحله گل‌دهی باعث عدم تلقیح و تشکیل گل و غلاف می‌شود و تنش خشکی در مرحله شروع غلاف‌دهی با افزایش ریزش غلاف‌ها و کاهش تولید مواد فتوسنتزی باعث اختلال متابولیسم کربوهیدرات‌های برگ و با محدودیت در انتقال به دانه‌ها سبب کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه می‌گردد. با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر وزن هزار دانه به نظر می‌رسد عملکرد دانه بیشتر تحت تأثیر تعداد دانه بوده و تنش خشکی بیشترین تأثیر منفی را در مرحله قبل از پر شدن دانه بر عملکرد دانه داشته است.

براساس نتایج بیشترین وزن تر غلاف (۱۴۲۳۰ کیلوگرم در هکتار) به بوته‌های تحت محلول‌پاشی اسید آمینه والین در سال دوم اختصاص داشت که تفاوت معنی‌داری با اسیدهای آمینه دیگر در همین سال زراعی نداشت. نتایج نشان داد در هر دو سال با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه وزن تر غلاف نسبت به شاهد افزایش داشت و در سال دوم معنی‌دار بود (شکل ۱۳). در یک بررسی بر لوبیا معمولی مشخص شد که محلول‌پاشی بوته‌ها توسط اسیدهای آمینه با غلظت ۴ لیتر در هکتار، اثر افزایشی بر تعداد غلاف در بوته داشت (Zewail, 2014).

نتایج نشان داد در هر سال و در هر سطح آبیاری با محلول‌پاشی بوته‌های سویا توسط اسیدهای آمینه وزن خشک غلاف افزایش یافت. در هر سال و در هر تیمار از محلول‌پاشی با کاهش آبیاری وزن خشک غلاف روندی کاهش‌ی نشان داد (شکل ۱۴). در پژوهشی دیگر محققین نشان دادند که ریزش گل‌ها و غلاف‌های تحت تأثیر تنش خشکی باعث کاهش ۲۷/۱ درصدی تعداد دانه در غلاف شد (Wijewardana *et al.*, 2018).

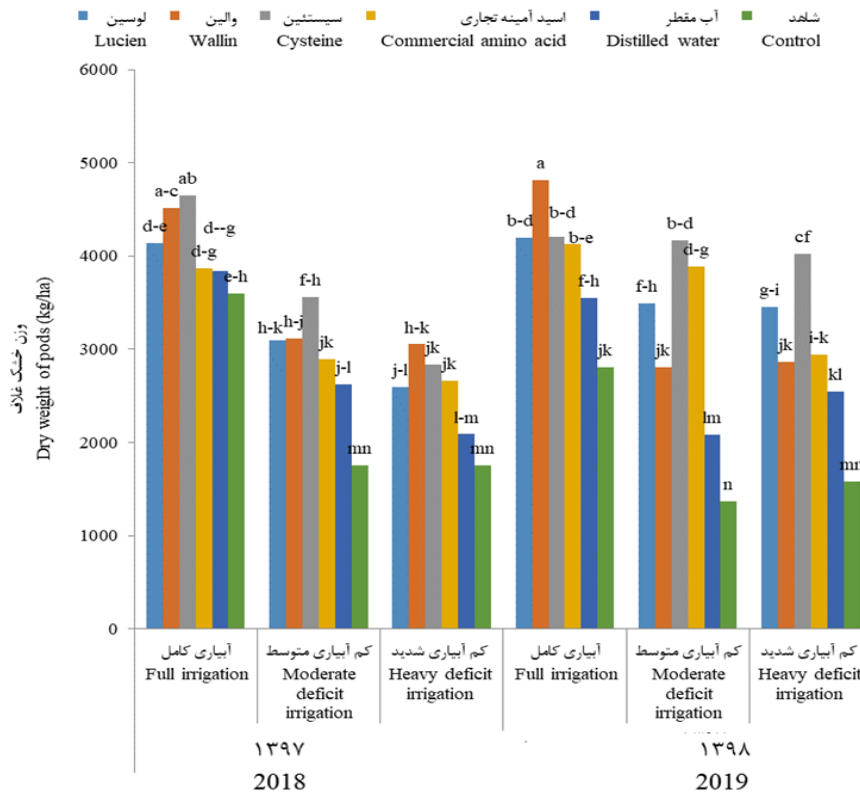
عملکرد دانه

عملکرد دانه نسبت به اثرات اصلی رژیم آبیاری و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه تغییر معنی‌داری در سطح احتمال



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر وزن تر غلاف سویا رقم ویلیامز

Figure 13- Comparison of the average interaction effect of the year in amino acid solution spraying on the fresh weight of soybean pods of Williams variety



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری در محلول پاشی اسیدهای آمینه بر وزن خشک غلاف سویا رقم ویلیامز طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Figure 14- Comparison of the average interaction effect of irrigation regime in foliar spraying of amino acids on the dry weight of soybean pods of williams cultivar during two crop years 2018 and 2019

به آبیاری کامل داشتند. اسیدهای آمینه والین و سیستئین بیشترین تأثیر مثبت معنی دار را بر عملکرد دانه داشتند. با توجه به نتایج پژوهش به منظور جلوگیری از کاهش عملکرد بهتر است از کم آبیاری شدید در حد امکان استفاده نشود و همچنین در صورت لزوم از محلول پاشی اسید آمینه والین و سیستئین به منظور تأثیر مثبت روی عملکرد گیاه سویا، استفاده شود.

نتیجه گیری کلی

محلول پاشی اسیدهای آمینه اثر افزایشی مثبتی بر صفات مورفولوژی داشت. اثرات متقابل سه گانه سال در رژیم آبیاری در اسیدهای آمینه فقط بر صفات وزن تر ساقه، وزن خشک غلاف، تأثیر معنی داری داشت. با کاهش آبیاری تا سطح کم آبیاری شدید عملکرد دانه کاهش ۱۶/۲۶ درصدی و معنی داری نسبت

References

- Abd El-Aal, F.S., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A. and Mahmoud, A.R., 2010. Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences (JABS)*, 6(5), pp.583-588.
- Abd Elbar, O.H., Farag, R.E. and Shehata, S.A., 2019. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), pp.129-137. doi: 10.1016/j.aoas.2019.10.001
- Abo-Alhassan, A.M., Hassanein, A.E.H.M., Abdel-Aziz, M.A.A., Tahoun, A. and Mofreh, A., 2022. Effect of phosphorus and potassium fertilization on drought tolerance of broad bean (*Vicia faba* L.). *Scientific Journal*

- of Agricultural Sciences*, 4(1), pp.114-124. doi: **10.21608/sjas.2022.132843.1215**
- Ahmed, I.M., Cao, F., Han, Y., Nadira, U.A., Zhang, G. and Wu, F., 2013. Differential changes in grain ultrastructure, amylase, protein and amino acid profiles between Tibetan wild and cultivated barleys under drought and salinity alone and combined stress. *Food chemistry*, 141(3), pp.2743-2750. doi: **10.1016/j.foodchem.2013.05.101**
- Amin, A.A., Abouziena, H.F., Abdelhamid, M.T., Rashad, E.S.M. and Gharib, A.F., 2014. Improving growth and productivity of faba bean plants by foliar application of thiourea and aspartic acid. *International Journal of Plant and Soil Science*, 3(6), pp.724-736. doi: **10.9734/ijpss/2014/8227**
- Arasteh, F., Moghaddam, M. and Ghasemi Pirbalouti, A., 2020. The effect of putrescine foliar application on the induction of drought resistance in Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.). *Cell and Tissue Journal*, 11(3): pp.204-220. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2022.329821.654849**
- Aslam, W., Arfan, M., Shahid, S.A., Anwar, F., Mahmood, Z. and Rashid, U., 2014. Effects of exogenously applied Zn on the growth, yield, chlorophyll. *International Journal of Biological Sciences*, 5, pp.11-15. doi: **10.1007/s12298-021-01084-1**
- Chen, Y.E., Zhang, C.M., Su, Y.Q., Ma, J., Zhang, Z.W., Yuan, M., Zhang, H.Y. and Yuan, S., 2017. Responses of photosystem II and antioxidative systems to high light and high temperature co-stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 135, pp.45-55. doi: **10.1016/j.envexpbot.2016.12.001**
- Costa, M.J., Monteiro, D.A., Oliveira-Neto, A.L., Rantin, F.T. and Kalinin, A.L., 2008. Oxidative stress biomarkers and heart function in bullfrog tadpoles exposed to Roundup Original®. *Ecotoxicology*, 17, pp.153-163. doi: **org/10.1007/s10646-007-0178-5**
- Cruz de Carvalho, M.H., 2008. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. *Plant signaling and behavior*, 3(3), pp.156-165. doi: **10.4161/psb.3.3.5536**
- Daneshian, J., Hadi, H. and Jonobi, P., 2009. Study of quantitative and quality characteristics of soybean genotypes in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(4), pp.393-409. [In Persian]. doi: **10.4161/psb.3.3.5536**
- Desclaux, D., Huynh, T.T. and Roumet, P., 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*, 40(3), pp.716-722. doi: **10.1186/s12870-020-02519-9**
- El-Awadi, M.E., Ibrahim, S.K., Sadak, M.S., Abd Elhamid, E.M. and Gamal El-Din, K.M., 2016. Impact of cysteine or proline on growth, some biochemical attributes and yield of faba bean. *International Journal of PharmTech Research*, 9, pp.100-106.
- Fatemi, A., Moaveni, P., Daneshian, J., Mozaffari, H. and Ghaffari, M., 2021. Effect of foliar application of magnesium nanoparticles on morphophysiological characteristics of sunflower cultivars under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 23(3), pp.521-533. [In Persian]. doi: **10.22059/jci.2021.307513.2430**
- Franklin, P., Gardner, R., Pearce, B. and Mitchell, R.L., 2010. Physiology of Crop Plants, *Scientific publishers*, 336 PP.
- Jeber, B.A. and Khaeim, H.M., 2019. Effect of foliar application of amino acids, organic acids, and naphthalene

- acetic acid on growth and yield traits of wheat. *Plant Archives*, 19(2), pp.824-826.
- Kandil, A.A., Sharief, A.E.M., Seadh, S.E. and Altai, D.S.K., 2016. Role of humic acid and amino acids in limiting loss of nitrogen fertilizer and increasing productivity of some wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3(4), pp.123-136. doi: **10.22161/ijeab/2.2.22**
- Movahedi, R., Khourgami, A. and Sayyahfar, A., 2018. Evaluation the effect of drought stress and foliar application of micronutrients on yield of two soybean cultivars (*Glycin Max* L.) in Khorramabad region. *Journal of Plant Ecophysiology*, 10(33), pp.43-54. [In Persian]. doi: **10.1080/01904167.2019.1655034**
- Muneer, S., Xia, W.Y., Ming, Y.J., Abrar Faiz, M., Hao, J., Michael, I.T., Yi, Z., Chen, R. and Xiang, H.J., 2018. Regulated deficit irrigation impact at various growth stages and productivity of soybean. *Journal of Natural Sciences*, 8(12), pp.18-28.
- Nasibi, F., Kalantari, K.M., Zanganeh, R., Mohammadinejad, G. and Oloumi, H., 2016. Seed priming with cysteine modulates the growth and metabolic activity of wheat plants under salinity and osmotic stresses at early stages of growth. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21(3), pp.279-286. doi: **10.1007/s40502-016-0233-4**
- Noreen, S., Fatima, K., Athar, H.U.R., Ahmad, S. and Hussain, K., 2017. Enhancement of physio-biochemical parameters of wheat through exogenous application of salicylic acid under drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27(1), pp.153-163. doi: **10.3390/stresses3010027**
- Omer, E.A., Said-Al Ahl, H.A.H., El Gendy, A.G., Shaban, K.A. and Hussein, M.S., 2013. Effect of amino acids application on production, volatile oil and chemical composition of chamomile cultivated in saline soil at Sinai. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(4), pp.3006-3021. doi: **10.3390/horticulturae9020252**
- Pal, S., Patra, A.S., Ghorai, S., Sarkar, A.K., Mahato, V., Sarkar, S. and Singh, R.P., 2015. Efficient and rapid adsorption characteristics of templating modified guar gum and silica nanocomposite toward removal of toxic reactive blue and Congo red dyes. *Bioresource Technology*, 191, pp.291-299. doi: **10.1016/j.biortech.2015.04.099**
- Rasti Sani, M., Ganjeali, A., Lahouti, M. and Mousavi Kouhi, S.M., 2018. Morphological and physiological responses of two common bean cultivars to drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 6(22), pp.37-46. [In Persian]. doi: **10.3390/agronomy13041022**
- Sadak, M.S. and Bakry, B.A., 2020. Alleviation of drought stress by melatonin foliar treatment on two flax varieties under sandy soil. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(5), pp.907-919. doi: **10.1007/s12298-020-00789-z**
- Sadeghi, L., Rafiee, M. and Daneshian, J., 2021. Effect of drought stress and aerosols on yield and some physiological traits of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 10(41), pp.263-278. [In Persian]. doi: **20.1001.1.23222727.1400.10.41.16.6**
- Shahid, A., Shazia, E., Faisal, N., Naeem, K., Asif, M., Sayed, H.A.S. and Aish, M., 2016. In vitro conservation of exotic potato genotypes through different incubated temperatures, aerophilic and micro-aerophilic conditions. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 8(7), pp.147-152. doi:

10.5897/ijbc2016.0968

Shekari, G. and Javanmardi, J., 2017. Effects of foliar application pure amino acid and amino acid containing fertilizer on broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) transplants. *Advances in Crop Science and Technology*, 5(3), pp.1-4. **doi: 10.4172/2329-8863.1000280**

Sheppard, K., Yuan, J., Hohn, M.J., Jester, B., Devine, K.M. and Söll, D., 2008. From one amino acid to another: tRNA-dependent amino acid biosynthesis. *Nucleic Acids Research*, 36(6), pp.1813-1825. **doi: org/10.1093/nar/gkn015**

Von Bloh, W., Rost, S., Gerten, D. and Lucht, W., 2010. Efficient parallelization of a dynamic global vegetation model with river routing. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), pp.685-690. **doi: 10.1016/j.envsoft.2009.11.012**

Wafaa, H.A., Rania, M.R. and El-Shafay, R.M.M., 2021. Effect of spraying with extracts of plants and amino acids on growth and productivity on *Coriandrum sativum* plants under Shalateen condition. *Plant Archives*, 21(1), pp.300-307. **doi: 10.51470/plant archives. 2021. v21.S1.048**

Wahba, H.E., Motawe, H.M. and Ibrahim, A.Y., 2015. Growth and chemical composition of *Urtica pilulifera* L. plant as influenced by foliar application of some amino acids. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(2), pp.499-509.

Wijewardana, C., Reddy, K.R., Alsajri, F.A., Irby, J.T., Krutz, J. and Golden, B., 2018. Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. *Irrigation Science*, 36, pp.241-255. **doi: 10.1007/s00271-018-0580-1**

Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M.M., Javanmardi, S. and Sharafzadeh, S., 2012. Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean genotype. *African Journal of Agriculture Research*, 7, pp.5661-5670.

Zewail, R.M.Y., 2014. Effect of seaweed extract and amino acids on growth and productivity and some biocostituents of common bean (*Phaseolus vulgaris* L) plants. *Journal of Plant Production*, 5(8), pp.1441-1453. **doi: 10.21608/jpp.2014.64669**

Investigating some morphological traits and yield of soybean under deficit irrigation and foliar application of amino acids

Zohre Behroshan¹, Hossein Zahedi^{2*}, Akbar Alipour², Younes Sharghi², Azita Zand²

¹ Ph.D Student, Department of Agriculture, Eslamshahr Branch, Islamic Azad University, Eslamshahr, Iran

² Department of Agriculture and Integrated Cropping Research Center, Eslamshahr Branch, Islamic Azad University, Eslamshahr, Iran

*Corresponding Author: hzahedi2006@gmail.com

Received: 18 January 2023

Accepted: 20 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.382054.1315

Abstract

Introduction: The growth and development of crops are permanently affected by various environmental factors, and environmental stress is one of the most important factors that reduce the yield of crops in the world. Drought is one of the most important abiotic stresses in plants. Drought stress also aggravates the effect of other stresses or causes them to appear. Considering that Iran is one of the dry and semi-arid regions, water management in the agricultural sector is of particular importance. In this regard, the aim of this research was to investigate the effect of deficit irrigation and foliar application of amino acid on some morphological traits and grain yield of soybean.

Materials and Methods: The experiment was carried out in the two years of 2018 and 2019 in the farm of the Faculty of Agriculture of Tarbiat Modares University. This research was designed and implemented as a split plot based on a randomized complete block design with three replications. The experimental factors include three irrigation levels (full irrigation, moderate deficit irrigation and severe deficit irrigation), which were placed in the main plots, and foliar spraying of amino acids with five levels (leucine, valine, cysteine, commercial amino acids, without foliar spraying) as sub-plots were considered. The number of experimental plots was 54. In each repetition, three main plots were created at a distance of one meter from each other and 6 sub-plots were created inside each main plot. The distance between the plants on the cultivated rows was 8 cm. Some morphological traits and grain yield of soybean were measured.

Results and Discussion: Based on the results of the interaction of the year in the irrigation regime, the height of the plant decreased in each year with the decrease in irrigation, but this decrease was not significant in the first year. The results showed that by spraying the plants with amino acids, the height of the soybean plant increased significantly compared to the control, and among the amino acids, commercial amino acid (91.77 cm) and cysteine (91.06 cm) had the greatest effect on the height of the plant, although there was no significant difference with other amino acids. The highest leaf area was related to the plants sprayed by valin in the second year. The results showed that in each year, with the application of amino acids, the leaf area of the soybean plant increased significantly compared to the control. Valine amino acid with the greatest effect on leaf dry weight increased it by 29.57% compared to the control treatment. The results showed that foliar spraying of all four types of amino acids had a significant increasing effect on the dry weight of the stem compared to the control, and cysteine had a 34.6% increase in the dry weight of the stem compared to the control, although there was no significant difference with other amino acid treatments. The results showed that in both years, with the application of amino acids, the wet weight of pods increased compared to the control, and it was significant in the second year. The three interaction effects of the year in the irrigation regime in amino acids had a significant effect only on the characteristics of stem wet weight and pod dry weight.

Conclusion: The results indicated that foliar spraying of amino acids had a positive increasing effect on morphological traits. Valine and cysteine amino acids had the most significant positive effect on grain yield of soybean.

Keywords: Cysteine, Leucine, Number of pod, Plant height, Valine

بررسی الگوی پراکنش گیاه دارویی تشنه‌داری (*Scophularia striata* Boiss) و تنوع گونه‌ای در ارتفاعات مختلف منطقه سیاه کوه دهلران

فاطمه بیدرنامنی^{۱*}، زینب محکمی^۱، بهمن فاضلی نسب^۱، محمدعلی کریمیان^۱

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: f.bidarnamani65@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.296666.1106

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۳

چکیده

گیاه تشنه‌داری با نام علمی *Scophularia striata* از تیره گل میمون، به عنوان ضدعفونی‌کننده در مناطق غربی کشور کاربردهای فراوانی دارد. الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری و تنوع گونه‌ای با هدف تعیین الگوی پراکنش مناسب برای نمونه‌برداری و تعیین عوامل محیطی مؤثر بر تنوع گونه‌ای گیاهان دارویی در سال ۱۳۹۹ در منطقه سیاه‌کوه شهرستان دهلران ارزیابی شد. نمونه‌برداری به‌طور تصادفی مطابق الگوی W در سه طبقه ارتفاعی (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) و دو جهت شرقی و غربی انجام گردید. توزیع فضایی با استفاده از شاخص‌های پراکنش، مدل‌های تیلور، ایوانو و شاخص‌های تنوع بررسی گردید. نتایج نشان داد بیشترین مقدار ضریب تیلور و ایوانو در ارتفاع ۶۰۵-۱۰۰۵ متر و جهت غربی منطقه سیاه‌کوه به ترتیب تیلور ۱/۰۵ و ۱/۰۶ و ایوانو ۱/۱۸ و ۱/۱۷ بود که با توجه به R^2 و P به‌دست‌آمده از ارتفاع ۱۰۰۵-۶۰۵ متر، مدل ایوانو بهتر از مدل تیلور داده‌ها را برازش کرد. مقادیر سایر شاخص‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ضرایب مربوط به ارتفاع ۶۰۵-۲۰۵ متر و جهت غربی بود. هم‌چنین بین مقادیر شاخص‌های تنوع در سه طبقه ارتفاعی و دو جهت شرقی و غربی تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.05$). بیشترین مقادیر شاخص شانون-وینر برای ارتفاع ۶۰۵-۲۰۵ متر و کمترین آن برای ارتفاع ۱۰۰۵-۱۴۰۵ متر به ترتیب ۱/۲۳ و ۰/۷۶ مشاهده شد. نتایج نشان داد که الگوی پراکنش گیاه دارویی تشنه‌داری در شاخص‌های مختلف جمعیتی بود و با افزایش ارتفاع از سطح دریا پراکنش تصادفی، تنوع گونه‌ای گیاهان کاهش و میزان یکنواختی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: ایوانو، پلات، ترانسکت، تیلور، شانون-وینر

مقدمه

پراکنش جمعیت به وجود افراد در جمعیت، ویژگی‌های زیست‌شناسی گونه‌ها، تجسم رابطه بین گونه‌ای و تأثیر شرایط محیطی بر جمعیت اشاره می‌کند (Levin, 1992). الگوی توزیع فضایی سازگار با محیط یکی از نتایج انتخاب طبیعی است (Feng et al., 2018). عوامل مؤثر در پراکنش، رشد و استقرار گونه‌های گیاهی در یک اکوسیستم طبیعی، شامل پستی و بلندی، اقلیم، نوع خاک و فاکتورهای مدیریتی می‌باشند که ارتباط خاصی بین خصوصیات محیطی و پوشش گیاهی در یک منطقه وجود دارد (Heydari Ghahfarokhi et al., 2019). در مطالعه‌ای عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر پراکنش گونه *Artemisia aucheri* Bioss در دامنه جنوب شرقی سبلان بررسی شد، نتایج نشان داد که گونه به طبقه ارتفاعی (۲۳۰۰-۲۱۰۰ متر) سازگاری بیشتری دارد (Molai Sham Asbi et al., 2017). بررسی تنوع گونه‌ای درختان و فلور در ارتفاعات

تشنه‌داری با نام علمی *Scophularia striata* Boiss، گیاهی خودرو، چند ساله و از خانواده‌ی گل میمون^۱ که در استان ایلام، لرستان، کرمانشاه و مناطقی از استان‌های خوزستان، همدان، بوشهر، هرمزگان و یزد رشد می‌کند (Bahmani et al., 2020). این گیاه به عنوان دارویی جهت تسکین درد (Alimohammadi et al., 2016)، درمان عفونت‌های زنان (Havasian et al., 2012)، کاهش افسردگی و اضطراب (Babri et al., 2012)، بهبود عفونت‌های باکتریایی و بیماری‌رسانی (Nazari et al., 2012)، درمان سرطان (Bigdeli et al., 2017) تأثیرگذار می‌باشد. الگوهای پراکنش ابزار مهمی در اکولوژی کاربردی گیاهان می‌باشد (Tilman and Kareiva, 1997). به‌طور کلی الگوی توزیع فضایی جمعیت سه نوع تصادفی، منظم و جمعیتی است.

¹ - Scophulariaceae

الگوی تنوع گونه‌ای گیاهان دارویی منطقه سیاه‌کوه دهلران انجام شد. با تعیین مهم‌ترین و اثرگذارترین عوامل اکولوژیکی در پراکنش و تنوع گونه‌ای گیاهان دارویی می‌توان برای حفظ و احیای مناطق رویشی گیاهان راهکارهای مدیریتی مناسب ارائه کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

در این مطالعه برای بررسی الگوی پراکنش گیاه دارویی تشنه داری و تنوع گونه‌ای گیاهان غالب منطقه سیاه‌کوه در فاصله حدود ۱۶ کیلومتری شمال شرقی شهر دهلران و در محدوده "۱۸°۴۷'۲۱" تا "۲۴°۴۷'۶۸" طول شرقی و "۴۱°۳۱'۷۰" تا "۴۳°۳۱'۱۶" عرض شمالی و با مساحتی حدود ۱۰ هکتار انتخاب شد (شکل ۱). سیاه‌کوه با ارتفاع ۱۴۰۵ متر، از شمال غربی به دینارکوه و از شرق به کوه خرگهی منتهی می‌شود.

آب و هوای منطقه بیابانی، اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن با شاخص خشکی ۱/۴ جزء مناطق خشک می‌باشد. متوسط ارتفاع سیاه‌کوه از سطح دریا ۳۵۰ تا ۱۴۰۵ متر، با شیب زیاد، دامنه نوسانات بارندگی سالانه حدود ۵۰ تا ۹۰ میلی‌متر است و متوسط دمای سالانه ۳۷ درجه می‌باشد (Alimoradi et al., 2019). به‌منظور تعیین الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری، سه ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵) در دو جهت شرقی و غربی منطقه سیاه‌کوه انتخاب شد. مشخصات طبقه‌های ارتفاعی به تفکیک ویژگی خاک و درصد پوشش محاسبه شد (جدول ۱).

در هر ارتفاع، نمونه‌برداری به روش تصادفی با استفاده از الگوی W در امتداد ۴ ترانسکت انجام شد. بدین‌منظور ۳۰ پلات یک متر مربعی (اندازه پلات با کمک روش سطح حداقل تعیین شد) انتخاب و تعداد گیاه تشنه‌داری در آن محاسبه شد. به منظور محاسبه شاخص‌ها و تعیین الگوی پراکنش گیاهان از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و از پنج شاخص تیلور (Taylor, 1961)، ایوانو (Iwao, 1968)، موریسیتا (Morisita, 1962)، نسبت واریانس به میانگین (Wei-dong et al., 2001) و \hat{k} (Chawla et al., 2008)، استفاده شد (جدول ۲).

مختلف و شیب‌های شرقی و غربی دره شیرین‌رود، استان مازندران نشان داد طبقه متوسط ارتفاع (۱۳۰۰-۹۰۰ متر) از سطح دریا بیشترین تنوع را داشته‌اند و شاخص‌های یکنواختی کامارگو و سیمپسون یکنواختی بیشتری را برای دامنه‌های رو به جهت شرقی نشان می‌دهد (Ejtehadi et al., 2015). مطالعات صورت گرفته در بررسی اثر عوامل محیطی بر روی پوشش گیاهی نشان‌دهنده تغییرات شدید در پراکنش گونه‌های با فرم رویشی بوته‌ای و درختچه‌ای مانند ارس (*Juniperus communis* L.)، لور (*Carnipus orientalis* Miller.)، کلاه میرحسن سفید (*Acantholimon pterostegium* Bunge.) با تغییر میزان ارتفاع، بارندگی و شیب می‌باشد (Behmanesh, 2005).

بررسی ارتباط بین گروه‌های اکولوژیک گیاهی با عوامل رویشگاهی نشان می‌دهد که بین پوشش گیاهی و جهت جغرافیایی ارتباط معنی‌داری وجود دارد ولی بین پوشش گیاهی و مشخصه‌های دیگر از قبیل شیب و ارتفاع از سطح دریا رابطه معنی‌داری وجود ندارد (Zahedi Amiri and Mohamadi, 2002). رابطه بین گروه‌های اکولوژیک گیاهی با شاخص‌های تنوع گونه‌ای گیاهی در ذخیره‌گاه سرخدار افراخته نشان داد که با افزایش ارتفاع، شیب و شرایط زیستی سخت‌تر، تنوع و غنا کاهش یافته است (Esmailzadeh et al., 2008). مطالعه شاخص‌های کوادراتی در تعیین الگوی پراکنش اسکنبیل هفت بندی (*Calligonum polygonoides*) در منطقه زهک سیستان و بلوچستان نشان داد که پراکنش این گیاه در شاخص‌های تیلور، ایوانو، موریسیتا، کا و نسبت واریانس به میانگین به صورت تصادفی بود (Bidarnamani et al., 2019). ارزیابی تنوع گونه‌ای و پراکنش گیاهی غالب در تالاب بین‌المللی هامون نشان داد که الگوی چمن شور ساحلی (*Aeluropus littoralis*) و گز سیستانی (*Tamarix meyeri*) به صورت تصادفی می‌باشد و مقادیر شانون-وینر در ایستگاه دوم و سوم با مقدار ۱/۰۹ و ۱/۴۳ بیشتر از ایستگاه اول و چهارم بود (Bidarnamani and Shabanipour, 2019).

پژوهش حاضر با هدف بررسی تعیین الگوهای پراکنش گیاه تشنه‌داری به‌منظور کمک به محققان در تصمیم‌گیری برای اندازه‌گیری، ارزیابی و حفاظت پوشش گیاهی و تبیین مهم‌ترین عوامل محیطی (ارتفاع از سطح دریا و جهت جغرافیایی) مؤثر بر



شکل ۱- سمت چپ گیاه تشنه‌داری و سمت راست منطقه نمونه‌برداری

Figure 1- Left picture *Scophularia striata* plant and right picture sampling region

جدول ۱- مشخصات ارتفاعات مختلف از سطح دریا (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵، ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر)، جهت شرقی و غربی منطقه سیاه کوه

Table 1- Specifications of different altitudes (205-605, 605-1005 and 1005-1405 m), west and east directs of Siahkouh region

ویژگی Characteristic	جهت شرقی East direction	جهت غربی West direction	ارتفاع سوم Third altitude	ارتفاع دوم Second altitude	ارتفاع اول First altitude
اسیدیته pH	8.7	9.7	8.2	8	7.6
هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	5.4	4.3	3.9	4.3	4.7
کربن به نیتروژن C/N	7.7	9	7.6	8.4	9.4
ماده آلی Organic matter (%)	1.6	1.9	1.4	1.5	1.9
درصد پوشش Coverage percentage	19	24	15	17	24

نسبت واریانس به میانگین (Wei-dong *et al.*, 2001) و \hat{k} (Chawla *et al.*, 2008)، استفاده شد (جدول ۲).

اندازه نمونه برای هر گونه با استفاده از رابطه ۱ تعیین می‌شود (David and Moore, 1954). در این رابطه، N اندازه نمونه، t مقدار t استیودنت با درجه آزادی n-1، s انحراف معیار نمونه، \bar{x} میانگین نمونه و k خطای تخمین می‌باشد که در این بررسی ۱۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

در هر ارتفاع، نمونه‌برداری به روش تصادفی با استفاده از الگوی W در امتداد ۴ ترانسکت انجام شد. بدین منظور ۳۰ پلات یک متر مربعی (اندازه پلات با کمک روش سطح حداقل تعیین شد) انتخاب و تعداد گیاه تشنه‌داری در آن محاسبه شد. به منظور محاسبه شاخص‌ها و تعیین الگوی پراکنش گیاهان از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و از پنج شاخص تیلور (Taylor, 1961)، ایوائو (Iwao, 1968)، مورسیستا (Morisita, 1962)،

توزیع شده‌اند. برای مطالعه تنوع گونه‌ای، در هر ارتفاع و جهت جغرافیایی سه پلات ویتاکر تعدیل شده به صورت تصادفی-سیستماتیک به فاصله ۵۰ متر استقرار یافت (جدول ۳).

$$N = \frac{t^2 \times S^2}{(\bar{x} \times K)^2} \quad (1)$$

پوشش گیاهی طبیعی سیاه‌کوه به دلیل شرایط سخت آب و هوایی و داشتن اقلیم خشک از غنای چندانی برخوردار نیست. کل گونه‌های شناسایی شده ۱۶ گونه بوده که در ۷ خانواده

جدول ۲- روابط برآورد کننده شاخص‌های پراکنش

Table 2- Estimator formula of distribution Index

الگوهای پراکنش Distribution pattern	مشخصات Specifications	دامنه Range			رابطه Relation
		یکنواخت Uniform	تصادفی Random	تجمعی Cumulative	
شاخص تیلور Taylor index	میانگین (m) واریانس (S^2)	$b < 1$	$b = 1$	$b > 1$	$\text{Log}(S^2) = \text{Log}(a) + b \text{Log}(m)$
شاخص ایوانو Iwao index	شاخص انبوهی متوسط (m^*) Average mass index	$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$	$m^* = a + \beta m$ $m^* = m + \left(\frac{S^2}{m} - 1\right)$
شاخص نسبت واریانس به میانگین Variance to Mean ratio index	شاخص نسبت واریانس به میانگین Variance to Mean index	$ID < 0$	$ID = 0$	$ID > 0$	$\frac{S^2}{m}$ $ID = m$
شاخص مورسیتا Morisita index	n تعداد کل افراد در تمام نمونه‌های برداشته شده Total number of individuals in all samples N تعداد کل نمونه‌ای برداشته شده Total samples n_i تعداد افراد در نمونه شماره i Number of people in sample number i	$I\delta < 1$	$I\delta = 1$	$I\delta > 1$	$\frac{\sum n_i(n_i - 1)}{n(n - 1)}$
شاخص تجمع (\hat{k}) Cumulative index	N تعداد نمونه Number of samples A_x مجموع فراوانی‌های مشاهده شده‌ای از واحدهای نمونه‌برداری که بیش از X فرد دارند The sum of the observed frequencies of sampling units that have more than X	-	$\hat{k} < 8$	$\hat{k} > 8$	$N \ln\left(1 + \frac{m}{\hat{k}}\right) - \sum \left(\frac{A_x}{\hat{k}}\right) = 0$

مقادیر شیب رگرسیونی ضریب تیلور (b)؛ مقادیر شیب رگرسیونی ضریب ایوانو (β)

The slope values of Taylor coefficient (b); The slope values of Iwao coefficient (β)

شاخص سیمپسون (Simpson, 1949)، شانون-وینر (Shanon and Weaner, 1949) برای محاسبه تنوع گونه‌ای استفاده شد (جدول ۴).

با توجه به اینکه برای اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای زیر پلات‌های یک متر مربعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در مجموع برای هر ایستگاه ۲۳ زیر پلات انتخاب شد. تعداد گونه‌های گیاهی در هر زیر پلات شمارش و یادداشت شد دو

جدول ۳- گونه‌های دارویی مشاهده در منطقه سیاه کوه به تفکیک ارتفاع از سطح دریا (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) و جهت جغرافیایی (شرقی و غربی)

Table 3- Observed medicinal species divided by altitude (205-605, 605-1005 and 1005-1405) and geographical direction (east and west)

ردیف Row	نام فارسی Persian name	نام علمی Scientific name	ارتفاع اول First altitude	ارتفاع دوم Second altitude	ارتفاع سوم Third altitude	جهت شرقی East direction	جهت غربی West direction
1	چتر گندمی	<i>Bupleurum exaltatum</i>	+	+	-	-	+
2	جعفری کوهی	<i>Pimpinella tragium</i>	-	-	+	+	-
3	جاشیر	<i>prangos uloptera</i>	+	+	-	-	+
4	گل گاوزبان	<i>Anchusa italic</i>	+	-	+	-	+
5	علف چسبک	<i>Asperugo procumbens</i>	+	-	-	+	-
6	گل گاوزبان ایتالیایی	<i>Echium italicum</i>	+	-	-	-	+
7	تشنه داری	<i>Scophilaria striata</i>	+	+	+	+	+
8	آفتاب پرست اروپایی	<i>Heliotropium noeanoum</i>	+	+	+	+	+
9	علف مار	<i>Cleome quinqueneriva</i>	+	+	+	-	+
10	کاهو منقاری کپه کوچک	<i>Cephalorrhynchus microcephalus</i>	-	+	-	-	+
11	هزار خار	<i>Cousinia cylindracea</i>	+	-	-	-	-
12	فرفیون	<i>Euphorbia denticulate</i>	+	-	-	+	+
13	دم روباهی نی مانند	<i>Alopecurus arundinaccus</i>	+	-	-	+	+
14	هفت بند	<i>polygonum aviculare</i>	+	+	-	+	+
15	خار خسک	<i>tribulus terrestris</i>	-	-	+	-	-
16	شیرپنیر	<i>Galium verum</i>	-	+	+	-	+

+: حضور گونه در محل، -: عدم حضور گونه در محل

+: presence of species in the place, -: absence of species in the place

جدول ۴- روابط برآورد کننده تنوع گونه‌ای

Table 4- Estimator formula of species diversity

عنوان شاخص Title of Index	مشخصات Specifications	رابطه Relation
شاخص سیمپسون Simpson index	n_i فراوانی گونه i ام Abundance of species i N فراوانی همه گونه‌ها Abundance of all species	$D_1 = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$
شاخص شانون-وینر Shannon-Weaver index	S تعداد گونه Number of species	$H' = \sum_{i=1}^s \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right]$

نتایج

الگوی پراکنش گونه‌ها

روش تیلور: آماره‌های به‌دست‌آمده از برقراری ارتباط رگرسیونی بین لگاریتم واریانس و میانگین جمعیت (قانون تیلور) در کوادرات‌های مختلف برای بررسی پراکنش گیاه دارویی تشنه‌داری در جدول ۵ ارائه شده‌اند. در پراکنش گیاه تشنه‌داری، مقدار F در سطح احتمال پنج درصد جز در ارتفاع بالا (۱۰۵-۱۴۰۵ متر) همواره معنی‌دار بود و ضریب تبیین معادله‌های رگرسیونی در حد بالایی قرار داشت. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر ضریب تیلور (b) برای ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵،

۱۰۰۵-۶۰۵ متر) به ترتیب ۱/۰۲، ۱/۰۶ و جهات غربی و شرقی سیاه‌کوه به ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۰۱ بود. بررسی ضریب تبیین (R^2) شاخص تیلور در ارتفاعات مختلف منطقه سیاه‌کوه نشان داد که بیشترین ضریب تبیین برای ارتفاع ۱۰۰۵-۶۰۵ با مقدار ۰/۹۳۱ است که نشان می‌دهد در این ارتفاع بیشترین برازش داده‌ها با شاخص را داریم. ضریب تبیین جهت غربی با مقدار ۰/۹۱۳ در مقایسه با جهت شرقی با دقت بهتری ضریب شاخص تیلور را نشان داد. بر اساس ضریب تیلور (b) و مقادیر F به دست آمده پراکنش گیاه تشنه‌داری در ارتفاعات (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ متر) و جهات شرقی و غربی به صورت تجمعی است.

جدول ۵- آماره‌های رگرسیونی روش تیلور برای محاسبه الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری

Table 5- Taylor regression statistics to calculate distribution pattern of *S. striata*

ارتفاع و جهت Altitude and direction (m)	T	F	R^2	$b \pm SE$
205-605	8.33*	56.13*	0.899	1.02±0.05
605-1005	14.31*	43.91*	0.931	1.06±0.09
1005-1405	0.78 ^{ns}	6.12 ^{ns}	0.845	0.99±0.01
غربی Western	10.41*	31.01*	0.913	1.05±0.07
شرقی Eastern	5.32*	38.41*	0.881	1.01±0.05

*: معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد. ^{ns} عدم معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد. b ضریب تیلور. R^2 : ضریب تبیین. F : آزمون تجزیه واریانس رگرسیون. t : آزمون معنی‌داری اختلاف ضریب تیلور با عدد ۱.

*: Significance of coefficients difference $P \leq 0.05$; ns: Non-significance of coefficients difference $P \leq 0.05$; b: Taylor coefficient; R^2 : Determination coefficient; F : The test of regression variance analysis; t: Significance test of Taylor coefficient difference with 1.

جز ارتفاع ۱۰۰۵-۱۴۰۵ را نشان داد.

روش موربسیتا: شاخص موربسیتا در پراکنش گیاه تشنه‌داری منطقه سیاه‌کوه در ارتفاع ۶۰۵-۲۰۵ متر و جهات غربی و شرقی تفاوت معنی‌داری با عدد ۱ نشان داده است. بیشترین مقادیر روش موربسیتا برای ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵ متر) و جهات شرقی و غربی به ترتیب ۱/۱۶، ۱/۰۵ و ۱/۱۱ می‌باشد. روش موربسیتا برای ارتفاعات (۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقادیر روش موربسیتا برای ارتفاعات مذکور به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۸۳ است بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص ارتفاعات (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ متر) و جهت شرقی الگوی پراکنش را تجمعی نشان می‌دهد و سایر الگوها پراکنش را تصادفی نشان داد (جدول ۷).

روش ایوانو: نتایج همگنی برقراری ارتباط رگرسیونی بین شاخص انبوهی متوسط و میانگین جمعیت (قانون ایوانو) در کوادرات‌های مختلف برای بررسی پراکنش تشنه‌داری در جدول ۶ نشان داد که مقدار آماره β در ارتفاع ۶۰۵-۲۰۵ با سایر ارتفاع‌ها و جهات قابل بررسی، اختلاف معنی‌داری داشت. بیشترین ضرایب تبیین شاخص ایوانو برای ارتفاع ۱۰۰۵-۶۰۵ و کمترین ضریب تبیین برای ارتفاع ۱۰۰۵-۱۴۰۵ است. همچنین مقدار این آماره در ارتفاع ۱۰۰۵-۱۴۰۵ متر از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشت. بیشترین مقادیر ضریب ایوانو β برای ارتفاع ۶۰۵-۱۰۰۵، ۲۰۵-۶۰۵، متر به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۱۸ و جهات غربی و شرقی سیاه‌کوه به ترتیب ۱/۱۷ و ۱/۱۳ بود. همچنین کمترین مقدار ضریب تیلور (b) برای ارتفاع ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر، ۱/۰۱ بود. بررسی مقادیر شیب رگرسیونی این شاخص، تجمعی بودن همه ارتفاعات و جهات مورد بررسی به

جدول ۶- آماره‌های رگرسیونی روش ایوانو برای محاسبه الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری

Table 6- Iwao regression statistics to calculate distribution pattern of *S. striata*

ارتفاع و جهت Altitude and direction (m)	T	F	R ²	β±SE
205-605	20.14*	130.44*	0.981	1.23±0.07
605-1005	16.74*	103.90*	0.940	1.18±0.06
1005-1405	2.51 ^{ns}	3.45 ^{ns}	0.780	1.001±0.04
غربی Western	14.03*	91.32*	0.931	1.17±0.04
شرقی Eastern	9.10*	67.38*	0.910	1.13±0.05

*: معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد. ^{ns}: عدم معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد. β ضریب ایوانو. R²: ضریب تبیین. F: آزمون تجزیه واریانس رگرسیون. t: آزمون معنی‌داری اختلاف ضریب ایوانو با عدد ۱.

*: Significance of coefficients difference P≤0.05; ns: Non-significance of coefficients difference P≤0.05; β: Iwao coefficient; R²: Determination coefficient; F: The test of regression variance analysis; t: Significance test of Iwao coefficient difference with 1.

جدول ۷- مقادیر محاسبه شده برای شاخص‌های پراکنش: موریسیتا، نسبت واریانس به میانگین و k برای ارتفاعات مختلف سیاه‌کوه دهلران

Table 7- Calculated values for distribution indices: Morisita, ratio of variance to mean and k for different altitudes of Siahkouh Dehloran

ارتفاع و جهت Altitude and direction (m)	شاخص‌های پراکنش Distribution index									
	موریسیتا Morisita			نسبت واریانس به میانگین Variance to mean ratio			K			
	ID±SE	P	F	Ĥk ±SE'	P	F	ID±SE	P	F	Id ±SE'
205-605	0.91±0.04	0.00*	8.43	14.73±0.02	0.00*	31.08	0.91±0.04	0.00*	8.43	1.16±0.0
605-1005	0.55±0.1	0.08*	2.07	3.91±0.07	0.00*	14.07	0.55±0.1	0.08*	2.07	0.96±0.0
1005-1405	0.08±0.11	0.13 ^{ns}	0.71	0.58±0.14	0.09 ^{ns}	1.55	0.08±0.11	0.13 ^{ns}	0.71	0.83±0.0
غربی Western	0.41±0.06	0.01 ^{ns}	6.51	9.08±0.09	0.00*	9.32	0.41±0.06	0.01 ^{ns}	6.51	1.11±0.0
شرقی Eastern	0.38±0.008	0.04*	4.32	6.13±0.06	0.00*	4.02	0.38±0.008	0.04*	4.32	1.05±0.1

*: معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد. ^{ns}: عدم معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد. ID: ضریب موریسیتا. ID: ضریب نسبت واریانس به میانگین. K: کای عمومی.

*: Significance of coefficients difference P≤0.05; ns: Non-significance of coefficients difference P≤0.05; Id: Morisita coefficient; ID: Ratio coefficient of Variance to Mean; K: General k.

سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری مشاهده نشد. هم‌چنین کمترین مقدار روش نسبت واریانس به میانگین از ارتفاع ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر ۰/۰۸ بدست آمد (جدول ۷). روش k: مقادیر شاخص تجمعی برای ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵ متر) و جهت غربی با سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با عدد ۸ نشان داده است که نشان می‌دهد سایر مناطق از نظر نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. بیشترین مقدار روش k برای ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵ متر) و جهت غربی سیاه‌کوه

روش نسبت واریانس به میانگین: شاخص پراکنش با نسبت واریانس به میانگین برای ارتفاعات (۶۰۵-۲۰۵، ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) و جهت غربی و شرقی سیاه‌کوه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با عدد صفر نشان داده‌اند. بیشترین مقادیر روش نسبت واریانس به میانگین برای ارتفاعات (۶۰۵-۲۰۵ و ۱۰۰۵-۶۰۵ متر) به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۵۵ و برای جهت شرقی و غربی به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۴۱ می‌باشد. از بررسی روش نسبت واریانس به میانگین برای ارتفاع ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر در

مقادیر شاخص شانون- وینر در ارتفاع (۶۰۵-۱۰۰۵، ۲۰۵-۶۰۵) و (۱۰۰۵-۱۴۰۵ متر) به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۱۴ و ۰/۷۶ و در جهات شرقی و غربی سیاه کوه به ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۰۹ بود. همچنین مقادیر شاخص سیمپسون در ارتفاع (۶۰۵-۱۰۰۵، ۲۰۵-۶۰۵) و (۱۰۰۵-۱۴۰۵ متر) به ترتیب ۰/۶۴/۵۵ و ۰/۷۰ و در جهات شرقی و غربی سیاه کوه به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵۹ است. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر دو شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر در ارتفاع ۶۰۵-۲۰۵ و جهت غربی سیاه کوه و کمترین مقادیر این شاخص در ارتفاع ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر مشاهده شد (جدول ۸).

به ترتیب ۱۴/۷۳ و ۹/۰۸ می‌باشد. همچنین از بررسی روش K برای ارتفاعات (۶۰۵-۱۰۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) و جهت شرقی سیاه کوه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و کمترین مقادیر روش k برای ارتفاعات (۶۰۵-۱۰۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵) و جهت شرقی به ترتیب ۳/۹۱، ۰/۵۸ و ۶/۱۳ بود (جدول ۷).

تنوع گونه‌ای: نتایج بررسی شاخص‌های تنوع گونه‌ای در سه ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) و جهات شرقی و غربی سیاه کوه نشان داد که شاخص‌های شانون- وینر و سیمپسون در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری داشتند.

جدول ۸- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های تنوع گونه‌ای برای سه ارتفاع (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵) و جهات شرقی و غربی سیاه کوه

Table 8- Calculated amount of species diversity indices for 3 altitudes (205-605, 605-1005 and 1005-1405 m), west and east directions of Siahkouh

ارتفاع و جهت Altitude and direction (m)	شاخص‌های تنوع گونه‌ای Species diversity indices					
	شاخص سیمپسون Simpson index			شاخص شانون- وینر Shannon-Weiner index		
	P	F	$D_{1\pm SE}'$	P	F	$H_{\pm SE}'$
205-605	0.00*	75.30	0.55±0.19	0.00*	104.51	1.23±0.03
605-1005	0.00*	44.09	0.64±0.81	0.00*	161.04	1.14±0.09
1005-1405	0.00*	12.98	0.70±0.23	0.00*	89.71	0.76±0.17
غربی Western	0.00*	50.61	0.59±0.54	0.00*	143.44	1.21±0.06
شرقی Eastern	0.00*	40.03	0.63±0.02	0.00*	107.06	1.09±0.08

*معنی‌دار بودن اختلاف ضرایب با صفر در سطح احتمال پنج درصد

Significance of coefficients difference with zero at $P \leq 0.05$

می‌توان نتیجه گرفت که شاخص ایولوژی بهتر می‌تواند نمونه‌برداری و پراکنش گیاه تشنه‌داری را برازش کند. همچنین بررسی ضریب تبیین این دو شاخص هم میزان همگنی شیب خط رگرسیونی در شاخص ایوانو بالاتر از ضریب تیلور داشت (Bidarnamani and Shabanipour, 2019). نتایج این تحقیق با نتایج پژوهشی دیگر که شاخص تیلور را برای پراکنش اسکنبیل هفت‌بندی در منطقه سیستان مناسب‌تر می‌دانستند مطابقت نداشت (Bidarnamani et al., 2019)؛ دلیل این اختلاف را باید در تفاوت تعداد افراد در هر پلات دانست که ممکن است برخی پلات‌ها بدون نمونه و برخی با تعداد نمونه بیشتر باشند، هرچه میزان میانگین‌های افراد شمارش در پلات کمتر باشد شاخص‌های ایوانو بهتر از تیلور می‌تواند پراکنش را

بحث

بررسی الگوهای پراکنش برای گیاهان مختلف متأثر از اندازه نمونه و پلات است، به دلیل اینکه شاخص‌های کوادراتی وابسته به اندازه پلات هستند و با تغییر اندازه مختلف پلات، الگوهای پراکنش متفاوت خواهند بود. با توجه به معنی‌داری ضرایب تیلور (b) و ایوانو (β) برای ارتفاعات ۶۰۵-۲۰۵ و ۱۰۰۵-۶۰۵ و جهت غربی و شرقی در منطقه سیاه کوه می‌توان نتیجه گرفت که در زمان استفاده از پلات‌های یک متر مربعی، شمارش گیاه با تفکیک در نقاط مورد اشاره از نظر آماری امکان‌پذیر است و با توجه به این موضوع، استفاده از مدل نمونه‌برداری کاربردی سخت‌تر به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به نتایج ضرایب این دو شاخص و بالابودن ضرایب شاخص ایوانو (β) نسبت به تیلور

ارزیابی کند.

(2014) بر پراکنش گیاهان تأثیر گذار می‌باشد. هم‌چنین جهت جغرافیایی بر مقدار آب در دسترس گیاه، دما خاک و میزان نور دریافتی توسط گیاه تأثیر می‌گذارد. از طرف دیگر تفاوت در شدت تابش نور در جهت‌های مختلف یک دامنه باعث به‌وجود آمدن تغییرات میکروکلیمایی در آن دامنه می‌شود (Morisita, 1962). در این پژوهش نتایج نشان داد که گیاه تشنه‌داری در جهت غربی دارای پراکنش بیشتر نسبت به جهت شرقی می‌باشد. شاخص‌های پراکنش در هر دو جهت الگوی پراکنش را جمعی نشان دادند. نتایج این پژوهش با نتایج محققین دیگر که تأثیر جهت جغرافیایی را بر پراکنش گیاهان در منطقه مورد مطالعه مؤثر می‌دانستند مطابقت داشت (Mozafarian, 2006).

تنوع گونه‌ای با محاسبه شاخص‌های تنوع گونه‌ای و با در نظر گرفتن نسبت تعداد گونه‌ها و درجه اهمیت آن‌ها و میزان تولید، تعیین می‌شود. با توجه به در نظر گرفتن دو بعد متفاوت (توجه به گونه‌های غلبه و گونه‌های نادر) در اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای، دو شاخص شانون-وینر و سیمپسون انتخاب شدند تا بتوان اطلاع دقیقی از تنوع گونه‌ای به دست آورد. میزان عددی شاخص شانون-وینر بین ۴/۵-۰ متغیر می‌باشد. اگر فقط یک گونه در واحد نمونه حضور داشته باشد یا جامعه دارای استرس یا تخریب باشد، این شاخص برابر صفر خواهد بود. زمانی که جامعه دور از استرس و آلودگی باشد، میزان این شاخص بیش‌ترین است. هم‌چنین میزان شاخص سیمپسون بین صفر و یک متغیر می‌باشد. دامنه‌ی شاخص‌های تنوع شانون-وینر برای سه طبقه ارتفاعی (۱/۷۶، تا ۱/۲۳) و شاخص سیمپسون نیز مقادیر (۰/۵۵ و ۰/۷۰) است. این امر نشان می‌دهد تنوع گونه‌ای منطقه سیاه کوه متوسط است. در پژوهش حاضر مشخص شد با افزایش ارتفاع از سطح دریا تنوع گونه‌ای کاهش یافت و بررسی جهات نیز نشان داد جهت غربی دامنه سیاه کوه تنوع گونه‌ای بیشتری نسبت به جهت شرقی دامنه این کوه داشت؛ به طوری که بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون-وینر در ارتفاع ۲۰۵-۶۰۵ میزان ۱/۲۳ بود. بررسی تنوع گونه‌ای شمال سبلان در سه طبقه ارتفاعی (۲۰۰-۲۵۰، ۱۰۰-۲۰۰، و ۲۵۰-۲۷۰ متر) نشان داد با افزایش ارتفاع، میزان تنوع گونه‌ای کاهش و میزان یکنواختی افزایش یافت که با نتایج پژوهش ما مطابقت داشت (Nazari et al., 2016). در بررسی تنوع گونه‌های

در بین سایر شاخص‌های پراکنش، شاخص مورسیتا بهتر از سایر شاخص‌ها الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری را نشان داد که دلیل آن را این گونه می‌توان بیان نمود که این شاخص از تعداد نمونه مستقل است ولی در شرایطی که نمونه‌های مورد بررسی الگوی جمعی را برآزش کند، حساس است. نتایج این مطالعه با پژوهشی بر روی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی شاخص در مانشت ایلام مطابقت داشت که عنوان کردند شاخص مورسیتا بهتر از شاخص‌های کوادراتی پراکنش را ارزیابی کرد (Heydari et al., 2016). نتایج ارزیابی شاخص‌ها نشان داد که طبقات ارتفاعی مختلف سیاه کوه (۶۰۵-۲۰۵، ۱۰۰۵-۶۰۵ و ۱۴۰۵-۱۰۰۵ متر) و جهت‌های رو به دامنه (غربی و شرقی) منطقه سیاه کوه نقش زیادی در الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری داشتند. در پژوهشی دیگر، بیشترین پراکنش گونه‌ی *Artemisia aucheri* Boiss در ارتفاعات بالاتر از سطح دریا تعیین شد که با نتایج این پژوهش مبنی بر پراکنش بیشتر گیاه تشنه‌داری در ارتفاع پایین‌تر مطابقت نداشت (Mozafarian, 2006). در طبقه ارتفاعی اول (۲۰۵-۶۰۵) و جهات غربی و شرقی شاخص‌های تیلور، ایوانو، مورسیتا، k و نسبت واریانس به میانگین پراکنش جمعی را نشان دادند. در مطالعه‌ای، الگوی پراکنش لاله واژگون (*Fritillaria imperialis* L.) در منطقه مانشت ایلام را بررسی نمودند که توانستند الگوی پراکنش لاله واژگون را با استفاده از شاخص‌های تیلور، ایوانو و k جمعی نشان دهند (Bidarnamani and shabanipour, 2018). هم‌چنین الگوی پراکنش سه گونه بوته‌ای در حومه سنندج با استفاده از شاخص‌های فاصله‌ای و کوادراتی به صورت جمعی بوده و با افزایش ارتفاع، پراکنش از حالت جمعی به حالت تصادفی تغییر کرد. دلیل پراکنش جمعی را می‌توان شرایط رویشگاهی (pH خاک) و تجمع مواد غذایی (پتاسیم، کربن و مواد آلی) در ارتفاعات پایین منطقه سیاه کوه بررسی کردند (Zahedi Amiri and mohamadi Limiai, 2002). در ارتفاعات طبقه اول سیاه کوه (۶۰۵-۲۰۵ متر) میزان هدایت الکتریکی، مواد آلی، پتاسیم و کربن در خاک نسبت به سایر ارتفاعات بیشتر می‌باشد. در پژوهش مختلفی اثر هدایت الکتریکی (Seoane, 2003)، مواد آلی و پتاسیم (Jenkins and Parker, 1998) و کربن در خاک (Zakeri Pashakolaei,

از جهت غربی منطقه در مقایسه با جهت شرقی ضریب شاخص تیپور دقیق‌تری داشتند. تمام روش‌های مقایسه‌ای نشان داد پراکنش در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۵-۱۰۰۵ معنی‌دار نبود. شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر و سیمپسون نیز نشان از تفاوت معنی‌دار در سه ارتفاع و دو جهت شرقی و غربی منطقه سیاه‌کوه داشت. هم‌چنین بین شاخص‌های مختلف مورسیتا بهتر از سایرین توانست الگوی پراکنش گیاه تشنه‌داری را نشان دهد. با مقایسه تنوع گونه‌ای و پراکنش گیاه تشنه‌داری در سایر مناطق کشور و مقایسه با نتایج این تحقیق می‌توان بهترین شرایط برای رشد فیزیولوژیکی گیاه از نظر دما، ارتفاع از سطح دریا، میزان تشعشع خورشید، شرایط خاکی و ... بررسی کرد. هم‌چنین نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در مطالعات مربوط به مدل‌سازی نمونه‌برداری گیاهان دارویی و پیشنهاد گونه‌های اصلاحی مناسب برای احیای پوشش گیاهی گونه‌های تخریب یافته نیز مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه زابل انجام گرفته است.

گیاهی در طول گرادیان ارتفاعی غرب هیمالیا گزارش شد. مقادیر شاخص تنوع گونه‌ای در ارتفاعات میانی بیشترین و در ارتفاعات بالا کمترین مقدار بود که مطابق نتایج این تحقیق می‌باشد (Chawla et al., 2008). از دلایل کاهش تنوع گونه‌ای در ارتفاعات بالاتر می‌توان افزایش بادهای شدید همراه با گرد و خاک در ارتفاعات بالاتر دانست که باعث نامساعد شدن شرایط برای گیاهان می‌شود. با مطالعه‌ای در طول یک گرادیان ارتفاعی در آریزونا به این یافته رسیدند که ارتفاعات پایین دارای تنوع گونه‌ای بیشتری بخاطر بالاتر بودن دما هستند (Fisher and Fuel, 2008). از طرف دیگر با افزایش ارتفاع در منطقه عمق خاک کاهش یافته و فرصت نفوذ آب کم و نزولات بیشتری به صورت هرز آب جریان می‌یابد و باعث فرسایش خاک می‌شود. چنین شرایطی باعث تأثیرات منفی بر تنوع گونه‌ای در ارتفاعات بالاتر می‌شود (Chawla et al., 2008).

نتیجه‌گیری کلی

بخش‌های مختلف منطقه سیاه‌کوه دهلران دارای پراکنش و تنوع متفاوتی است و با افزایش ارتفاع پراکنش گیاه تشنه‌داری تصادفی و تنوع گونه‌ای یکنواخت می‌شود. داده‌های بدست‌آمده

References

- Alimohammadi, B., Mohammadi, R., Nazemi S. and Azhdari Zarmaheri, H. 2016. Antinociceptive effects of hydro-alcoholic extract of *Scrophularia striata* Boiss using formalin test. *Journal of Zanjan University of Medical Science and Health Services*, 105(2), pp.78-87. [In Persian].
- Alimorad, S., Nassery, H.R., Alijani, F. and Karimi, H. 2019. Source determination and formation mechanisms of sulfur and thermal springs of Siah_Kuh anticline, south-west of Iran using hydrogeochemistry and isotope characteristics. *Hydrogeology*, 5(2), pp.16-31. [In Persian].
- Bahmani, M., Hadavi, M. and Abbasi, N. 2020. Study of extraction and chemical compounds of *Scrophularia striata* Bioss. and *Scrophularia deserti* Delile using HS-SPME and GC-MS. *Plant Biotechnology Persa*, 2(1), pp.8-13. doi: 10.29252/pbp.2.1.8
- Babri, S., Doosti, M.H., Fatehi, L. and Salari, A.A. 2012. The effects of *Scrophularia striata* extract on anxiety and depression behaviors in adult male mice. *Pharmaceutical Sciences*, 18(2), pp.133-140. [In Persian].
- Behmanesh, B. 2005. The effects of some environmental factors on distribution of medicinal plants (Case Study: Charbagh rangelands, Golestan Province). MSc thesis. Gorgan University of Agricultural Research and Natural Resources. Gorgan, Iran. [In Persian].

- Bidarnamani, F. and Shabanipour, M. 2018. Comparison of distance indicators and quadrature indicators in determining dispersion pattern of *Fritillaria imperialis* L. in Ilam. *Journal of Ornamental Plant*, 8(3), pp.193-203.
- Bidarnamani, F., Fahmideh, L. and Shabanipour, M. 2019. Comparison of distance-based and quadrature-based methods to determine the dispersion methods of *Calligonum polygonoides* in Sistan province, Iran. *Journal of Arid Biome*, 9(1), pp.113-122. [In Persian]. doi: **10.29252/aridbiom.2019.1567**
- Bidarnamani, F. and Shabanipour, M. 2019. Evaluation of species diversity and spatial distribution characteristics of five dominant plant species in Hamoon wetlands. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 7(14), pp.67-86. [In Persian].
- Bigdeli, R., Baghbani Arani, F. and Ahangari, C. 2017. The cytotoxic effects of different concentrations of *Scrophularia striata* extract on human colorectal cancer cells (HT20). *Research of Medicine*, 41(3), pp.160-165. [In Persian].
- Chawla, A., Rajkumar, S., Singh, K.N., Brij Lal, R.D.S. and Thukral, A.K. 2008. Plant species diversity along an altitudinal gradient of Bhabha Valley in Western Himalaya. *Journal of Mountain Science*, 5, pp.157-177. doi: **10.1007/s11629-008-0079-y**
- David, F.N. and Moore, P.G. 1954. Notes on contagious distribution in plant population. *Annals of Botany*, 18(69), pp.47-53.
- Ejtehadi, H., Zare, H., Amini Eshkevari, T. and Atashgahi, Z. 2015. A study of tree species diversity and flora in different altitudes and slopes of the shirinrood river valley, Mazanderan, Iran. *Taxonomy and Biosystematics*, 25(2), pp.39-52. [In Persian].
- Esmailzadeh, O., Hoseini, S.M., Asadi, H., Ghadirpour, P. and Ahmadi, A. 2008. Plant biodiversity in relation to physiographical factors in Afratakhte yew (*Taxus baccata* L.) Habitat, NE Iran. *Journal of Plant Biology*, 4(12), pp.1-12. [In Persian].
- Feng, Y., Xinm, H.L., Li, Y. and Li, W.J. 2018. Spatial distribution pattern of *Nitraria* L. in Traim basin. *International Simposiom Workshop on Environmental Management, Science and Engineering*, pp.285-290.
- Fisher, M.A. and Fuel, P.Z. 2004. Changes in forest vegetation and arbuscular mycorrhizae along a steep elevation gradient in Arizona. *Forest Ecology and Management*, 200, pp.293-311.
- Havasian, M.R., Panahi, J., Pakzad, I., Davoodian, A., Jalilian, A. and Zamanian, M. 2012. Study of inhibitory effect of alcoholic and aqueous extract of *Scrophularia striata* (tashne dari) on *candida albicans* in vitro. *Research in Medicine*, 36(5), pp.19-23. [In Persian].
- Heydari, M., Karimikia, H., Jafarzadeh, A.A. and Naderi, M. 2016. Study of spatial pattern of indicator plant species in ecological species groups (case study: Manesht protected Area, Ilam province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5(17), pp.65-76. [In Persian]. doi: **10.18869/acadpub.ijae.5.17.65**
- Heydari Ghahfarokhi, Z., Tahmasbi, P. and Shahrokhi, A. 2019. Effects of ecological factors on distribution of *Salvia hydrangea* DC. ex Benth. in Tang-e-sayad, Shahrekord. *Journal of Rangeland*, 13(3), pp.476-489.

- Iwao, S. 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of populations. *Researches on Population Ecology Journal*, 10, pp.1-20. doi: **10.1007/bf02514729**
- Jenkins, M. and Parker, A. 1998. Composition and diversity of woody vegetation in silvicultural openings of southern Indiana forests. *Forest Ecology and Management*, 109(2), pp.57-74. doi: **10.1016/s0378-1127(98)00256-4**
- Levin, S.A. 1992. The problem of pattern and Scale in Ecology. *Ecology*, 73, pp.1943-1967. doi: **10.2307/1941447**
- Molai Sham asbi, M., Ghorbani, A., Sefidi, K., Bahrami, B. and Hashemi Majd, K. 2017. Effects of ecological factors on distribution of *Artemisia aucheri* Boiss.in southeast faced slopes of Sabalan. *Journal of Rangeland*, 11(2), pp.139-151. [In Persian].
- Morisita, M. 1962. δ index as a measure of dispersion of individuals. *Researches on Population Ecology*, 4, pp.1-7. doi.org/10.1007/bf02533903
- Mozafarian, V.A. 2006. Khuzestan flora: agriculture natural resources research. Publication Center of Khuzestan Province. Khuzestan.
- Nazari, M.R., Pakzad, I., Maleki, A. and Hematian, A. 2013. Comparison of in vitro inhibitory effects of different extracts of *Scrophularia striata* plant on *Staphylococcus aureus* *Pseudomonas aeruginosa* and *Helicobacter pylori*. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 22(3), pp.67-72. [In Persian].
- Nazari Anbaran, F., Ghorbani, A., Azimi Motem, F., Teymorzadeh, A., Asghari, A. and Hashemimajd, K. 2016. Floristic and species diversity in altitudinal gradient of Lahrod-Shabil (north Sabalan). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 3(7), pp.1-18. [In Persian].
- Seoane, J., Vinuela, J., Dtaz Delgado, R. and Bustamante, J. 2003. The effects of land use and climate on red kite distribution in the Iberian Peninsula. *Biology Conservation*, 11, pp.401-414. doi: **10.1016/s0006-3207(02)00309-9**
- Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois press, Urbana, Illinois.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688-723. doi: **10.1038/163688a0**
- Taylor, L.R. 1961. Aggregation, Variance to the Mean. *Nature*, 189, pp.732-735. doi: **10.1038/189732a0**
- Tilman, D. and Kareiva, P. 1997. *Spatial Ecology: the role of space in population dynamics and interspecific interactions* (Princeton: Princeton University Press).
- Wei-dong, H., Xiu-mei, G. and Lin feng, L. 2001. Spatial pattern of dominant tree species of the secondary monsoon rain forest in Linjiang, Guangdong province. *Journal of Forestry Research*, 12(2), pp.101-104. doi: **10.1007/bf02867205**
- Zahedi Amiri, Gh. and Mohammadi Limayi, S. 2002. Relationship between plant ecological groups in herbal layer and forest stand factors (Case study: Neka forest, Iran). *Iranian Journal Natural Resources*, 55(3), pp.341-353. [In Persian].

Zakeri Pashakolaei, M., Alvaninejad, S. and Esmailzade, O. 2014. Relationship between plant biodiversity and topographical factors in forests of West Mazandaran (case study: research forest of Tarbiat Modares University). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(8), pp.1-16. [In Persian].

Evaluation of distribution pattern of medicinal plant *Scophularia striata* Boiss and species diversity in different altitudes Siahkouh region of Dehloran

Fatemeh Bidarnamani^{1*}, Zeynab Mohkami¹, Bahman Fazeli-Nasab¹, Mohammad-ali Karimian¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: f.bidarnamani65@uoz.ac.ir

Received: 25 July 2021

Accepted: 5 October 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.296666.1106

Abstract

Introduction: *Scophularia striata* Boiss plant from *Scrophulariaceae* family. In western states of Iran, a plant of Snapdragon has traditional medical usage. It utilize as a disinfectant and for treatment of stomach ulcer, infection of eyes and ears in the western regions of the country. Different parts of the *Scophularia striata* have different medicinal properties. So that the leaf extract of the plant has an inhibitory effect on the growth of fibroblasts and its seed extract stimulates the growth of the cell.

Materials and Methods: Spatial distribution and species diversity of *Scophularia striata* was evaluated in Siahkouh region of Dehloran in 2020 with the aim of determining the appropriate distribution pattern of sampling and selection of the environmental factors affecting the species diversity of medicinal plants. Random sampling carried out according to w pattern in three altitudes (205-605, 605-1005 and 1005-1405 m) and two directs: West and East. Spatial distribution was evaluated by distribution indices, Taylor and Iwao models and diversity indicators.

Results and Discussion: Different parts of Siahkuh Dehloran region have different distribution and diversity and with increasing the distribution height, the *Scophularia striata* becomes random and the diversity of species was uniform. All comparative methods showed that the distribution in the elevation class 1405-1005 was not significant. Shannon-Wiener and Simpson species diversity index also showed significant differences in three altitudes and two East and West directions of Siahkuh region. The results showed the highest value of Taylor and Iwao coefficient in west direction of altitude 605-1005 were 1.05 and 1.06 for Taylor and 1.18 and 1.17 for Iwao respectively, which Iwao model fitted better than Taylor model according to R² and P obtained from 605-1005 altitude. Other indices values indicated the most amount of coefficient was in 205-605 m altitude and west direction. There are significant differences between the values of diversity indices in 3 altitudes and 2 directions of West and East (P≤0.05), too. The most and lowest amounts of Shannon-Weiner index were 0.76 and 1.23 for 205-605 and 1005-1405 m altitudes, respectively. Also, among the various indices, Morisita was better than others to show the distribution pattern of the *Scophularia striata*.

Conclusion: The results showed that spatial distribution of the medicinal plant *S. striata* was cumulative in different indices and distribution pattern was randomly, species diversity decreased and uniformity amount enhanced by addition of altitudes. By comparing the diversity of species and distribution of *Scophularia striata* in other regions of the country and comparing with the results of this research, the best conditions can evaluate for physiological growth of the plant in terms of temperature, altitude, amount of sunlight, soil conditions etc. The results of the present study can also be used in studies related to modeling the sampling of medicinal plants and suggesting suitable breeding species to restore the vegetation of degraded species. Evaluation the distribution pattern in different plants can help to preserve rare species of medicinal and ornamental plants. Especially in the case of endangered plants, whether by humans or by livestock or natural disasters, the largest number of plant species can be found with similar research, in an area with a specific distribution pattern to achieve its full purpose with cost reduction used to maintain that species. In addition, determining the distribution pattern with the study of species diversity in different regions can help the researcher to determine what environmental or soil conditions in that region have caused the

growth of these particular species, and the relationship between these plants. It is even possible to try in breeding programs for crossing between similar species and genera with close relationship to increase species diversity in that area and reduce the risk of extinction in the coming years.

Keywords: Iwao, Plot, Taylor, Transect, Shannon-weiner

ارزیابی عملکرد دانه آفتابگردان و ویژگی‌های خاک تحت تأثیر کودهای شیمیایی و دامی و روش‌های مختلف خاک‌ورزی

سیاوش آریافر^۱، علیرضا سیروس مهر^{۲*}، عیسی خمیری^۲، سید احمد قنبری^۲، اسماعیل سیدآبادی^۲

۱- دانش آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

* مسئول مکاتبه: asirousmehr@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.315029.1155

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کودهای دامی و شیمیایی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد دانه آفتابگردان به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل اجرا شد. عامل اصلی روش‌های خاک‌ورزی شامل گاواهن برگردان‌دار + دیسک، پنجه‌غازی + دیسک، و دیسک بود. عامل فرعی سطوح کودی شامل عدم مصرف کود، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار دی‌آمونیم فسفات، کود دامی ۲۵ تن در هکتار + دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی ۵۰ تن در هکتار + دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی ۲۵ تن در هکتار، کود دامی ۵۰ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تخلخل خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر (۸۲ درصد) با کاربرد دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط خاک‌ورزی پنجه‌غازی + دیسک و در عمق ۴۰ سانتی‌متر (۸۶/۸ درصد) با کاربرد ۵۰ تن کود دامی در هکتار در شرایط پنجه‌غازی + دیسک و بیش‌ترین وزن هزار دانه (۱۴/۲ درصد) و عملکرد دانه (۸۴/۸ درصد) با کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی گاواهن برگردان‌دار + دیسک بدست آمد. خاک‌ورزی با دیسک به همراه کود دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار جهت حفظ رطوبت خاک مناسب بود و در این راستا، اگر کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی مدنظر قرار بگیرد، کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با دیسک برای حفظ رطوبت خاک توصیه می‌شود. هم‌چنین به منظور افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌توان کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار را در خاک‌ورزی متداول توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: تخلخل، ساختمان خاک، شخم، کود آلی، وزن هزار دانه

مقدمه

محتاطانه خاک برای دستیابی به تولید کشاورزی پایدار ضروری می‌باشد (Houshyar and Esmailpour, 2020). از آنجا که عملیات خاک‌ورزی یکی از اجزای اصلی روش‌های تولید محصولات کشاورزی است با تأثیر مثبت بر خصوصیات زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند تأثیر مثبت بر تولید محصولات زراعی داشته باشد؛ بنابراین باید بر روش‌های خاک‌ورزی و تأثیرات آن‌ها بر سلامت خاک تمرکز شود (Arriaga et al., 2017).

شدت خاک‌ورزی می‌تواند تا حد زیادی بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه تأثیر بگذارد. این امر به ویژه در خاک‌هایی که مواد آلی کمی دارند، بسیار مهم می‌باشد (Nouraein et al., 2019). خاک‌ورزی معمولاً در سرتاسر دنیا به منظور بهبود بهره‌وری محصول از طریق بهینه‌سازی دما و رطوبت خاک، کاهش مقاومت نفوذ بستر بذر و سرکوب علف‌های هرز انجام

پنج محصول روغنی، نخل روغنی، سویا، کلزا، آفتابگردان و زیتون، ۸۰ درصد از تولید روغن جهان را تشکیل می‌دهند (Jaradat, 2016; Zhou et al., 2020). آفتابگردان به دلیل پروتئین زیاد موجود در بذور، ممکن است در افزایش مصرف پروتئین غذایی انسان نیز نقش داشته باشد (Adeleke et al., 2020). خاک یکی از مهم‌ترین ارکان طبیعت و عوامل تولید می‌باشد که تجدیدنپذیر است و انسان به آن وابسته می‌باشد (Arriaga et al., 2017). با افزایش فزاینده جمعیت کره زمین، انسان به منظور تولید بیشتر و تأمین تقاضای جمعیت، فشار زیادی بر خاک وارد کرده است که فرسایش، آلودگی و تخریب خاک و کاهش کیفیت آن را به همراه داشته است (O'Brien and Daigh, 2019). خاک‌های قابل کشت به دلیل شیوه‌های کشت ناپایدار در معرض تهدید قابل توجهی هستند و مدیریت

فعالیت‌های میکروبی و تنوع زیستی خاک، تأمین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاه، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش ذخیره کربن خاک می‌شوند و می‌توانند استفاده از کودهای شیمیایی را به حداقل و یا حتی به صفر برسانند (Kiafar *et al.*, 2013). کودهای دامی یکی از منابع کود آلی است که استفاده از آن در روش مدیریت پایدار خاک مرسوم می‌باشد (Asghari Meidani *et al.*, 2013). اثرات مفید کود دامی شامل افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش جرم مخصوص خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش فعالیت‌های زیستی و تأمین عناصر پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشند و کودهای دامی استفاده‌پذیر از این خاک را تأمین می‌کنند (Zhang and Schroder, 2014). با بررسی اثر سطوح مختلف کود شیمیایی نیتروژن بر آفتابگردان مشخص شد که با افزایش مقدار کود نیتروژن عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Safahani Langeroodi, 2015). در تحقیقی روی آفتابگردان، کاربرد ۱۵، ۳۰ و ۴۵ تن در هکتار کود دامی سبب افزایش قطر طبق و عملکرد دانه شد (Ahmadi *et al.*, 2012).

با عنایت به اینکه در بسیاری از مزارع، روش خاک‌ورزی متداول (شخم با گاواهن برگردان‌دار، پنجه‌غازی و دیسک) رایج است و با توجه به اینکه مطالعه کارایی کودهای آلی و شیمیایی به منظور ارتقای سطح کیفی و کمی گیاهان زراعی و خصوصیات خاک ضروری می‌باشد، لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی، کود شیمیایی دی‌آمونوم فسفات و کود دامی بر عملکرد دانه آفتابگردان و ویژگی‌های فیزیکی خاک در شرایط آب و هوایی زایل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان زابل اجرا گردید. ارتفاع مزرعه از سطح دریا ۴۸۱ متر است و در ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی سه روش مختلف خاک‌ورزی شامل گاواهن برگردان‌دار + دیسک، پنجه‌غازی + دیسک و دیسک بود و عامل فرعی شش

می‌شود. با این حال، این مزایا با اشکالاتی نظیر افزایش فرسایش و از بین رفتن مواد آلی خاک همراه است و تحقیقات در مورد چگونگی به حداکثر رساندن مزایا و به حداقل رساندن اشکالات خاک‌ورزی در طیف وسیعی از نظام‌های کشاورزی ادامه دارد (O'Brien and Daigh, 2019). تغییرات خصوصیات خاک ناشی از خاک‌ورزی بر پتانسیل بهره‌وری خاک با تمرکز ویژه بر دمای خاک و محتوی آب خاک، تأثیر می‌گذارند که این دو ویژگی مستقیماً بر رشد گیاهان مؤثر هستند و به طور غیر مستقیم بسیاری از مکانیسم‌های دیگر را در روش‌های زراعی مانند جوانه‌زنی بذر، فعالیت زیستی، چرخه عناصر و انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Arriaga *et al.*, 2019; O'Brien and Daigh, 2017). خاک‌ورزی شدید با شخم برگردان‌دار نه تنها به فرسایش بیش از حد خاک کمک می‌کند، بلکه باعث کاهش سلامت خاک می‌شود. اکنون با ظهور مواد شیمیایی ساخته دست بشر، خاک‌ورزی حفاظتی (خاک‌ورزی صفر یا حداقل) یک عمل کشاورزی پایدار و یک راهکار حفاظت از خاک در نظر گرفته می‌شود (Arriaga *et al.*, 2017).

با کاربرد روش‌های مختلف خاک‌ورزی در گیاه آفتابگردان مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد دانه در روش شخم کاهشی در مقایسه با شخم متداول حاصل شد (Nouraein *et al.*, 2019). گزارش شده است که وزن هزار دانه آفتابگردان در خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول بیشتر بود (Seddaiu *et al.*, 2016). مشخص شده است که درصد روغن آفتابگردان تحت تأثیر روش خاک‌ورزی حفاظتی بیش‌تر از خاک‌ورزی متداول می‌باشد (Usman *et al.*, 2020). استفاده از روش خاک‌ورزی متداول باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی شد؛ به طوری که کربن آلی خاک ۲۰/۴۲ درصد نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی برتری نشان داد (Ghasemi *et al.*, 2017). گزارش شده است که چگالی ظاهری خاک در روش خاک‌ورزی حداقل بیش‌تر از خاک‌ورزی متداول است (Rezaenejad and Afyuni, 2001). کودهای شیمیایی موجب آلودگی محیط زیست و آب‌های زیرزمینی و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی خاک می‌شوند (Elemike *et al.*, 2019). در مقابل کودهای شیمیایی، کودهای آلی باعث افزایش میزان مواد آلی خاک، بهبود

مزرعه تعدادی نمونه تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و با هم ترکیب شدند و به آزمایشگاه تجزیه خاک دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل برای اندازه‌گیری خصوصیات خاک با روش‌های استاندارد (Lindsay and Norvell, 1978; Hemke and Spark, 1996) منتقل شدند. نتایج آنالیز ویژگی‌های نمونه خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شد. کود شیمیایی دی‌آمونیم فسفات با فرمول شیمیایی $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ دارای ۴۶ درصد پنتوکسید فسفر (P_2O_5) و ۱۸ درصد نیتروژن می‌باشد. در این تحقیق کود گاوی به عنوان کود دامی استفاده گردید که در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ از یک منبع کود گاوی تهیه شده بود و ویژگی‌های شیمیایی آن با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (Olsen *et al.*, 1954; Lindsay and Norvell, 1978; Hemke and Spark, 1996). نتایج آنالیز ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی در جدول ۲ ارائه شد.

سطح کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی ۲۵ تن در هکتار + کود شیمیایی دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی ۵۰ تن در هکتار + کود شیمیایی دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود دامی ۲۵ تن در هکتار و کود دامی ۵۰ تن در هکتار بود.

مشخصات ادوات مورد استفاده در این تحقیق عبارت‌اند از: گاواهن برگردان‌دار سه خیش از نوع سوار با عرض کار ۹۰ سانتی‌متر و عمق کار ۳۰ سانتی‌متر، پنجه‌غازی ۹ ردیفه بدون فتر از نوع سوار با عرض کار ۲ متر و عمق کار ۲۰ سانتی‌متر، دیسک تاندوم از نوع سوار دارای ۱۴ بشقاب لبه کنگره‌ای در ردیف اول و ۱۲ بشقاب لبه صاف در ردیف دوم با عرض کار ۳ متر و عمق کار ۱۵ سانتی‌متر. قبل از شروع آزمایش به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، از

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of farm soil before the experiment

بافت خاک Soil type	شن Sand	رس Clay	لای Silt	ماده آلی Organic matter	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن فسفر پتاسیم سدیم				هدایت الکتریکی Electrical conductivity	pH
						Na	K	P	N		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(dS/m)	
شنی لومی Sandy loam	58	10	32	2.12	1.23	216.3	208.65	9.92	0.105	1.61	7.29

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در این تحقیق

Table 2- Chemical properties of cow manure used in this research

ماده آلی Organic matter	کربن آلی Organic carbon	منیزیم Mg	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	ویژگی Property
(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)		(dS/cm)	
7.84	4.55	1900	3400	9200	4100	0.227	7.75	12.5	مقدار Amount

ابعاد 3×4 متر دارای ۵ ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر و عمق کشت ۳ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۱ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی $1/5$ متر و فاصله بین تکرارها ۳ متر در نظر گرفته شد. بعد از تهیه کرت‌ها عملیات کاشت بذور آفتابگردان رقم شمس که از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

ابتدا بر اساس نقشه کاشت و نوع خاک‌ورزی زمین مزرعه یک روز قبل از کاشت (۲۶ اسفند سال ۱۳۹۸) آماده‌سازی شد. به این صورت که کرت‌هایی که تیمار خاک‌ورزی یکنواخت داشتند در یک ردیف قرار گرفتند که با حرکت مستقیم تراکتور شخم می‌خورند و دور زدن تراکتور در خارج از کرت آخر صورت می‌گرفت. بعد از آن کرت‌بندی انجام شد. هر کرت با

از: درصد رطوبت حجمی، حجم آب خاک و حجم کل نمونه خاک.

$$Q_t = \frac{V_m}{V_t} \times 100 \quad (1)$$

جهت اندازه‌گیری چگالی ظاهری خاک (وزن مخصوص ظاهری خاک) در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک، استوانه نمونه‌برداری توسط یک وزنه سنگین به درون خاک فرو برده شد. سپس استوانه را با خاک دست نخورده درون آن، بیرون آورده و خاک‌های اضافی اطراف آن حذف شد. نمونه‌ها برای ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. نهایتاً چگالی ظاهری خاک در هر عمق با فرمول ۲ محاسبه گردید (Marshall et al., 1999). در این فرمول، BD، Wd و V به ترتیب عبارتند از: چگالی ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، جرم خاک خشک بر حسب گرم و حجم کل خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب.

$$BD = \frac{W_d}{V} \quad (2)$$

برای محاسبه تخلخل خاک، چگالی ظاهری و چگالی حقیقی خاک از عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک به دست آمدند و نهایتاً با فرمول ۳ تخلخل خاک محاسبه گردید (Danielson and Sutherland, 1986).

$$(3) \quad 100 \times \left(\frac{\text{چگالی ظاهری خاک}}{\text{چگالی حقیقی خاک}} - 1 \right) = \text{تخلخل خاک}$$

در نهایت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTATC نسخه ۲/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

رطوبت حجمی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود، اثر خاک‌ورزی و برهمکنش آن‌ها رطوبت حجمی خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر را در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر نشان داد که در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک، با کاربرد کود دامی ۵۰ تن در هکتار بیش‌ترین میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر (میانگین ۱۷/۸۱ درصد) به دست آمد (شکل

(کرج) تهیه شده بود در ۲۷ اسفند ماه سال ۱۳۹۸ انجام شد. رقم شمس آفتابگردان یک هیبرید سینگل کراس جدید، متوسط‌ترس و مقاوم به بیماری‌های زنگ و سفیدک کرکی است که برای کشت بهاره در مناطق معتدل و سرد و کشت تابستانه در مناطق معتدل مناسب است. کود گاوی و کود دی‌آمونیم فسفات به صورت نواری در هنگام کاشت، اعمال شدند. آبیاری به صورت کرتی بود و نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور صورت گرفت. دور آبیاری‌های بعدی تا پایان دوره رشد آفتابگردان، هر ۱۴ روز یک بار تنظیم گردید. در مرحله چهار تا پنج برگی به منظور حفظ بوته‌های سالم و قوی عمل تنک انجام شد. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی و منظم در طول دوره رشد و به ویژه اوایل رشد صورت گرفت. صفات مورد مطالعه در این تحقیق به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در زمان رسیدگی محصول پس از تغییر رنگ پشت طبق‌ها به قهوه‌ای و رسیدگی کامل بذور، با رعایت اثر حاشیه در تاریخ ۲۳ تیر ماه سال ۱۳۹۹ برداشت انجام شد. برداشت بوته‌ها به صورت دستی و با ابزار داس از ناحیه طوقه گیاه توسط نیروی کارگری بود. پس از برداشت، طبق‌ها از ساقه جدا شد. سپس ساقه‌ها و طبق‌ها به صورت مجزا در دمای معمولی اتاق و سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. ابتدا به طور تصادفی تعداد ۵ طبق انتخاب شد و با جداسازی بذور رسیده در هر کرت با نیروی کارگری، وزن دانه‌های هر کرت توسط ترازوی آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد و به عنوان عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار گزارش گردید. سپس با جداسازی هزار دانه آفتابگردان، وزن هزار دانه با استفاده از ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک دو هفته قبل از برداشت و چند روز پس از آخرین آبیاری صورت گرفت. بدین‌منظور از عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک، حجم مشخصی از خاک توسط رینگ استوانه‌ای نمونه‌برداری شد. سپس در آزمایشگاه نمونه بلافاصله وزن شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شد (Blake, 1995). بعد از گذشت این مدت، نمونه از آون خارج و وزن شد و با استفاده از فرمول ۱ درصد رطوبت حجمی آن محاسبه گردید. در این فرمول، Q_t ، V_m و V_t به ترتیب عبارتند

۵۰ تن در هکتار بیش‌ترین میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر (با میانگین ۲۷/۸۴ درصد) به‌دست آمد (شکل b۱). در شرایط خاک‌ورزی با دیسک، کاربرد دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب بیش‌ترین افزایش در میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر (با میانگین ۲۶۴/۱ درصد) شد و بعد از آن بیش‌ترین افزایش مربوط به تیمار کود دامی ۵۰ تن در هکتار بود (شکل b۱). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در رطوبت حجمی خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر نشان داد که در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک، با کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار بیش‌ترین میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر (با میانگین ۳۶/۷۹ درصد) به‌دست آمد (شکل c۱).

a۱). در شرایط خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک، کاربرد دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر را نسبت به سایر تیمارها افزایش داد و بعد از آن بیش‌ترین مقدار مربوط به تیمار کود دامی ۲۵ تن در هکتار بود (شکل a۱). در شرایط خاک‌ورزی با دیسک، کاربرد دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب بیش‌ترین افزایش در میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر (میانگین ۲۱۷/۰۱ درصد) شد و بعد از آن بیش‌ترین افزایش مربوط به تیمار کود دامی ۲۵ تن در هکتار بود (شکل a۱). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در رطوبت حجمی خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر نشان داد که در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک، با کاربرد کود دامی

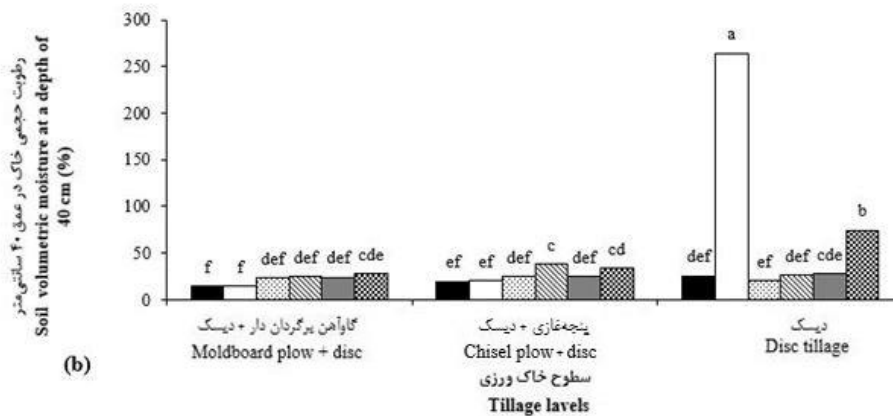
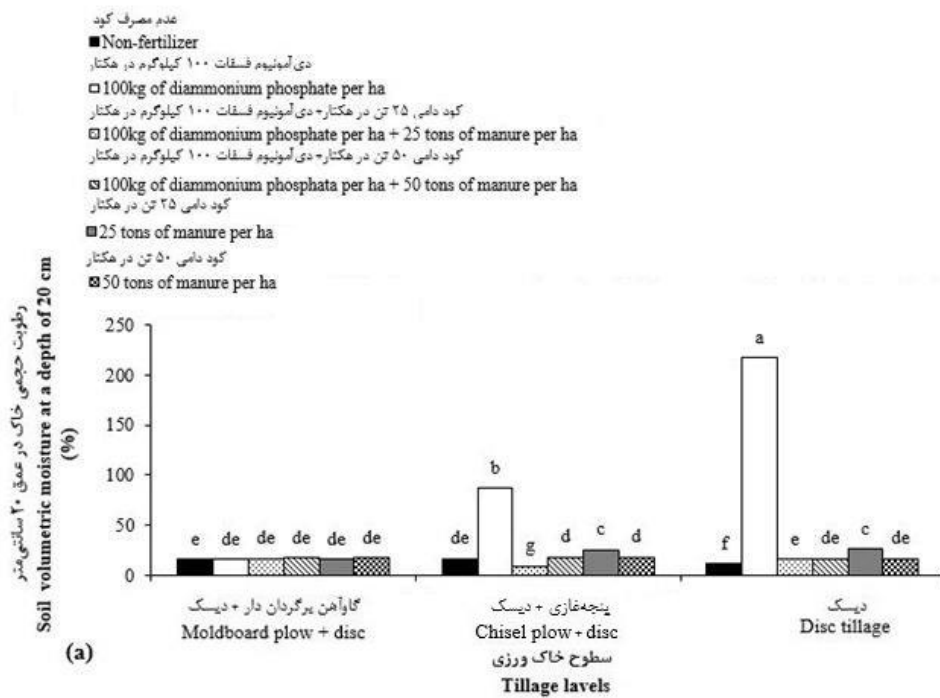
جدول ۳- تجزیه واریانس رطوبت حجمی خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر تحت تأثیر خاک‌ورزی و کود

Table 3- Analysis of variance of soil volumetric moisture at depths of 20, 40, and 60 cm under the influence of tillage and fertilizer

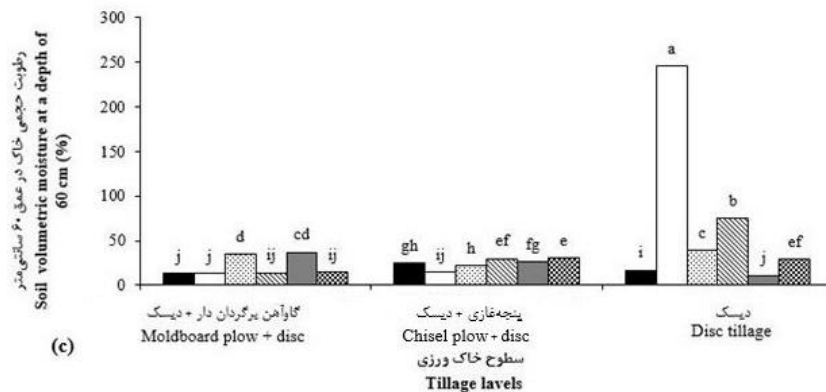
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات Mean of Squares		
		رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر Soil volumetric moisture at a depth of 20 cm	رطوبت حجمی خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر Soil volumetric moisture at a depth of 40 cm	رطوبت حجمی خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر Soil volumetric moisture at a depth of 60 cm
تکرار	2	4.984 ^{ns}	59.4 ^{ns}	18.064 ^{ns}
Replication				
خاک‌ورزی	2	5346.69 ^{**}	14356.73 ^{**}	12985.43 ^{**}
Tillage				
خطای a	4	0.767	53.554	6.458
Error a				
کود	5	12059.18 ^{**}	8305.73 ^{**}	6424.67 ^{**}
Fertilizer				
خاک‌ورزی × کود	10	5205.55 ^{**}	9756.54 ^{**}	8938.64 ^{**}
Tillage × Fertilizer				
خطای b	30	0.875	21.814	1.962
Error b				
ضریب تغییرات CV (%)		2.9	11.6	3.7

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns, **: Non- significant, significant at 1% probability levels, respectively



میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



Means with similar letters are not significantly different from each other based on LSD test at the level of 5% probability.

شکل ۱- اثر انواع کود بر رطوبت حجمی خاک در عمق‌های ۲۰ (a)، ۴۰ (b) و ۶۰ (c) سانتی‌متر در سطوح مختلف خاک‌ورزی

Figure 1- Effect of fertilizer types on soil volumetric moisture at depths of 20 (a), 40 (b), and 60 (c) cm at different levels of tillage

کود آلی از طریق افزایش تخلخل، میزان نفوذ آب به خاک را افزایش داده و از طریق افزایش مواد آلی خاک باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و در نهایت رطوبت خاک را افزایش داده است (Nouraein *et al.*, 2019). مطالعات متعددی گزارش کردند که افزایش کود آلی (دامی) در افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک تأثیر معنی‌داری داشت (Nargesi *et al.*, 2017; Nouraein *et al.*, 2019). گزارش شده است که بالاترین میزان رطوبت خاک در شرایط بدون مصرف کود مشاهده شد و با افزایش سطوح کود شیمیایی نیتروژن و فسفر مقدار رطوبت کاهش یافت (Wang *et al.*, 2019; Tesfahunegn, 2013). در این راستا، محققان گزارش کردند که کودهای معدنی (مثل کودهای نیتروژن و فسفر) در بهبود شرایط فیزیکی خاک مانند رطوبت خاک سهیم نیستند، بلکه یک خاک را تخریب می‌کنند حتی اگر عناصر قابل دسترس را به راحتی برای رشد گیاه فراهم کنند (Tesfahunegn, 2019).

چگالی ظاهری خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود و برهمکنش خاک‌ورزی و کود در سطح احتمال یک درصد چگالی ظاهری خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴). اثر خاک‌ورزی در چگالی ظاهری خاک در عمق‌های ۲۰ سانتی‌متر (سطح احتمال یک درصد)، ۴۰ سانتی‌متر (سطح احتمال یک درصد) و ۶۰ سانتی‌متر (سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر نشان داد که تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک، میزان چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر را ۶/۵ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول افزایش داد (شکل ۲a).

مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در چگالی ظاهری خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر نشان داد که تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی با دیسک بیش‌ترین میزان چگالی ظاهری خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر (با ۱۱/۵ درصد افزایش) نسبت به عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول داشت (شکل ۲b). بیش‌ترین میزان چگالی ظاهری خاک در

جهت حفظ ساختمان، رطوبت و حاصل‌خیزی خاک، سطح خاک‌ورزی دیسک به همراه کود دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از نظر رطوبت خاک در هر سه عمق مناسب بود و بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک را نیز به خود اختصاص داده بود. در صورتی که کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی نیز مدنظر قرار بگیرد کاربرد کود دامی ۲۵ تن برای رطوبت عمق ۲۰ سانتی‌متری، کود دامی ۵۰ تن برای رطوبت عمق ۴۰ سانتی‌متری و کود دامی ۵۰ تن در هکتار + دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار برای رطوبت عمق ۶۰ سانتی‌متری مناسب بود. در شرایط کاهش خاک‌ورزی، مقداری بقایای گیاهی در سطح خاک باقی‌مانده که باعث کاهش رولناب و افزایش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود؛ در این شرایط با افزودن کود دامی ظرفیت حفظ آب در خاک افزایش یافته و باعث افزایش رطوبت قابل دسترس برای ریشه گیاه می‌شود.

در مطالعه حاضر، در شرایط استفاده از گاوآهن برگردان‌دار میزان رطوبت خاک کاهش شدیدی داشت. در مطالعه تأثیر روش‌های خاک‌ورزی که برای اندازه‌گیری میزان آب خاک و عملکرد ذرت و گندم زمستانه انجام شد، بیش‌ترین رطوبت خاک در تمام فصول در روش بدون خاک‌ورزی و پس از آن در روش خاک‌ورزی حفاظتی مشاهده شد و کم‌ترین مقدار رطوبت مربوط به خاک‌ورزی متداول بود که باعث کاهش عملکرد ذرت و گندم شده بود (Copec *et al.*, 2015). در عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متر، رطوبت خاک در تمام روش‌های خاک‌ورزی بسیار کم بود در حالی که در روش بدون خاک‌ورزی بیش‌تر از سایر روش‌ها بود. در عمق ۱۵-۲۰ سانتی‌متر، رطوبت خاک در روش‌های مختلف خاک‌ورزی متفاوت بود و میانگین رطوبت خاک در روش بدون خاک‌ورزی بالاترین بود، اما تفاوت‌ها کوچک‌تر بود (Copec *et al.*, 2015). گزارش شده است که رشد اولیه آفتابگردان (خرداد ماه) در تیمار استفاده از گاوآهن برگردان‌دار بهتر از روش حفاظتی بود ولی در ادامه فصل رشد (مرداد ماه)، رشد آفتابگردان در تیمار حفاظتی به دلیل رطوبت بیش‌تر بهتر بود (Shamabadi, 2013). در این مطالعه در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی حفظ رطوبت خاک می‌تواند به دلیل عدم برگرداندن بقایا و حفظ آن در لایه سطحی خاک از طریق بهبود مواد آلی خاک باشد که در مطالعه دیگر محققان نیز گزارش شده است (Malhi *et al.*, 2006; Shamabadi, 2013).

باقی مانده و نیز رفت و آمد ماشین‌آلات کشاورزی کاهش یافته است که بنابراین از طریق کاهش فشردگی خاک و کاهش حجم منافذ باعث کاهش چگالی ظاهری خاک شده است.

کاهش چگالی ظاهری خاک در تیمارهای کمپوست دامی نسبت به شاهد مشاهده شده است و به بیوماس بیشتر ریشه در خاک نسبت داده شده است (Guo *et al.*, 2016). پژوهش‌گران گزارش کردند که نوع کود آلی و مقدار مصرف آن در کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک تأثیر معنی‌داری داشت و با مصرف کودهای آلی وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش معنی‌داری یافت. علت آن به تشکیل و ثبات خاکدانه‌ها در اثر تجزیه کود آلی نسبت داده شد که موجب افزایش تخلخل خاک و در نتیجه کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود. هم‌چنین آن‌ها بیان کردند که کود آلی علاوه بر افزایش فراهمی عناصر غذایی خاک، موجب بهبود خواص فیزیکی خاک و فعالیت زیستی شده، چگالی ظاهری خاک را کاهش و تخلخل خاک را افزایش داد (Shirazi *et al.*, 2012).

عمق ۶۰ سانتی‌متر (با ۱۳/۶ درصد افزایش) در تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی با دیسک نسبت به عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول به دست آمد (شکل c۲). کمترین میزان چگالی ظاهری خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر مربوط به تیمار دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک بود (شکل a۲، b۲ و c۲).

برای حفظ ساختمان و حاصل‌خیزی خاک، اعمال خاک‌ورزی پنجه‌غازی + دیسک به همراه کود دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از نظر چگالی ظاهری خاک در هر سه عمق مناسب بود و کم‌ترین مقدار چگالی ظاهری را نیز به خود اختصاص داده بود. در این شرایط خاک‌ورزی بین سطوح کودی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ بنابراین در صورتی که کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی نیز مدنظر قرار بگیرد، در همین شرایط خاک‌ورزی کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار برای کاهش چگالی ظاهری در هر سه عمق مناسب بود. در شرایط کاهش خاک‌ورزی، مقداری بقایای گیاهی در سطح خاک

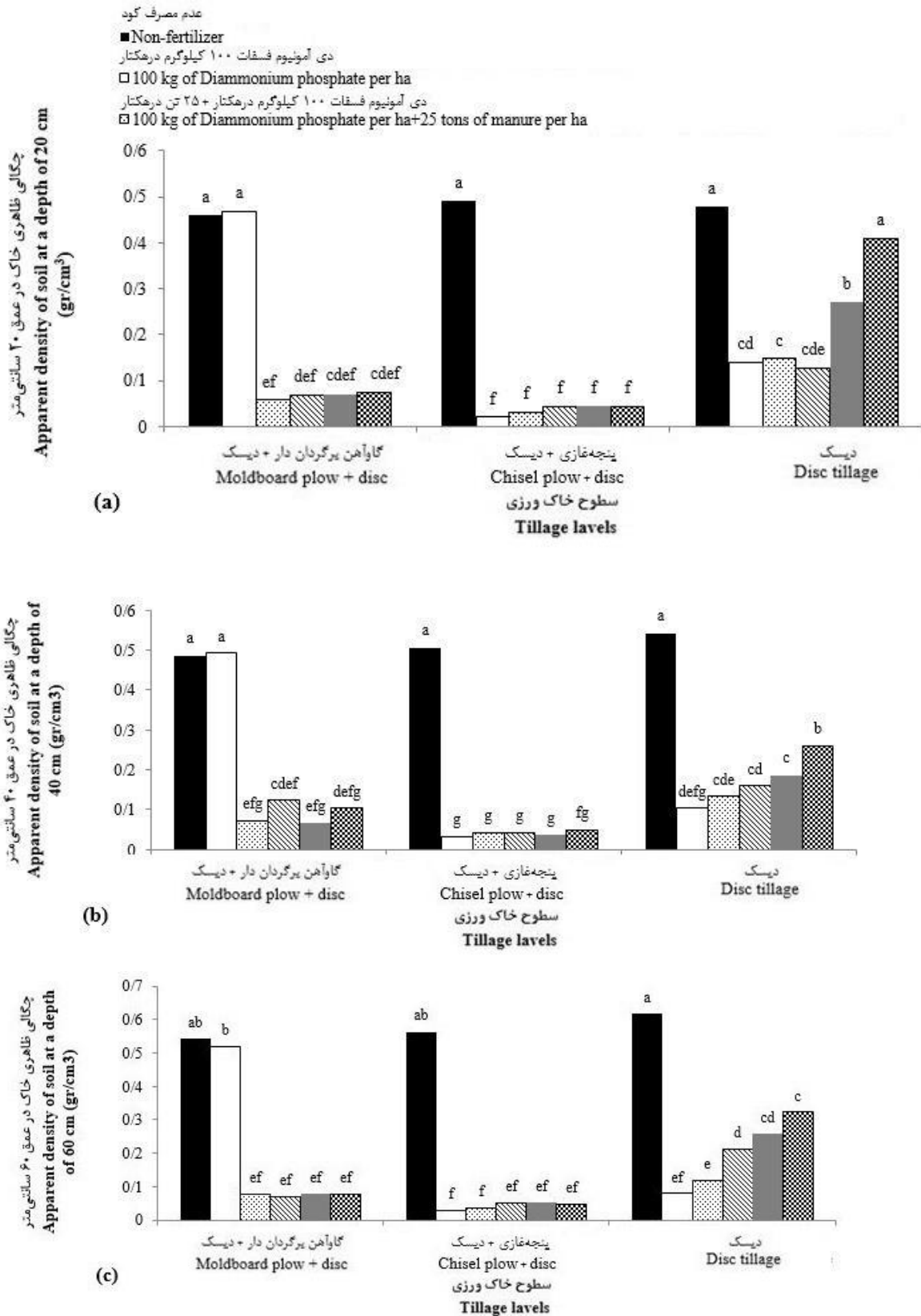
جدول ۴- تجزیه واریانس چگالی ظاهری خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر تحت تأثیر خاک‌ورزی و کود

Table 4- Analysis of variance of apparent density of soil at depths of 20, 40, and 60 cm under the influence of tillage and fertilizer

		میانگین مربعات		
		Mean of Squares		
منابع تغییر	درجه آزادی	چگالی ظاهری خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر	چگالی ظاهری خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر	چگالی ظاهری خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر
S.O.V	df	Apparent density of soil at a depth of 20 cm	Apparent density of soil at a depth of 40 cm	Apparent density of soil at a depth of 60 cm
تکرار	2	0.003 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Replication				
خاک‌ورزی	2	0.103 ^{**}	0.071 ^{**}	0.09 ^{**}
Tillage				
خطای a	4	0.003	0.001	0.001
Error a				
کود	5	0.2 ^{**}	0.24 ^{**}	0.306 ^{**}
Fertilizer				
خاک‌ورزی × کود	10	0.05 ^{**}	0.037 ^{**}	0.053 ^{**}
Fertilizer × Tillage				
خطای b	30	0.001	0.000	0.000
Error b				
ضریب تغییرات		15.5	8.9	7.3
CV (%)				

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns, **: Non- significant, significant at 1% probability levels, respectively



میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are not significantly different from each other based on LSD test at the level of 5% probability.

شکل ۲- اثر انواع کود بر چگالی ظاهری خاک در عمق‌های ۲۰ (a)، ۴۰ (b) و ۶۰ (c) سانتی‌متر در سطوح مختلف خاک‌ورزی

Figure 2- Effect of fertilizer types on apparent density of soil at depths of 20 (a), 40 (b), and 60 (c) cm at different levels of tillage

تخلخل خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در تخلخل خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر نشان داد که کاربرد دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک، بیش‌ترین میزان تخلخل خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر (با ۸۲ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کود دامی ۵۰ تن در هکتار در خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک نداشت (شکل ۳a).

مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود در تخلخل خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر نشان داد که با کاربرد تیمار کود دامی ۵۰ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک، بیش‌ترین مقدار تخلخل خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر (با ۸۶/۸ درصد افزایش) در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول حاصل شد و کمترین مقدار (با ۱۵/۹ درصد کاهش) مربوط به تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی با دیسک بود (شکل ۳b). با کاربرد دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با پنجه‌غازی + دیسک، بیش‌ترین تخلخل خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر (با ۱۱۹ درصد افزایش) در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول به‌دست آمد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول بود (شکل ۳c).

به منظور حفظ ساختمان، رطوبت و حاصلخیزی خاک، سطح خاک‌ورزی پنجه‌غازی + دیسک همراه با تیمار دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از نظر تخلخل خاک در هر سه عمق مناسب بود. با توجه به اینکه در این شرایط خاک‌ورزی بین سطوح کودی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ بنابراین در صورتی که کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی نیز مدنظر قرار بگیرد کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار برای بهبود تخلخل خاک در هر سه عمق مناسب بود. در شرایط کاهش خاک‌ورزی، با توجه به اینکه خاک‌ورزی به میزان کم صورت می‌گیرد در کنار منافذ درشت، منافذ ریز در خاک بیش‌تر ایجاد می‌شوند و وجود بقایای گیاه قبلی و کود دامی نیز در تشکیل و افزایش این منافذ ریز دخیل هستند و در نهایت با افزایش فعالیت میکروبی و حضور جانداران مقدار تخلخل خاک افزایش می‌یابد.

در مطالعه‌ای روی آفتابگردان مشخص شد که چگالی ظاهری خاک به طور قابل توجهی تحت تأثیر خاک‌ورزی و مدیریت پسماند قرار گرفت، اما تحت تأثیر سطوح نیتروژن قرار نگرفت. محققان دلیل این امر را محتوای بیشتر کربن آلی خاک در اثر دفن بقایای گیاهی در خاک نسبت دادند و عدم تأثیر نیتروژن را به دلیل کاربرد کود شیمیایی اوره دانستند (Safahani Langeroodi, 2015).

مشخص شده است که چگالی ظاهری خاک در شرایط بدون خاک‌ورزی به دلیل تخلخل کمتر و تراکم بیشتر خاک افزایش یافت (Agostini *et al.*, 2012). گزارش شده است که در میان تیمارهای خاک‌ورزی اختلاف آماری در چگالی ظاهری خاک نبود، با این حال، چگالی ظاهری خاک در عمق ۳۰-۱۰ سانتی‌متری خاک در شرایط بدون خاک‌ورزی کاهش یافت (Sessiz *et al.*, 2008). در آزمایش انواع خاک‌ورزی روی آفتابگردان در دو سال زراعی ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ مشخص شد که در هر سطح خاک‌ورزی وقتی عمق خاک افزایش یافت چگالی ظاهری خاک در هر دو سال کاهش یافت و چگالی ظاهری در سال دوم بیش‌تر از سال اول بود و دلیل تفاوت بین آن‌ها را به تأثیر آبیاری پس از خاک‌ورزی در سال دوم نسبت دادند (Sessiz *et al.*, 2008). هم‌چنین دلیل آن می‌تواند احتمالاً فشردگی ناشی از کشت باشد (Roscoe and Buurman, 2003). گزارش شده است که پس از ۱۴ سال تفاوت معنی‌داری در چگالی ظاهری تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول در عمق ۲۰ سانتی‌متر وجود نداشت (Fuentes *et al.*, 2009). فشردگی خاک باعث افزایش چگالی ظاهری و کاهش حجم منافذ می‌شود. اگر چگالی ظاهری خیلی زیاد شود، می‌تواند رشد گیاه را محدود کند و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه شود (Sessiz *et al.*, 2008).

تخلخل خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود و برهمکنش خاک‌ورزی و کود در سطح احتمال یک درصد تخلخل خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۵). اثر خاک‌ورزی بر تخلخل خاک در عمق‌های ۲۰ و ۶۰ سانتی‌متر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود ولی بر

جدول ۵- تجزیه واریانس تخلخل خاک در عمق‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، وزن هزاردانه و عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر خاک‌ورزی و کود
 Table 5- Analysis of variance of soil porosity at depths of 20, 40, and 60 cm, 1000-seed weight, and seed yield of sunflower under the influence of tillage and fertilizer

منابع تغییر	درجه آزادی	Mean of Squares			وزن هزاردانه	عملکرد دانه
		تخلخل خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر	تخلخل خاک در عمق ۴۰ سانتی‌متر	تخلخل خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر		
S.O.V	df	Soil porosity at a depth of 20 cm	Soil porosity at a depth of 40 cm	Soil porosity at a depth of 60 cm	1000-seed weight	Seed yield
تکرار	2	0.019 ^{ns}	0.147 [*]	0.02 ^{ns}	0.189 [*]	496.299 ^{ns}
Replication						
خاک‌ورزی	2	0.053 [*]	0.065 ^{ns}	0.081 [*]	52.989 ^{**}	1918646.2 ^{**}
Tillage						
خطای a	4	0.005	0.013	0.006	0.451	368.544
Error a						
کود	5	0.195 ^{**}	0.246 ^{**}	0.24 ^{**}	59.027 ^{**}	2405380.5 ^{**}
Fertilizer						
خاک‌ورزی × کود	10	0.057 ^{**}	0.038 ^{**}	0.063 ^{**}	24.766 ^{**}	3619696.76 ^{**}
Fertilizer×Tillage						
خطای b	30	0.003	0.002	0.007	0.46	280.029
Error b						
ضریب تغییرات		7.02	5.7	10.2	2	0.3
CV (%)						

ns و ** و ***: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

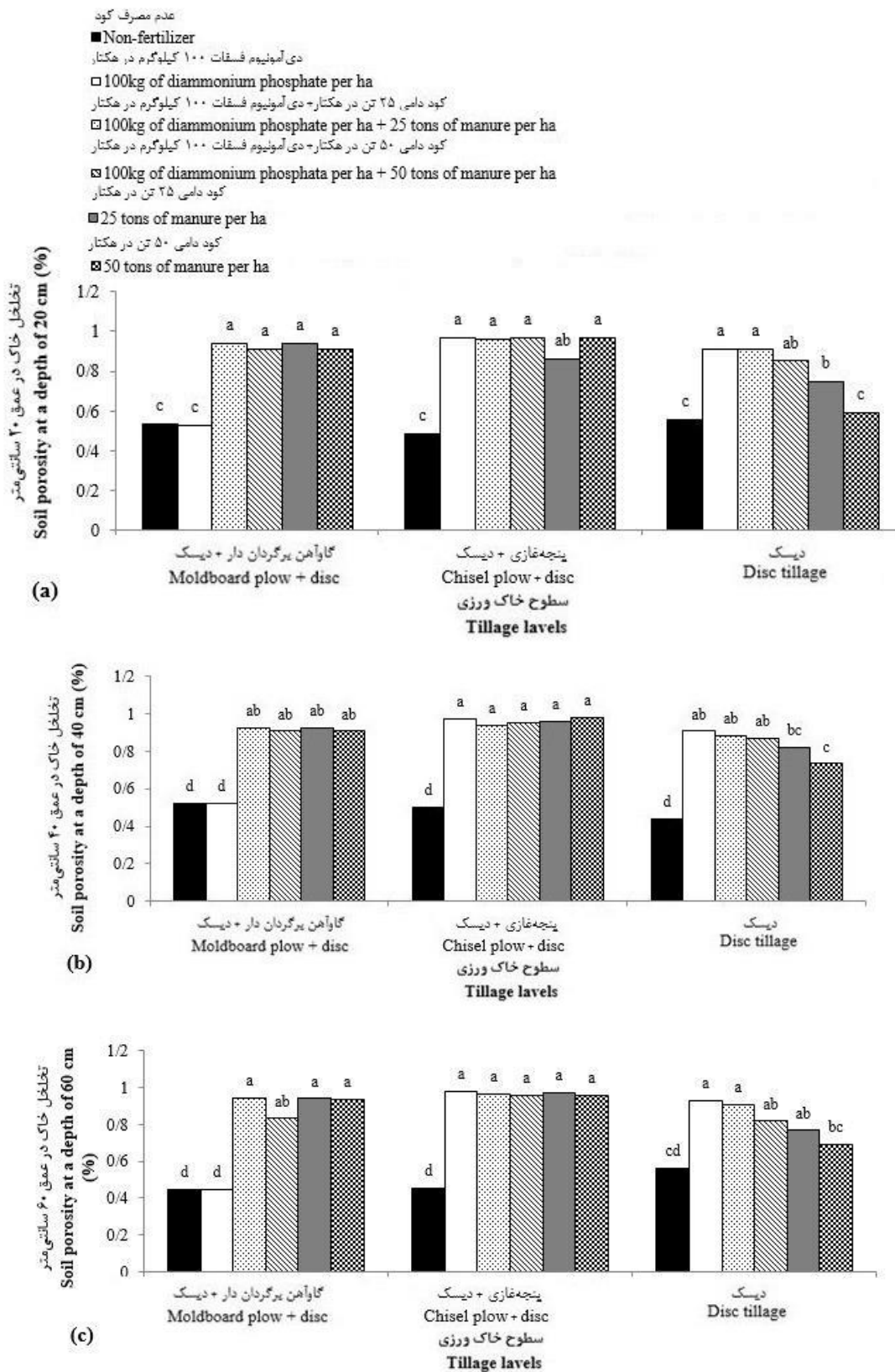
و افزایش تراکم خاک عنوان شده است (Strudley *et al.*, 2008).

در بعضی مطالعات گزارش شده که انواع خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی سنتی) تأثیر معنی‌داری بر تخلخل خاک ندارند (Puget and Lal, 2005). مشخص شده است که کود آلی از جمله دامی باعث افزایش تخلخل خاک می‌شود (Nouraein *et al.*, 2019).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن هزار دانه نشان داد که اثر خاک‌ورزی، اثر کود و برهمکنش خاک‌ورزی و کود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود نشان داد که در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک، تیمار کود دامی ۲۵ تن در هکتار دارای بیش‌ترین وزن هزار دانه (با ۱۴/۲ درصد افزایش) در مقایسه با عدم تیمار مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول بود (شکل ۴).

در مطالعه بررسی تأثیر خاک‌ورزی بر تخلخل خاک مشاهده شد که خاک‌ورزی عموماً تخلخل خاک را افزایش می‌دهد و در شرایط بدون خاک‌ورزی تعداد منافذ درشت خاک کاهش و تعداد منافذ ریز که مهم‌ترین منافذ برای تأمین رطوبت گیاه می‌باشند، در خاک افزایش می‌یابد (Veiga *et al.*, 2007). در بررسی تخلخل خاک در اثر انواع خاک‌ورزی مشخص شد که در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک، تخلخل در خاک‌ورزی متداول بیش‌تر از بدون خاک‌ورزی بود و در بقیه عمق‌ها، تخلخل در شرایط بدون خاک‌ورزی بیش‌تر از خاک‌ورزی متداول بود و این کاهش تخلخل خاک در عمق‌های بیشتر در شرایط خاک‌ورزی متداول را به ایجاد یک سخت کفه فشرده در زیر عمق خاک‌ورزی ناشی از ترافیک مرتبط با خاک‌ورزی نسبت دادند (Rabi *et al.*, 2011). وجود درصد حجمی بالای خلل و فرج ریز در شرایط بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی باعث می‌شود آب بیش‌تری در شرایط غیراشباع در خاک حفظ شود. روش بدون خاک‌ورزی تخلخل خاک را در عمق‌های سطحی کاهش داده و فشردگی، چگالی ظاهری خاک و هدایت هیدرولیکی را افزایش می‌دهد که ناشی از کاهش منافذ درشت

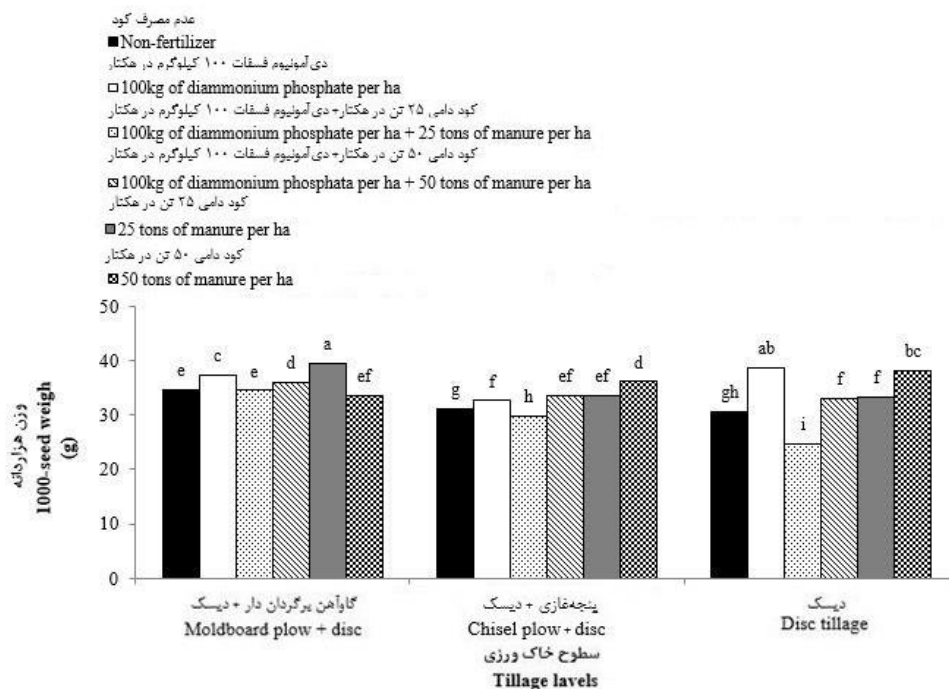


میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 Means with similar letters are not significantly different from each other based on LSD test at the level of 5% probability.
 شکل ۳- اثر انواع کود بر تخلخل خاک در عمق‌های ۲۰ (a)، ۴۰ (b) و ۶۰ (c) سانتی‌متر در سطوح مختلف خاک‌ورزی

Figure 3- Effect of fertilizer types on soil porosity at depths of 20 (a), 40 (b), and 60 (c) cm at different levels of tillage

سطح خاک‌ورزی دیسک به همراه کود دامی ۵۰ تن در هکتار مناسب بود. می‌توان اذعان کرد که خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک موجب کاهش تراکم خاک، بهبود شرایط تهویه‌ای خاک و نفوذ بهتر ریشه به اعماق خاک می‌شود که با افزایش جذب آب و عناصر در این شرایط توسط ریشه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه آفتابگردان بهبود می‌یابد.

اگرچه بیش‌ترین تأثیر مثبت بر وزن هزار دانه با تیمار کود دامی ۲۵ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک به دست آمد، با این حال به منظور حفظ ساختمان، رطوبت و حاصلخیزی خاک، خاک‌ورزی دیسک با کود دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مناسب بود و بعد از آن با رعایت کشاورزی پایدار، حفظ ساختمان خاک، رطوبت و حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی،



شکل ۴- اثر انواع کود بر وزن هزار دانه آفتابگردان در سطوح مختلف خاک‌ورزی

Figure 4- Effect of fertilizer types on 1000-seed weight of sunflower at different levels of tillage
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are not significantly different from each other based on LSD test at the level of 5% probability.

(2016).

کاربرد سطوح مختلف دی‌آمونیم فسفات در مراحل مختلف رشد، وزن هزار دانه آفتابگردان را افزایش داد (Hassani et al., 2012). گزارش شده است که بیش‌ترین وزن هزاردانه در گیاه آفتابگردان از تیمارهای ترکیبی کود دامی و شیمیایی (پنج تن در هکتار کود گاوی + ۹۲ کیلوگرم در هکتار کود اوره) حاصل گردید (Akbari et al., 2011). آزادسازی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و منیزیم از کود دامی مورد استفاده در این طرح می‌تواند دلیلی بر افزایش وزن هزار دانه آفتابگردان باشد. در این زمینه گزارش شده است که آزادسازی عناصر به ویژه فسفر و نیتروژن در مرحله پر شدن دانه‌ها دلیل افزایش وزن

در مطالعه‌ای با بررسی سطوح مختلف خاک‌ورزی روی گیاهان آفتابگردان و ذرت مشخص شد که وزن هزار دانه این گیاهان در شرایط بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی حداقل و متداول کم‌تر بود و بین خاک‌ورزی حداقل و متداول تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت (Roosbeh and Pooskani, 2003). بیش‌ترین وزن هزار دانه گندم در شرایط خاک‌ورزی حداقل و کم‌ترین مقدار در شرایط بدون خاک‌ورزی مشاهده شد که کاهش وزن هزار دانه در شرایط بدون خاک‌ورزی می‌تواند به دلیل کاهش دمای خاک در این شرایط نسبت داد که موجب کاهش مراحل مختلف رشد و نمو گیاه و نیز کاهش سطح فتوسنتز کننده می‌شود (Sepide dam and Ramroudi,)

تن در هکتار مناسب بود. در شرایط کاهش خاک‌ورزی، مقداری بقایای گیاهی در سطح خاک باقی مانده که موجب افزایش رطوبت خاک می‌شود و کود دامی با گذشت زمان تجزیه شده و عناصر غذایی را به خاک اضافه می‌کند؛ افزایش فراهمی عناصر در خاک به‌ویژه در مرحله پر شدن دانه و نیز افزایش کلروفیل که منجر به بهبود فتوسنتز گیاه می‌شود و اسیمیلات‌های لازم برای تشکیل گل و پر شدن دانه را تأمین می‌کند، می‌توانند منجر به افزایش عملکرد دانه شوند. هم‌چنین افزایش نفوذ آب و رشد ریشه، کاهش تلفات آب از طریق تبخیر از خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و کاهش شستشوی کاتیون‌های خاک می‌توانند سبب افزایش عملکرد دانه شوند.

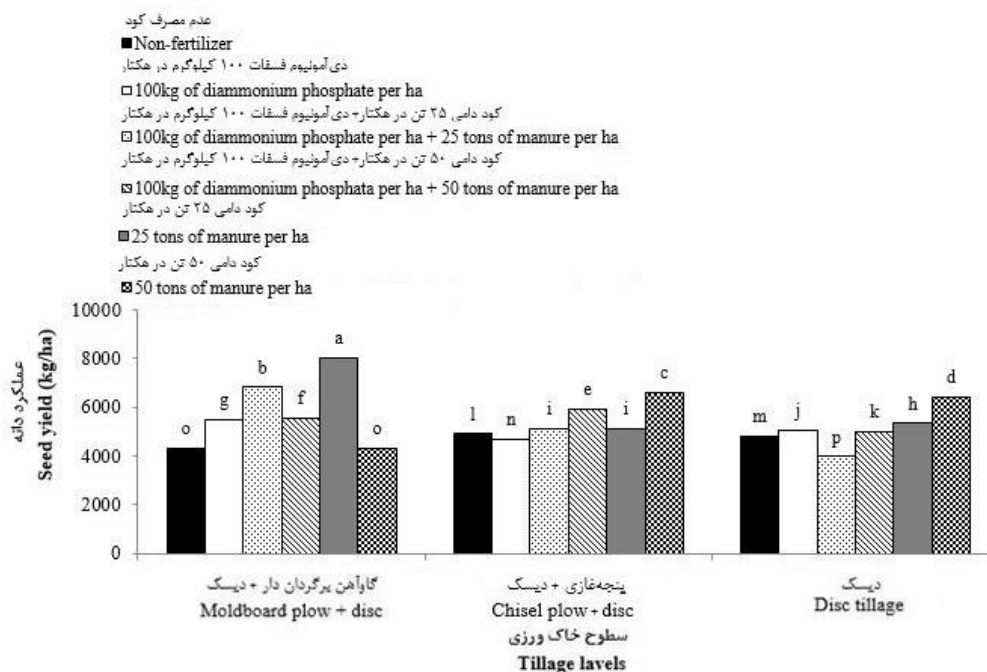
عملکرد دانه آفتابگردان ارتباط نزدیکی با تعداد گل‌های تلقیح شده دارد و هر چه طبق بزرگ‌تر، تعداد گل‌های طبق زیاده‌تر و تلقیح موفقیت‌آمیز باشد، عملکرد دانه نیز بیش‌تر خواهد شد (Thavaprakash *et al.*, 2003). در آزمایشی روی ذرت با کاربرد سطوح مختلف خاک‌ورزی مشخص شد که عملکرد دانه در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن پنجه‌گازی نسبت به خاک‌ورزی متداول بیش‌تر بود (Wasaya *et al.*, 2017).

هزار دانه با کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود مرغی + ۲۰ درصد کود شیمیایی توصیه شده می‌باشد (Fallah *et al.*, 2007).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه حاکی از معنی‌دار بودن اثرات خاک‌ورزی و کود و برهمکنش خاک‌ورزی و کود در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). مقایسه میانگین برهمکنش خاک‌ورزی و کود نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (با ۸۴/۸ درصد افزایش) با کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود در شرایط خاک‌ورزی متداول به دست آمد (شکل ۵). کم‌ترین مقدار عملکرد دانه با میانگین ۴۳۳۱ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار + دیسک به‌دست آمد (شکل ۵).

با توجه به رعایت کشاورزی پایدار، حفظ ساختمان خاک، رطوبت و حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، سطح خاک‌ورزی پنجه‌گازی + دیسک به همراه کود دامی ۵۰



میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters are not significantly different from each other based on LSD test at the level of 5% probability.

شکل ۵- اثر انواع کود بر عملکرد دانه آفتابگردان در سطوح مختلف خاک‌ورزی

Figure 5- Effect of fertilizer types on seed yield of sunflower at different levels of tillage

افزایش عملکرد دانه آفتابگردان شد (Ahmadi *et al.*, 2012). همچنین میزان نیتروژن موجود در دی‌آمونیم فسفات باعث افزایش دوره رشد رویشی و سبزمانی گیاه شده که این به نوبه خود موجب افزایش میزان فتوسنتز و مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه می‌شود. گزارش شده است کاربرد سطوح مختلف دی‌آمونیم فسفات در مراحل مختلف رشد، عملکرد دانه آفتابگردان را افزایش داد (Hassani *et al.*, 2012)

نتیجه‌گیری کلی

در کل، کاربرد کود دامی ۲۵ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان دار + دیسک منجر به افزایش ۱۴/۲ و ۸۴/۸ درصدی به ترتیب در وزن هزار دانه و عملکرد دانه آفتابگردان در مقایسه با عدم مصرف کود در شرایط خاک‌ورزی متداول شد. بیش‌ترین رطوبت حجمی خاک مربوط به کاربرد کود دی‌آمونیم فسفات ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با دیسک بود. با این حال، با در نظر گرفتن حفظ ساختمان خاک، رطوبت و حاصلخیزی خاک و نیز کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، تیمار کود دامی ۵۰ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با دیسک نسبت به سایر تیمارها برتری داشت زیرا باعث افزایش وزن هزار دانه (۱۰/۴ درصد) و رطوبت حجمی خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متر (۱۲۱ درصد) شد و از طریق افزایش این صفات منجر به بهبود عملکرد دانه (۴۷/۷ درصد) شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه در آفتابگردان می‌تواند از طریق بهبود شرایط خاک (کاهش خاک‌ورزی به ویژه دیسک و کوددهی مناسب از نوع کود دام ۵۰ تن در هکتار) و به وسیله افزایش رطوبت حجمی خاک و افزایش قدرت مخزن (وزن هزار دانه) افزایش یابد. از این رو، کاربرد کود دامی ۵۰ تن در هکتار در شرایط خاک‌ورزی با دیسک برای افزایش عملکرد دانه و بهبود ویژگی‌های خاک توصیه می‌گردد.

گزارش شده است که روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه گندم ایجاد نکردند و در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی عملکرد کمتری نسبت به خاک‌ورزی غیرحفاظتی تولید شده است. این عملکرد کم‌تر در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی به سفتی خاک در اعماق ۷ تا ۲۰ سانتی‌متری و کاهش نفوذ ریشه به اعماق بیش‌تر خاک نسبت داده شده است (Mousavi Talab and Habibi Asl, 2014)؛ بنابراین می‌توان افزایش عملکرد دانه آفتابگردان را در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان دار + دیسک به این دلیل نسبت داد که خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان دار + دیسک موجب کاهش تراکم خاک، بهبود شرایط تهویه‌ای خاک و نفوذ بهتر ریشه به اعماق خاک می‌شود که با افزایش جذب آب و عناصر در این شرایط توسط ریشه، رشد رویشی گیاه و در نهایت عملکرد دانه بهبود می‌یابد (Nouraein *et al.*, 2019).

کاربرد کود دامی سبب بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب، تهویه و زهکشی مناسب، حاصلخیزی و افزایش ماده آلی خاک، آزادسازی و فراهمی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم شده و تأثیر مثبت بر محرک‌های رشدی مثل اکسین داشته است (Ahmad and Jabeen, 2009; Ahmadi *et al.*, 2012) که در نتیجه محتوی کلروفیل و میزان فتوسنتز را افزایش داده و نهایتاً موجب افزایش عملکرد دانه آفتابگردان شده است. علاوه بر این کود دامی از طریق جلوگیری از آب‌شویی نیتروژن، افزایش فعالیت زیستی و بهبود ساختمان خاک می‌تواند موجب افزایش عملکرد شود (Roesty *et al.*, 2006). گزارش شده است که مصرف کود دامی و نیز ترکیب آن با کود شیمیایی باعث حاصلخیزی خاک، بهبود جذب عناصر و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در ذرت شده است (Majidian *et al.*, 2008). کاربرد کودهای آلی باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه آفتابگردان شد (Ahmad and Jabeen, 2009). کاربرد کود گاوی ۳۰ و ۴۵ تن در هکتار باعث

References

- Adeleke, B.S. and Babalola, O.O., 2020. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science Nutrition*, 8(9), pp.4666-4684. doi: 10.1002/fsn3.1783
- Ahmadi, S.h., Hassanzadeh Ghort Tappeh, A. and Aghaei Okhchelar, R., 2013. Application of cattle manure on quantitative and qualitative traits in hybrid sunflower cultivars in Urmia region. *Journal of Crop Production*

- and Processing*, 2(6), pp.1-8. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1391.2.6.1.1**
- Ahmad, R. and Jabeen, N., 2009. Demonstration of growth improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by the use of organic fertilizers under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 41(3), pp.1373-1384.
- Akbari, P., Ghalavand, A. Modarres Sanavy, S.A.M. and Agha Alikhani, M., 2011. The effect of biofertilizers, nitrogen fertilizer and farmyard manure on grain yield and seed quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricultural Technology*, 7(1), pp.173-184.
- Arriaga, F.J., Guzman, J. and Lowery, B., 2017. Conventional agricultural production systems and soil functions. In: Al-Kaisim, M.M., Lowery, B. (Eds.), *Soil Health and Intensification of Agroecosystems*. Academic Press, Cambridge, pp. 109-125.
- Asghari Meidani, J., Karimi, E. and Pormohammad A.R., 2013. Effects of different tillage and cultivation practices on soil moisture and safflower yield in rotation with wheat in rainfed regions. *Quarterly Water and Soil Science*, 23(1), pp.237-245. [In Persian].
- Blake, H., 1995. Methods of soil Analysis, Part II, Physical Properties. Agronomy Handbook No 9, Page, A.L. (Ed.), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp 364.
- Copeck, K., Filipovic, D., Husnjak, S., Kovacev, I. and Kosutic, S., 2015. Effects of tillage systems on soil water content and yield in maize and winter wheat production. *Plant, Soil and Environment*, 61(5), pp.213-219. **doi: 10.17221/156/2015-pse**
- Danielson, R.E. and Sutherland, P.L., 1986. Porosity ; in :Klut. A. Method of soil analysis,part 1-Physical and mineralogical method .part one. American Society of Agronomy, INC. Soil Science Society of America, INC. Madison Wisconsin USA. pp. 377-381.
- Elemike, E.E., Uzoh, I.M., Onwudiwe, D.C. and Babalola, O.O., 2019. The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. *Applied Sciences*, 9(3), 499. **doi: 10.3390/app9030499**
- Fallah, S., Ghalavand, A. and Khajehpour, M.R., 2007. Effects of animal manure incorporation methods and its integration with chemical fertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in Khorramabad, Lorestan. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(40), pp.233-242. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1386.11.40.19.4**
- Fuentes, M., Govaerts, B., De Leon, F., Hidalgo, C., Dendooven, L., Sayre, K.D. and Etchevers, J., 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal of Agronomy*, 30(3), pp.228-237. **doi: 10.1016/j.eja.2008.10.005**
- Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A. and Fanaie, H., 2017. The effect of tillage systems and different sources of fertilizer on corn yield and soil nutrients. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 21(3), pp.97-108. [In Persian]. **doi: 10.29252/jstnar.21.3.97**
- Guo, L., Wu, G., Li, Y., Li, C., Liu, W., Meng, J., Liu, H., Yu, X. and Jiang, H., 2016. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a

- wheat–maize rotation system in Eastern China. *Soil and Tillage Research*, 156, pp.140-147. **doi: 10.1016/j.still.2015.10.010**
- Hassani, S.h., Narimani, F. and Akbari, N., 2012. The effect of different levels of diamonium phosphate fertilizer on different stages of sunflower plant growth in Khorramabad. *Journal of Applied Crop Research*, 25, pp.67-72. [In Persian].
- Hemke, P.H. and Spark, D.L., 1996. Potassium. In D. L. Sparks, et al. (Eds.), *Method of soil analysis* (pp. 551-574). Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc. *American Society of Agronomy, Inc.*
- Houshyar, E. and Esmailpour, M., 2020. The impacts of tillage, fertilizer and residue managements on the soil properties and wheat production in a semi-arid region of Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(3), pp.225-232. **doi: 10.1016/j.jssas.2018.10.001**
- Jaradat, A.A., 2016. Breeding oilseed crops for climate change. In: *Breeding oilseed crops for sustainable production*. Academic Press, pp. 421-472.
- Kiafar, R., Akbazadeh, M. and Khommami, A.M., 2013. Investigation of the effect of some organic fertilizers on the oil of lemon verbena (*Lippia citriodora* L.) and its antibacterial effects. *International Journal of Farming and Allied Science*, 2(20), pp.866-871.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Journal*, 42, pp.421-428.
- Majidian, M., Qalavand, A., Karimian, N. and Kamgar Haghighi, A.A., 2008. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. *Crop Production (Electronic Journal of Crop Production)*, 1(2), pp.67-85. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.2008739.1387.1.2.5.8**
- Malhi, S.S., Lemke, R.L., Wang, Z., Farrell, R. and Chhabra, B.S., 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield and nutrient uptake, soil quality and greenhouse gas emissions. *Soil Tillage Research*, 90(1), pp.171-183. **doi:10.1016/j.still.2005.09.001**
- Marshall, T.J., Holmes, J.W. and Rose, C.W., 1999. *Soil Physics* (3 ed.). Syndicate of University of Cambridge.
- Mousavi Talab, S.F. and Habibi Asl, J., 2014. Investigation of the effect of different tillage methods on yield and water consumption in wheat cultivation in Khuzestan region. *Journal of Agriculture (Research and Construction)*, 103, pp.55-60. [In Persian]. **doi:10.22092/aj.2014.101205**
- Nargesi Alaspour, N., Akhsari, D. and Fatahi, B., 2017. Interaction zeolite and compost on soil characteristics and performance of Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 4(9), pp.151-164. [In Persian].
- Nouraein, M., Skataric, G., Spalevic, V., Dudic, B. and Gregus, M., 2019. Short-term effects of tillage intensity and fertilization on sunflower yield, achene quality, and soil physicochemical properties under semi-arid conditions. *Applied Sciences*, 9(24), pp.5482. **doi:10.3390/app9245482**
- O'Brien, P.L. and Daigh, A.L.M., 2019. Tillage practices alter the surface energy balance – A review. *Soil and Tillage Research*, 195, pp.104354. **doi:10.1016/j.still.2019.104354**
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by

- extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture*, Washington, DC.
- Puget, P. and Lal, R., 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio affected by tillage and land use. *Soil Tillage Research*, 80, pp.201-213. doi:10.1016/j.still.2004.03.018
- Rabi, G.R., Li, H., He, J., Wang, Q. and Lu, C., 2011. Influence of no tillage controlled traffic system on soil physical properties in double cropping area of North China plain. *African Journal Biotechnology*, 11(4), pp.856-864. doi:10.5897/ajb11.2221
- Rezaenejad, Y. and Afyuni, M., 2001. Effect of organic matter on soil chemical properties and corn yield and elemental uptake. *Journal of Water and Soil Science*, 4(4), pp.19-29. [In Persian].
- Roesty, D., Gaur, R. and Johri, B.N., 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Journal of Plant Science*, 38, pp.1111-1120. doi:10.1016/j.soilbio.2005.09.010
- Roosbeh, M. and Pooskani, M.A., 2003. The effect of different tillage methods on wheat yield when in rotation with corn. *Iranian Journal Agricultural Science*, 34(1), pp.29-38. [In Persian].
- Roscoe, R. and Buurman, P., 2003. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of cerrado oxisol. *Soil Tillage Research*, 70, pp.107-119.
- Safahani Langeroodi A.R., 2015. Sunflower and soil response to seven years of tillage, residue management and nitrogen fertilizer. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(2), pp.194-202. doi:10.17557/tjfc.36906
- Seddaiu, G., Iocola, I., Farina, R., Orsinid, R., Iezzid, G. and Roggero, P.P., 2016. Long term effects of tillage practices and N fertilization in rainfed Mediterranean cropping systems: Durum wheat, sunflower and maize grain yield. *European Journal of Agronomy*, 77, pp.166-178. doi: 10.1016/j.eja.2016.02.008
- Sepide dam, S. and Ramroudi, M., 2016. Effects of tillage systems and nitrogen fertilizer on yield, yield components and seed protein of wheat. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, 2(2), pp.33-46. [In Persian].
- Sessiz, A., Sogut, T., Alp, A. and Esgici, R., 2008. Tillage effects on sunflower (*Helianthus annuus* L.) emergence, yield, quality, and fuel consumption in double cropping system. *Journal of Central European Agriculture*, 9(4), pp.697-710.
- Shamabadi, Z.A., 2013. Effect of conservation tillage on soil moisture retention and yield of oil sunflower in rainfed conditions. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 23(4), pp.1-8. [In Persian].
- Shirazi, M.P., Samavat, S., Zolfi Bavariani, M., Fakhri, F. and Moradi, G.H., 2012. Effects of organic matter from different sources on soil physico-chemical properties and crop yield in Boushehr province. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(4), pp.285-293. [In Persian]. doi:10.22092/ijsr.2012.126493
- Strudley, M.W., Green, T.R. and Ascough II, J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Tillage Research*, 99, pp.4-48. doi:10.1016/j.still.2008.01.007
- Tesfahunegn, G.B., 2019. Soil moisture response to short-term inorganic fertilization on Tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) crop varieties in northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, pp.5212309. doi:

10.1155/2019/5212309

Thavaprakash, N., Senthilkumar, G., Sivakumar, S.D. and Raju, M., 2003. Photosynthetic attributes and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by different levels and ratios of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Acta Agronomica Hungarica*, 51, pp.149-155.

Usman, K., Ud Din, S., Ullah, I., Ghulam, S., Imam Malik, M.W. and Saad, M., 2020. Response of sunflower to sulfur rate and time of application under two tillage systems in a silty clay soil of Dera Ismail Khan Pakistan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(11), pp.1423-1433. **doi:**

10.1080/00103624.2020.1763390

Veiga, M., Horn, R., Reinert, D.J. and Reichert, J.M., 2007. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. *Soil Tillage Research*, 92, pp.104-113.

Wang, B., Liu, W. and Xue, Q., 2013. Soil water cycle and crop water use efficiency after long-term nitrogen fertilization in loess plateau. *Plant, Soil and Environment*, 59(1), pp.1-7. **doi:10.17221/207/2012-pse**

Wasaya, A., Tahir, M., Ali, H., Hussain, M., Yasir, T.A., Sher, A., Ijaza, M. and sattar, A., 2017. Influence of varying tillage systems and nitrogen application on crop allometry, chlorophyll contents, biomass production and net returns of maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, 170, pp.18-26.

DOI:10.1016/j.still.2017.02.006

Zhang, H. and Schroder, J., 2014. Animal manure production and utilization in the US. In: He Z., Zhang H. (eds) Applied manure and nutrient chemistry for sustainable agriculture and environment. *Springer*, Dordrecht.

Zhou, Y., Zhao, W., Lai, Y., Zhang, B. and Zhang, D., 2020. Edible plant oil: Global status, health issues, and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 11, pp.1315. **doi: 10.3389/fpls.2020.01315**

Evaluation of sunflower seed yield and soil properties under the influence of chemical and manure fertilizers and different tillage methods

Siavash Aryafar^{1*}, Alireza Sirousmehr², Isa Khammari², Seyed Ahmad Ghanbari², Esmael Seyedabadi²

¹ PhD Graduate, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

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

*Corresponding Author: asirousmehr@uoz.ac.ir

Received: 14 November 2021 Accepted: 10 December 2021 DOI: 10.22034/CSRAR.2023.315029.1155

Abstract

Introduction: Conventional agriculture is based on two related objectives, namely, to maximize both production and income. Soil as a culture medium and reservoir of mineral elements is the most important factor in plant production. Therefore, tillage operations with a positive effect on biological, physical and chemical properties of soil can have a positive effect on crop production. Conservation tillage saves production time and costs, reduces labor demand, increases production against less input, protects soil and water, reduces erosion, improves soil structure and preserves more organic matter by preserving more crop residues. Proper nutrition of the plant using livestock and chemical fertilizers to increase the quantity and quality of crops is very important. Combined use of chemical and livestock fertilizers could reduce the toxic effects of sodium and chlorine in saline soils. In addition to increasing yield, increase the absorption efficiency of nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of different tillage systems and the combination of chemical and livestock fertilizers on some properties of sunflower, an experiment was conducted in the form of split plots with a randomized complete block design in three replications at the research farm of University of Zabol in 2019-2020. The main factor of tillage methods included moldboard plow + disc, chisel plow + disc, and disc. Sub-factor of fertilizer levels included non-fertilizer, 100 kg/ha diamonium phosphate, 25 tons/ha manure + 100 kg/ha diamonium phosphate, 50 tons/ha manure + 100 kg/ha diamonium phosphate, 25 tons/ha manure, 50 tons/ha manure. The specifications of the tools used in this research are: Reversible plow with three mounting miners of working type with a working width of 90 cm and a working depth of 30 cm, 9-row gas-claw without spring with mounting type of working width 2 Meters and working depth 20 cm, mounted tandem disk with 14 congressional edge plates in the first row and 12 flat edge plates in the second row with a working width of 3 meters and a working depth of 15 cm. Before starting the experiment, in order to evaluate the physical and chemical properties of the soil of the test site, a number of random soil samples from the depth of 0 to 30 cm were prepared and combined and sent to the soil analysis laboratory of the Faculty of Water and Soil, University of Zabol. Soil properties were transferred.

Results and Discussion: The results showed that the highest amount was obtained with the application of 100 kg/ha diamonium phosphate in tillage conditions with chisel plow + disc for soil porosity at a depth of 20 cm (82%), with the application of 50 tons/ha manure in tillage conditions with chisel plow + disc for soil porosity at a depth of 40 cm (86.8%), and with the application of 25 tons/ha manure in tillage conditions with moldboard plow + disc for 1000-seed weight (14.2%) and seed yield (84.8%). and grain yield in sunflower can be increased by improving soil conditions (reducing tillage, especially disc and suitable fertilizer of 50 tons per hectare) and by increasing soil moisture and increasing reservoir strength (1000-seed weight) .

Conclusion: According to our finding In this regard, if the reduction of chemical inputs is considered, the application of 25 tons of manure per hectare in disc tillage conditions is recommended to increase crop residues in the soil surface, reduce runoff and maintain soil moisture. Also, in order to increase

grain yield and 1000-seed weight, the use of 25 tons of manure per hectare in conventional farming can be recommended.

Conclusion: The application of phosphate fertilizer significantly increased the absorption of elements. The application of biofertilizer also significantly increased the concentration of nitrogen, potassium, and phosphorus in bean plants. In general, the results of this study showed that the use of biofertilizer and phosphate fertilizer could reduce the adverse effects of drought stress on bean plants and increase the absorption of elements in bean organs.

Keywords: Organic fertilizer, Plowing, Porosity, Seed thousand weight, Soil structure

برآورد مساحت اراضی کشاورزی سوخته شده با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات

جغرافیایی (مطالعه موردی، شهرستان سرپل ذهاب)

سهیلا اسدی^۱، علیرضا باقری^{۲*}، آرش آذری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: a.bagheri@razi.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.401524.1347

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

چکیده

سوزاندن بقایای گیاهی یکی از عوامل تأثیرگذار بر تولید گازهای گلخانه‌ای است. پایش میزان تولید این گازها در یک منطقه می‌تواند در کاهش تولید آن‌ها حائز اهمیت باشد. این تحقیق با هدف برآورد مساحت اراضی زراعی که بقایای محصول آن پس از برداشت سوزانده شده‌اند در سال زراعی ۹۶-۹۵ در استان کرمانشاه شهرستان سرپل ذهاب انجام شد. از مزارع گندمی که بقایا پس از برداشت رها شده و آن‌هایی که بقایای پس از برداشت سوزانده شدند نمونه‌برداری انجام و مختصات جغرافیایی هر مزرعه ثبت شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ۸، LANDSAT سنجنده OIL/TIRS و انجام اصلاحات به روش FLAASH، برای بهترین تفکیک پذیری از روش‌های ترکیب باندی شاخص مطلوبیت (OIF)، PCA و MNF استفاده شد و طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش حداکثر مشابهت صورت گرفت. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی تصاویر به نقاط سوخته و نسوخته همبستگی بالا و معنی‌داری با نمونه‌برداری صحرائی داشت که در این میان روش ترکیب باندی OIF (ضرایب فی=۰/۸۰، کرامر=۰/۸۰ و ضریب وابستگی=۰/۶۲) از بیشترین دقت برخوردار بود. بر این اساس مساحت زمین‌هایی که بقایای گندم در آن‌ها سوزانده شده بود ۷۳۸۰ هکتار برآورد شد که ۵۶ درصد از اراضی آبی منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. سوزاندن بقایای این حجم از مزارع شهرستان علاوه بر ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی در منطقه می‌تواند پایداری تولید محصولات کشاورزی و باروری خاک را نیز با چالش روبرو کند، از این‌رو توجه بیشتر به این مسئله و اتخاذ سیاست‌های اصولی در این ارتباط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، سنجش آلاینده، سوزاندن بقایا، گازهای گلخانه‌ای

مقدمه

سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی امر بسیار مهمی به شمار می‌آید، از این‌رو تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته، به‌طوری‌که نتایج تمامی این بررسی‌ها نشان می‌دهد که سوزاندن بقایا تأثیر نامطلوبی بر سلامت انسان، محیط زیست و آب و هوا داشته و باعث تشعشع ذرات سنگین و از بین رفتن مواد آلی خاک می‌شود (Andreae and Merlet, 2001, Chang and Song, 2010, Cohen et al., 2005). آتش زدن بیوماس گیاهی مقادیر زیادی از آلاینده‌ها از جمله CO₂، CO، NO₂، CH₄، NH₃، ذرات جامد، هیدروکربن‌ها و سایر مواد را در جو منتشر می‌کند که می‌تواند تأثیرات محسوس محلی و منطقه‌ای را به همراه داشته باشد (Zhang et al., 2011). سوزاندن بقایای محصولات، مقادیر زیادی ذرات از جمله ذرات معلق PM_{2.5} و PM₁₀ را در جو آزاد می‌کند (Zhuang et al., 2018). این ذرات ریز می‌توانند به عمق ریه‌ها نفوذ کنند و با

بقایای گیاهی می‌توانند با جایگزینی و فراهم کردن عناصر غذایی در خاک، سبب حفظ قدرت باروری خاک، افزایش غلظت ماده آلی خاک، حفظ آب در خاک، کاهش تبخیر، تحریک فعالیت‌های میکروبی، افزایش دانه‌بندی، کاهش نوسانات دمایی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک و بهبود قدرت شخم‌پذیری خاک شوند (Blanco-Canqui and Lal, 2009). سوزاندن بقایای گیاهی با هدف رهایی از مشکلات بقایای گیاهی در جنگل‌ها و مزارع، از جمله روش‌های مهیاسازی سریع و کم هزینه زمین است (Hoffmann et al., 2001). این عمل باعث ایجاد دگرگونی زیست‌محیطی و در نتیجه منجر به تغییراتی در پوشش گیاهی و فون و فلور خاک می‌شود (Dyrness and Youngberg, 1957; Ketterings and Bigham; 2000, Shakesby, 2011). مطالعه در خصوص

محصولات کشاورزی، انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۰۷ به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به سال ۲۰۰۶ افزایش یافت (Sharma *et al.*, 2010).

امروزه سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی در کشور ما، خصوصاً در مکان‌هایی که به دلیل حاصلخیزی خاک کشت دوم انجام می‌شود (مانند شهرستان سرپل ذهاب)، به امری مرسوم تبدیل شده است. سنجش از دور، به ویژه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، به طور گسترده‌ای برای ارزیابی و پایش سوزاندن بقایای محصولات و اثرات آن بر کیفیت هوا و محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته است. سنجش از دور امکان نقشه‌برداری از نقاط مربوط به سوزاندن بقایای محصول را فراهم می‌کند (Chen *et al.*, 2017). علاوه بر این در دسترس بودن داده‌های ماهواره‌ای با وضوح‌های مکانی مناسب، آن را به ابزاری ارزشمند برای مدیریت و نظارت بر تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از سوزاندن بقایای محصول تبدیل کرده است (Shen *et al.*, 2021). از این رو جهت ارزیابی امکان شناسایی زمین‌های سوخته شده شهرستان سرپل ذهاب در تصاویر ماهواره Landsat 8 و مقایسه برخی روش‌های بارزسازی و انتخاب بهترین آن‌ها جهت تعیین مساحت زمین‌های سوخته شده در شهرستان سرپل ذهاب، این آزمایش به انجام رسید.

مواد و روش‌ها

شهرستان سرپل ذهاب با مساحتی معادل ۹۷۱۰۰ هکتار واقع در طول جغرافیایی ۵۲/۴۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۷۳/۳۴ درجه شمالی در غرب استان کرمانشاه، ایران قرار دارد. این شهرستان دارای دارای سه اقلیم متفاوت با زمستانی معتدل و تابستانی گرم و طولانی در قسمت مرکزی و زمستانی سرد و تابستانی خنک در قسمت شمالی و زمستانی ملایم و تابستانی گرم در قسمت شمال غربی با متوسط میزان بارندگی ۵۴۰ میلی‌متر در سال و متوسط دمای ۲۰/۳۵ درجه است (اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه). مساحت کل زمین‌های زیر کشت شهرستان، ۲۸۲۲۹ هکتار است که ۱۵۲۲۹ هکتار از آن به صورت دیم و ۱۳۰۰۰ هکتار آن به صورت آبی کشت می‌شود (فرمانداری شهرستان سرپل ذهاب، ۱۳۹۱). تناوب ذرت گندم مهم‌ترین الگوی تناوب زراعی در این منطقه است که پس از برداشت گندم در اواخر بهار، ذرت به عنوان کشت دوم به طور

بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی مرتبط هستند (Lan *et al.*, 2022). سوزاندن بقایای گیاهی عملاً باعث از بین رفتن کربن خاک می‌شود. در اثر این عمل به مرور زمان کربن آلی خاک حذف شده و مقدار بیشتری زغال و خاکستر تولید می‌گردد که در برابر تجزیه میکروبی مقاوم می‌باشد (Landi *et al.*, 2003). وجود بقایای محصول منجر به تنظیم رطوبت و دمای خاک می‌شود که این می‌تواند باعث افزایش قابل توجهی در فعالیت باکتری‌ها و میکروبی شود و به نفع میکروبیولوژی خاک باشد (Bhattacharya *et al.*, 2017). از این رو سوزاندن بقایای محصول می‌تواند منجر به کاهش فعالیت میکروبی خاک شود (Kadhem *et al.*, 2022).

امروزه پیشرفت علوم، قابلیت استفاده از فناوری‌های جدید در دریافت و پردازش داده‌ها از طریق سنجنده‌های سنجش از دور و به کارگیری نرم‌افزارها و سیستم‌های پردازش اطلاعات را فراهم آورده‌اند که نقش بارز استفاده از این تکنیک‌ها در مدیریت منابع طبیعی به‌ویژه منابع آب و خاک به‌طور روزافزون در حال افزایش می‌باشد (Azhirabi *et al.*, 2015). تکنیک‌های سنجش از دور برای نظارت و تخمین جنبه‌های مختلف سوزاندن بقایای محصول، از جمله مناطق سوخته و انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Deshpande *et al.*, 2022; Shen *et al.*, 2021). به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و پردازش رقومی آن‌ها با الگوریتم‌های مناسب موجب می‌شود ضمن به حداقل رساندن خطای انسانی، جزئیات پدیده‌هایی را که چشم انسان قادر به تمایز آن‌ها نیست، شناسایی و تفکیک نمود (Ayana and Kositsakulchai, 2012).

در تحقیقی روی بررسی ارزیابی سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی در تایلند از تصاویر ماهواره‌ای MODIS استفاده شد. نتایج کلی نشان داد که بیشترین آمار سوزاندن باقی‌مانده برنج در مناطق کشت دیم رخ می‌دهد (Cheewaphongphan *et al.*, 2011). در یک تحقیق انتشار آلاینده‌های ناشی از سوزاندن زیست‌توده مراتع و دشت بی‌درخت در مناطق هند و شرق آسیا اندازه‌گیری شد (Streets *et al.*, 2003). در مطالعه‌ای دیگر با هدف بررسی تأثیر سوزاندن بقایای محصولات کشاورزی، از داده‌های ماهواره‌ای و اندازه‌گیری‌های زمینی استفاده شد که نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در اثر سوزاندن بقایای

برداشت آن‌ها نیز سوزانده نشده بودند نیز نمونه‌برداری شدند. به این ترتیب موقعیت جغرافیایی تعداد ۲۵۵ مزرعه جارسوزی شده و ۱۶۳ مزرعه نسوخته و در مجموع ۴۱۸ مشخص و ثبت شد.

در این تحقیق برای بررسی اراضی کشاورزی سوخته شده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 سنجنده OLI/TIRS با تفکیک پذیری مکانی ۳۰ متر استفاده شد. به این ترتیب تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۶ ماه July در دو تاریخ ۲ و ۱۸، ماه May در دو تاریخ ۱۵ و ۳۱ و روز ۴ از ماه September از سازمان نقشه‌برداری و زمین‌شناسی آمریکا (USGS³) تهیه شد (جدول ۱).

عمده‌ای کشت می‌شود. معمولاً جهت آماده سازی زمین برای کشت ذرت بقایای گندم سوزانده می‌شود (جارسوزی^۱).

قبل از اجرای آزمایش، جهت تعیین مکان‌های نمونه‌برداری، ابتدا با مصاحبه با افراد آشنا به منطقه و هم‌چنین کارشناسان اداره جهاد کشاورزی اطلاعات اولیه مربوط به سوزاندن بقایای گندم (جارسوزی) در سطح شهرستان بدست آمد. براین اساس نواحی مختلف از سطح شهرستان انتخاب شدند. جهت انجام نمونه‌برداری، بعد از برداشت گندم تا قبل از کشت محصول بعدی (ذرت)، با گشت‌زنی در مناطق از قبل مشخص شده در طی ماه‌های تیر و مرداد، مزارع جارسوزی شده شناسایی و مختصات جغرافیایی مراکز هریک از این مزارع با استفاده از دستگاه GPS² ثبت شد. علاوه بر این مزارعی که بقایای پس از

جدول ۱- خصوصیات سنجنده‌های OLI/TIRS ماهواره‌ای Landsat 8

Table 1- Characteristics of OLI/TIRS sensors of Landsat 8 satellite

باند	توضیحات	طول موج	وضوح
Band	Description	Wave-length (mm)	Resolution (m)
1	ساحلی/گرد و غبار Coastal/Aerosol	0.435-0.451	30
2	آبی Blue	0.452-0.512	30
3	سبز Green	0.533-0.590	30
4	قرمز Red	0.636-0.673	30
5	مادون قرمز نزدیک Near Infrared (NIR)	0.851-0.879	30
6	مادون قرمز طول موج کوتاه Short wave infrared-1 (SWIR-1)	1.566-1.651	30
7	مادون قرمز طول موج بلند Short wave infrared-2 (SWIR-2)	2.107-2.294	60
8	پانکروماتیک Panchromatic	0.503-0.676	15
9	سیروس Cirrus	1.363-1.384	30
10	حسگر مادون قرمز حرارتی-۱ Thermal Infrared Sensor-1 (TIR-1)	10.60-11.19	100
11	حسگر مادون قرمز حرارتی-۲ Thermal Infrared Sensor-2 (TIR-2)	11.50-12.51	100

میزان اطلاعات قابل استخراج از تصاویر انجام شد. به این منظور از مدل تصحیح جو FLAASH^۴ استفاده شد. با استفاده از

پس از دریافت تصاویر، تصحیحات رادیومتریک برای بهبود کیفیت رادیومتریک تصاویر، افزایش وضوح و در نتیجه افزایش

¹- Fast Line- of- sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

¹ Residue burning

² Global positioning system

³ United States Geological Survey

اساس تصاویر حاصل از روش‌های ترکیب باندی OIF، PCA و MNF برای هر یک از تاریخ‌های عکس‌برداری به شش طبقه زمین سوخته، زمین‌های زراعی، پوشش‌های گیاهی، آب، شهر، و صخره و کوه طبقه‌بندی شدند. در ادامه برای اینکه نقاط سوخته شده از سایر کلاس‌ها تفکیک شوند تصاویر در محیط GIS به دو کلاس سوخته و غیر سوخته، تقسیم شدند.

به منظور افزایش دقت شناسایی مزارع جارسوزی شده و تفکیک آن‌ها از سایر نواحی سوخته شده ناشی از آتش‌سوزی‌های طبیعی و همچنین برخی نواحی تصویر ناشی از سایه‌اندازی در نواحی کوهستانی، لایه دو کلاس با لایه مربوط به کاربری اراضی مربوط به اراضی کشاورزی منطقه که از استانداری کرمانشاه تهیه شده بود ترکیب شده و به این ترتیب تنها "زمین‌های کشاورزی" که در آن عمل سوزاندن بقایا صورت گرفته بود استخراج شدند.

به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی انجام شده بر اساس روش‌های OIF، PCA و MNF از آزمون‌های آماری فی، کرامر^۶ و ضریب وابستگی^{۱۱} استفاده شد و تصاویر حاصل از روشی که بیشترین شدت ارتباط با نمونه‌های میدانی را داشت به عنوان تصاویر مبنای محاسبه مساحت زمین‌های سوخته شده مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت مساحت اراضی سوخته شده برای شهرستان سرپل‌ذهاب محاسبه شد. لازم به ذکر است، بررسی‌های اولیه تصاویر مربوط به تاریخ‌های مختلف نشان داد که بیشترین سطح زمین‌های کشاورزی در تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۶ سوزانده شده بودند. بنابراین مراحل اعتبار سنجی روش‌های مختلف شاخص OIF، PCA و MNF روی تصاویر این تاریخ انجام شد و در نهایت بهترین روش بر این اساس انتخاب و برای سایر تاریخ‌های تصویر برداری نیز در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

پس از انجام تصحیحات اتمسفری و تهیه تصویر بازتابش عوارض زمین، جهت تشخیص صحت محاسبات آماری، مقادیر

روش FLAASH داده‌های چند طیفی^۱ مربوط به تصاویر ماهواره‌ای^۲، فراخوانی شدند و محاسبه تابندگی^۳ در سنسور OLI / TIRS ماهواره LANDSAT و همچنین بازتابندگی^۴ از سطح زمین انجام شد. در ادامه برای نرمال کردن داده‌های بازتابیده از سطح زمین، مقادیر بازتابندگی با استفاده از رابطه ۱ در نرم‌افزار ENVI بین ۰-۱ قرار گرفتند (Feizizadeh *et al.*, 2016).

$$(b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000$$

(۱)

که در آن b1 معادل باند چند طیفی بازتابندگی تصحیح شده با استفاده از مدل تصحیح جوی FLAASH است.

پس از انجام تصحیح اتمسفری، جهت بارزسازی و تفکیک بهتر عوارض تصاویر از سه روش ترکیب باندی فاکتور شاخص مطلوبیت^۵ OIF، تجزیه به مولفه‌های اصلی PCA^۶ و سهم نویز کمینه MNF^۷ استفاده شد.

روش ترکیب باندی OIF از جمله روش‌های انتخاب بلندها تصاویر ماهواره‌ای، بر اساس معیارهای آماری در ساخت تصاویر رنگی است. این تکنیک با ارزیابی کمی بین باندها، این انتخاب را راحت‌تر می‌کند و محاسبات آماری هر سه باند ممکن را به صورت R-G-B^۸ ارائه می‌دهد (Chavez *et al.*, 1982). تصاویر حاصل از تکنیک‌های PCA و MNF نیز از تصاویر چند طیفی بازتابیده شده تصحیح شده حاصل از عملیات FLAASH، بر اساس سه مولفه‌ای که بیشترین تغییرات مقادیر ویژه را بر عهده داشتند تهیه شدند.

در این مطالعه زمین‌های سوخته شده می‌بایست از سایر عوارض زمینی از جمله زمین‌های زراعی، پوشش‌های گیاهی، آب، شهر و صخره و کوه‌ها تشخیص داده می‌شود که به این منظور از روش طبقه‌بندی حداکثر مشابهت^۹ استفاده شد. به این ترتیب، زمین‌های سوخته شده‌ای که مختصات جغرافیایی آن‌ها ثبت شده بود به عنوان نمونه‌های تعلیمی مشخص شدند. بر این

⁶ - Principal Component Analysis

⁷ - Minimum Noise Fraction

⁸ - Red-Green-Blue Color Space

⁹ - Maximum Likelihood

¹⁰ - Phi and Cramer

¹¹ - Contingency Coefficient

¹ - Multi Spectral

² - Meta Date

^۳ - Radiance: کل انرژی تابیده از واحد سطح.

^۴ - Reflectance: نسبت انرژی تابشی از یک جسم به انرژی تابشی فرود

آمده بر آن.

⁵ - Optimum Index Factor

رفت. در یک پژوهش روی برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat OLI /TIRS و الگوریتم مجزا در حوضه آبریز مهاباد، جهت نرمالیزه کردن باندهای مورد نظر از فرمول یاد شده استفاده شد (Feizizadeh et al., 2016).

حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از معیار باندهای تصویر مورد بررسی، نتایج در جدول ۲ نشان داد که مقادیر حداقل باندهای ۱ و ۲ منفی بودند، بنابراین با استفاده از رابطه ۱ داده‌های ذکر شده اصلاح شدند. بدین صورت با به کارگیری فرمول یاد شده (رابطه ۱) داده‌ها نرمال شده و علامت منفی مقادیر باندها از بین

جدول ۲- پروفیل منطقه مورد مطالعه قبل (الف) و بعد (ب) از نرمال سازی داده‌های ماهواره‌ای

Table 2- The profile of the studied area before (a) and after (b) the normalization of satellite data

قبل از نرمال سازی				
Before normalization				
انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	باند
Standard Deviation	Mean	Maximum	Minimum	Band
263.277457	931.119	4026	-46	1
281.618822	1054.36	4205	-48	2
378.38125	1624.05	5144	88	3
505.86549	2166.52	5892	176	4
498.814175	3185.26	6437	353	5
647.614871	3554.22	8169	385	6
586.385887	2724.84	7712	300	7
بعد از نرمال سازی				
After the normalization				
0.026328	0.093112	0.402600	0.000000	1
0.028162	0.105346	0.420500	0.000000	2
0.037838	0.162405	0.514400	0.008800	3
0.050587	0.216652	0.589200	0.017600	4
0.049881	0.318526	0.643700	0.035300	5
0.064761	0.355422	0.816900	0.038300	6
0.058639	0.272484	0.771200	0.030000	7

کاربری‌های شهر و آب نیز در این تصویر قابل تشخیص بود (شکل ۱). در این رابطه در یک تحقیق با استفاده از تصاویر TM و ETM+ برای تهیه تصاویر رنگی کاذب تغییرات الگوی پردیسه در شهر یانزو از روش OIF استفاده شد. طبق نتایج این تحقیق، بهترین ترکیب بلندی، ترکیب باندهای ۷-۴-۱ بود (Langmann et al., 2009). در تحقیقی دیگر برای تهیه نقشه‌های رقومی خصوصیات شیمیایی خاک نواحی شمال غربی شهرستان اصفهان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره Landsat 7، به منظور دستیابی به بهترین ترکیب باندی در شناخت عوارض و پدیده‌های مختلف زمینی از روش OIF استفاده شد (Akbari et al., 2007).

نتایج حاصل از روش‌های بارزسازی PCA و MNF نیز نشان داد که استفاده از این روش‌ها همانند روش ترکیب باندی OIF منجر به تفکیک بیشتر عوارض زمینی در تصویر می‌شود.

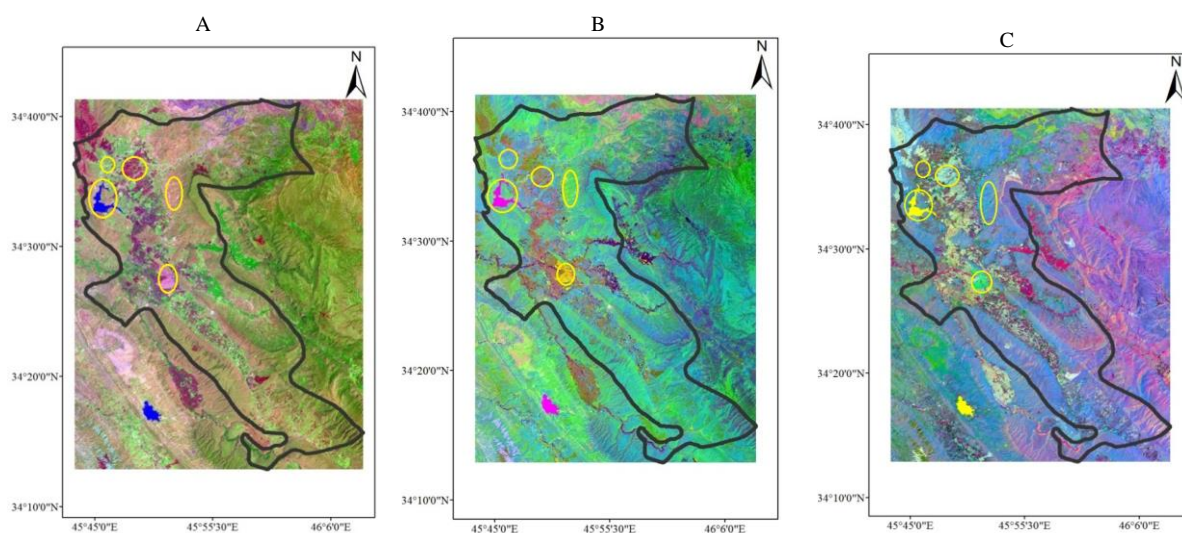
نتایج انتخاب بهترین روش بارزسازی تصاویر

با توجه به نتایج بدست آمده از شاخص مطلوبیت (OIF) (جدول ۲)، ترکیب باندهای ۷، ۵، ۱ برای تمامی تاریخ‌های مورد بررسی، به عنوان بهترین ترکیب باندی انتخاب شد. برای ساختن تصاویر رنگی، باید سه باند مختلف تصویر در طیف RGB با یکدیگر ترکیب شوند. شاخص OIF یک شاخص آماریست که بر اساس انحراف معیار و همبستگی بین باندها عمل می‌کند و بر این اساس بهترین ترکیب رنگی انتخاب می‌شود. این کار باعث می‌شود تا اطلاعاتی با کنتراست بیشتر نمایان گردد و پدیده‌ها بارزتر شوند (Patel and Kaushal, 2011).

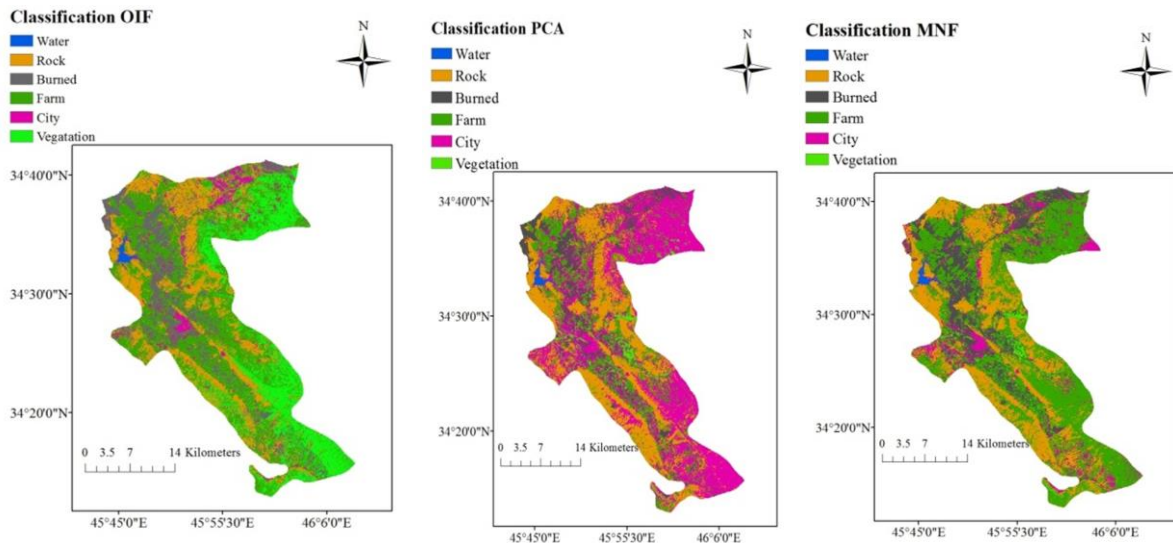
نتایج حاصل از ترکیب باندی بر اساس شاخص OIF نشان داد که اراضی سوخته شده با رنگ خاکستری تیره و پوشش گیاهی اراضی زیر کشت با رنگ سبز، از هم تفکیک داده شدند.

در شش کلاس آب، صخره، اراضی سوخته شده، مزارع کشاورزی، شهر و پوشش گیاهی سبز انجام و نقشه کاربری اراضی استخراج گردید (شکل ۲). طبقه‌بندی تصاویر سنجنده‌ها در فناوری سنجنش از دور به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای به شمار می‌رود. طبقه‌بندی حداکثر مشابهت یکی از متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجنش از دور بوده که تکنیک مناسبی جهت طبقه‌بندی رقومی تصاویر ماهواره‌ای است. این روش به عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌ها ذکر شده است. در این روش حداکثر احتمال، واریانس و کواریانس کلاس‌ها ارزیابی می‌شوند (Patel and Kaushal, 2011). در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 سنجنده ETM+ نقشه کاربری اراضی شهرستان ملکان استخراج شد. در این تحقیق برای طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم حداکثر مشابهت استفاده شد و در قابلیت این روش را در طبقه‌بندی پوشش کاربری اراضی تایید شد (Feizizadeh *et al.*, 2016). در تحقیقی دیگر برای تهیه اراضی زیر کشت برنج در شمال کشور از طبقه‌بندی حداکثر مشابهت استفاده و نقشه اراضی زیر کشت برنج را با صحت کلی ۸۹/۳۹ درصد تهیه شد (Sarooei and Nasiri, 2002).

به‌طوری‌که عوارضی از قبیل زمین‌های سوخته شده، مزارع، آب، شهر و کوهستان قابل تشخیص بود (شکل ۱). در تحقیقی با پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER و به کارگیری تکنیک‌های MNF و PCA اکتشاف کانسارها در منطقه باباعلی در همدان مورد بررسی قرار گرفت (Asgari *et al.*, 2015). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ترکیب رنگی حاصل از تکنیک MNF و PCA به خوبی مناطق دگرسانی را بارزسازی می‌کند. در مطالعه دیگر در منطقه بیدوئیه استان کرمان، جهت شناسایی دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی مس پورفیری از تصاویر چند طیفی ASTER و QUICKBIRD استفاده شد و مناطق دگرسانی بوسیله روش‌های نسبت بانندی، ترکیب رنگی، PCA و MNF بارز شدند (Arianmehr *et al.*, 2016). شکل ۱ مربوط به تاریخ تصویر برداری ۱۸ جولای ۲۰۱۶ می‌باشد که بیشترین میزان سوزاندن بقایا را به خود اختصاص داده بود. نتایج مربوط به تفکیک پذیری حاصل از روش‌های OIF، PCA و MNF برای سایر تصاویر بدست آمده در تاریخ‌های دیگر عبور ماهواره از منطقه مورد مطالعه نیز به همین ترتیب بود، از این‌رو جهت جلوگیری از اتاله کلام تنها تصاویر مربوط به تاریخ عکس‌برداری ۱۸ جولای ۲۰۱۶ آورده شده است. پس از اعمال تصحیحات و پردازش‌های اولیه، طبقه‌بندی اراضی به روش حداکثر مشابهت در محیط نرم‌افزار ArcMap



شکل ۱- A) ترکیب بانندی ۷، ۵، ۱ بدست آمده از شاخص OIF، B) روش MNF و C) روش PCA از تصویر مربوط به تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۶
Figure 1- A) 7, 5, 1 band composition obtained from OIF index, B) MNF method and C) PCA method from the image belonged to July 18, 2016



شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی تصویر سنجنده OLI/TIRS به روش حداکثر مشابهت، به ترتیب برای روش‌های OIF، PCA و MNF
 Figure 2- Land use classification map of OLI/TIRS image sensor by maximum likelihood method, for OIF, PCA and MNF methods, respectively.

بررسی صحت طبقه بندی

میزان همبستگی مقادیر مشاهده شده (مزارع سوخته و نسوخته شده) با مقادیر طبقه‌بندی شده (مکان‌های سوخته و نسوخته حاصل از فرایند طبقه‌بندی عوارض تصویر) با استفاده از روش‌های OIF و MNF، بر اساس روش‌های آماری فی (۰/۸۰)، کرامر (۰/۸۰) و ضریب وابستگی (۰/۶۲) معنی‌دار بود (جدول ۳). این نتایج نشان‌دهنده صحت بالای نقشه‌های تولیدی (نقشه‌های پس از انجام روش جداسازی حداکثر

مشابهت) می‌باشد. بررسی میزان همبستگی مقادیر مشاهده شده با مقادیر طبقه‌بندی شده در تصاویر مربوط به شاخص PCA نیز همبستگی بالا و معنی‌داری را نشان داد (روش‌های فی (۰/۶۸)، کرامر (۰/۶۸) و ضریب وابستگی (۰/۵۶)). با توجه به بالا بودن همبستگی طبقه‌بندی با استفاده از روش OIF، از این رو جهت محاسبه مساحت نواحی سوخته شده از تصاویر طبقه‌بندی شده مربوط به شاخص OIF استفاده شد.

جدول ۳- نتایج مربوط به ارزیابی آماری طبقه بندی حداکثر مشابهت تصاویر مربوط به روش‌های بارزسازی فاکتور شاخص مطلوبیت (OIF)، تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) و سهم نویز کمینه (MNF)

Table 3- The results of the statistical evaluation of the maximum likelihood classification of images related to Optimum Index Factor (OIF), Minimum Noise Fraction (MNF) and Principal Component Analysis (PCA) Contrast enhancement methods

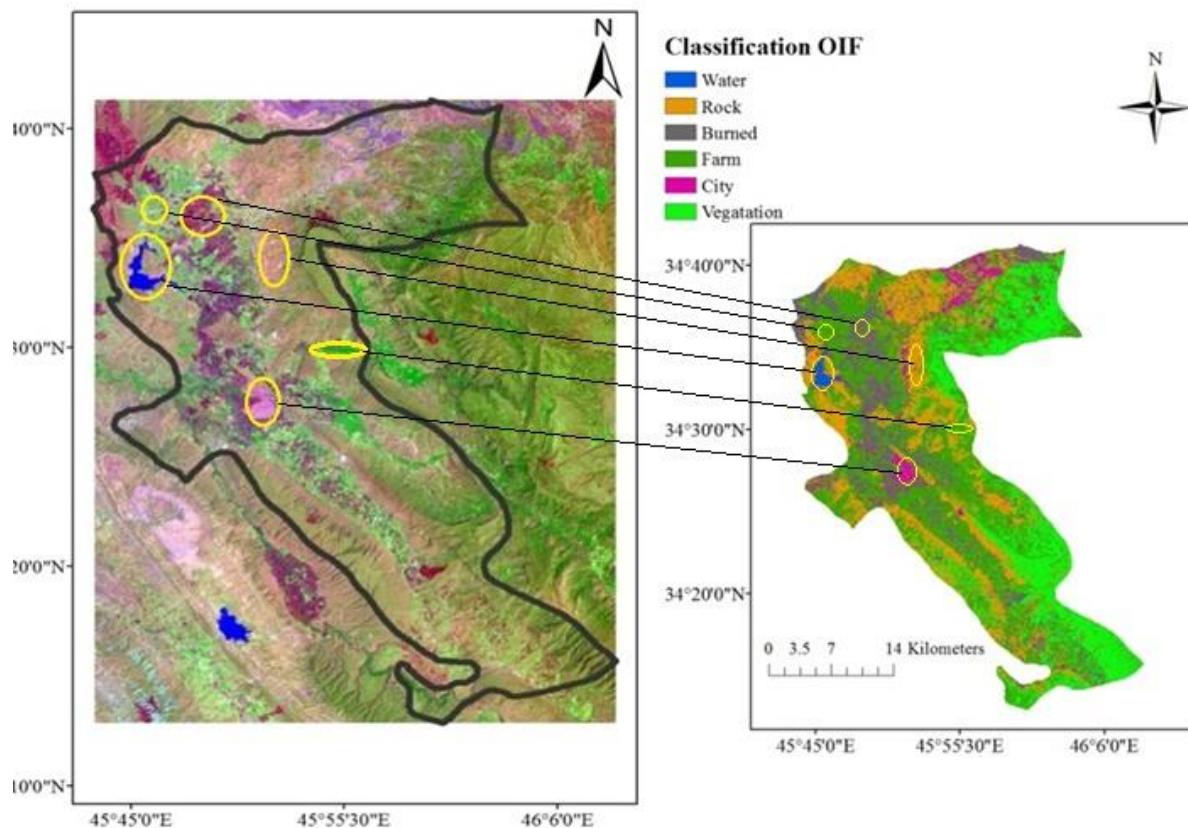
روش بارزسازی	ضریب همبستگی فی	ضریب همبستگی کرامر	ضریب وابستگی
Contrast enhancement Method	Phi	Cramer's V	Contingency Coefficient
فاکتور شاخص مطلوبیت (OIF)	0.80**	0.80**	0.62**
Optimum Index Factor (OIF)	0.80**	0.80**	0.62**
سهم نویز کمینه (MNF)	0.80**	0.80**	0.62**
Minimum Noise Fraction (MNF)	0.80**	0.80**	0.62**
تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)	0.68**	0.68**	0.56**
Principal Component Analysis (PCA)	0.68**	0.68**	0.56**

** معنی‌داری در سطح آماری $p \leq 0.01$

Significance at the statistical level of $p \geq 0.01$ **

مطابقت دارند، یعنی آنچه را که مشاهده‌های میدانی اثبات کرده است الگوریتم طبقه‌بندی کننده هم با صحت بالایی، پیکسل‌های تصویر را در همان طبقه، طبقه‌بندی نموده است.

شکل ۳ نقشه حاصل از طبقه‌بندی محدوده مطالعاتی و تصویر حاصل از روش OIF می‌باشد. همان گونه که دیده می‌شود عوارض زمینی مانند آب، صخره، اراضی سوخته شده، زمین‌های کشاورزی، شهر و پوشش گیاهی سبز با نقشه

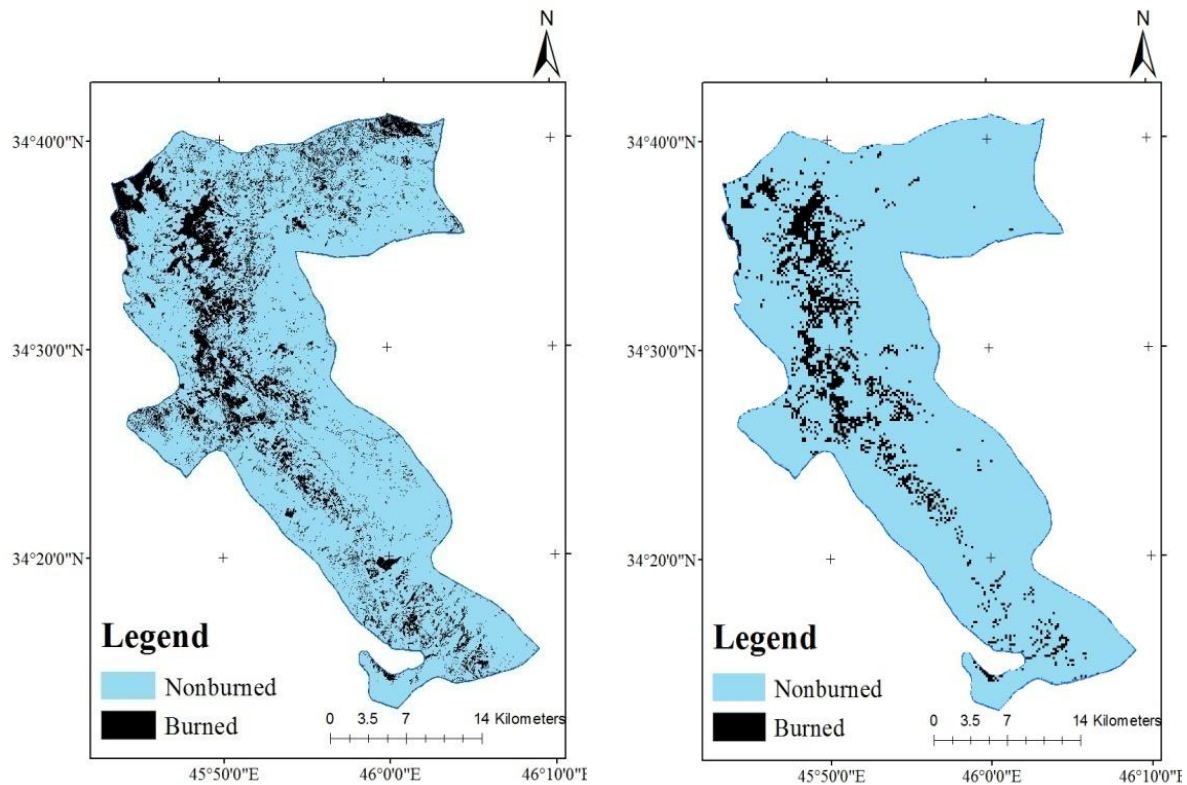


شکل ۳- ارزیابی بصری نواحی طبقه بندی شده، چپ- واقعیت‌های زمینی مستخرج از شاخص ترکیب باندهای OIF، ب- نقشه حاصل از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش حداکثر مشابهت

Figure 3- Visual evaluation of the classified areas, left- ground features extracted from the OIF band composition index, b- map resulting from image classification using the maximum likelihood method

سمت مرکز شهرستان، و نواحی اطراف شهر سرپل ذهاب وجود دارد و با نزدیک شدن به قسمت‌های جنوبی شهرستان، درصد کمتری از اراضی سوخته شده مشاهده می‌شود. احاطه بودن شهر سرپل ذهاب در زمین‌های سوخته شده می‌تواند در فصل سوزاندن مزارع مشکلات مربوط به سلامتی ساکنین شهر و نواحی اطراف را به دنبال داشته باشد. از این رو لزوم توجه به این مسئله توسط مدیران شهرستان و استان احساس می‌شود.

پس از انجام طبقه‌بندی تصاویر، تصاویر ۶ کلاسه به دو کلاس کلی نقاط سوخته و نسوخته شده طبقه‌بندی شدند (شکل ۴). در مرحله بعدی جهت شناسایی صرفاً "زمین‌های زراعی سوخته شده" لایه دو کلاسه سوخته و نسوخته با لایه کاربری اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه، تلفیق و لایه نهایی مربوط به زمین‌های کشاورزی سوخته شده استخراج شد (شکل ۴). از نقشه‌های بدست آمده استنباط می‌گردد بیشترین اراضی سوخته شده در قسمت‌های شمال و شمال غربی به



شکل ۴- الف- کل نواحی که به عنوان نواحی سوخته شده طبقه بندی شد و ب- زمین های زراعی سوخته شده

Figure 4- A- Total areas that were classified as burned areas and B- Burned agricultural lands

(Change, 2007). سوزاندن باقیمانده های محصولات کشاورزی در مقیاس بزرگ نه تنها یک نگرانی جدی برای انتشار گازهای گلخانه ای است، بلکه مشکلات مربوط به آلودگی هوا، خطرات بهداشتی و از دست دادن مواد مغذی خاک را نیز به همراه خواهد داشت (Jain *et al.*, 2014). در تحقیقی روی تأثیر سوزاندن بقایای گندم و برنج در تولید گازهای SO_2 و N_2O در پنج منطقه مختلف هندوستان نشان داده شد که در طول دوره سوزاندن بقایای محصولات زراعی گندم و برنج، میزان انتشار گازهای SO_2 و N_2O موجب تغییر کیفیت هوای منطقه می شود (Mittal *et al.*, 2009). با توجه به اثرات منفی زیست محیطی سوزاندن بقایای گیاهی، مطالعه در مورد این پدیده با ایجاد آگاهی از تأثیرات آن تلاش در جهت کاهش حدوث آن را در پی داشته باشد.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره 8 LANDSAT می تواند با دقت بالایی در جهت شناسایی زمین های سوخته شده مورد استفاده

طبق نتایج حاصل از طبقه بندی، مساحت اراضی زراعی سوخته شده شهرستان سرپل ذهاب ۷۳۸۰ هکتار بدست آمد. با توجه به مساحت اراضی زیر کشت آبی شهرستان سرپل ذهاب که در حدود ۱۳۰۰۰ هکتار می باشد، می توان بیان کرد که در حدود ۵۶ درصد از این اراضی توسط کشاورزان منطقه سوزانده شده اند. این امر ضرورت آگاه سازی کشاورزان و پیشنهاد روش های جایگزین برای مدیریت بقایا را در منطقه نشان می دهد. در یک تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS مساحت اراضی سوخته شده آفریقا در سال ۲۰۰۰ تخمین زده شد (Van der Werf *et al.*, 2006). در پژوهشی دیگر در تانزانیا با تجزیه و تحلیل های ماهواره ای و آماری میزان اراضی زراعی سوخته شده را ۲/۱ میلیون کیلومتر مربع تخمین زدند (Giglio *et al.*, 2003).

سوزاندن بقایای محصولات به دلیل سهم آن در انتشار گازهای گلخانه ای، نگرانی مهمی برای گرم شدن کره زمین است (Raza *et al.*, 2022). اگر میزان افزایش غلظت گازهای گلخانه ای به همین ترتیب افزایش یابد، میانگین دما کره زمین در آینده ای نزدیک به طور خطرناکی افزایش پیدا خواهد کرد

انجام کشت بعدی سوزانده می‌شوند. این می‌تواند در دراز مدت، پایداری تولید در اکوسیستم‌های زراعی را به خطر بیندازد و همچنین موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های مختلف به جو می‌شود که به نوبه خود می‌تواند موجب آلودگی هوا و افزایش مشکلات مربوط به سلامت جامعه از جمله بیماری‌های تنفسی در منطقه شود.

قرار گیرد. در سنجش از دور به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و پردازش رقومی آن‌ها با الگوریتم‌های مناسب، ضمن به حداقل رساندن خطای انسانی می‌توان جزئیات پدیده‌هایی را که چشم انسان قادر به تمایز آن‌ها نیست، شناسایی و تفکیک نمود. بر اساس نتایج بدست آمده، درصد بالایی از زمین‌های آبی شهرستان سرپل ذهاب در اواخر بهار و اوایل تابستان جهت

References

- Akbari, M., Mokhtari, K. and Pourmanafi, S., 2007. Preparation of soil surface salinity map using Landsat ETM satellite data in a region in south of Ahvaz. *Journal of Iranian Natural Resources*, 60(4), pp.1117-1128. [In Persian].
- Andreae, M.O. and Merlet, P., 2001. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), pp.955-966. doi: 10.5194/acp-19-8523-2019, 2019.
- Arianmehr, H., Hoseinkhani, M., Honarmand, M. and Naseri, G., 2016. Identification of alterations associated with porphyry copper mineralization using ASTER and QUICKBIRD multidimensional images in Bidouyeh region (Kerman province). 22nd National Geomatics Conference and Exhibition. Iran. [In Persian].
- Asgari, J., Alimohammadi, A. and Nasiri, Y., 2015. Application of Remote Sensing (RS) in exploration of deposits. The first national conference on the use of advanced spatial analysis models in Land use planning. Yazd, Iran. [In Persian].
- Ayana, A.B. and Kositsakulchai, E., 2012. Land use change analysis using remote sensing and Markov Modeling in Fincha watershed, Ethiopia. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 46(1), pp.135-149.
- Azhirabi, R., Kamkar, B. and Abdi, O., 2015. Comparison of different indices adopted from Landsat images to map soil salinity in the army field of Gorgan. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(1), pp.173-786. [In Persian]. doi: 20.1001.1.23221267.1394.5.1.11.2
- Bhattacharya, S., Adhya, T.K., Pathak, H., Raghuram, N. and Sharma, C., 2017. 31 - Issues and Policies for Reactive Nitrogen Management in the Indian Region. In: Y. P. Abrol, T. K. Adhya, V. P. Aneja, N. Raghuram, H. Pathak, U. Kulshrestha, C. Sharma and B. Singh, editors, *The Indian Nitrogen Assessment*. Elsevier. pp.491-513.
- Blanco-Canqui, H. and Lal, R., 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science*, 28(3), pp.139-163. doi: 10.1080/07352680902776507.
- Chang, D. and Song, Y., 2010. Estimates of biomass burning emissions in tropical Asia based on satellite-derived data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(5), pp.2335-2351. doi: 10.5194/acp-10-2335-2010.
- Change, I.P.O.C. 2007., *Climate change 2007: The physical science basis*. Agenda. p. 333.
- Chavez, P., Berlin, G.L. and Sowers, L.B., 1982. Statistical method for selecting landsat MSS. *Journal of Applied Photographic Engineering*, 8(1), pp.23-30.
- Cheewaphongphan, P., Garivait, S. and Pongpullponsak, A., 2011. Inventory of pollutions from rice field residue

- open burning based on field survey. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE, IACSIT Press, Singapore. pp.93-97.
- Chen, Z., Chen, D., Zhuang, Y., Cai, J., Zhao, N., He, B., Gao, B. and Xu, B., 2017. Examining the Influence of Crop Residue Burning on Local PM_{2.5} Concentrations in Heilongjiang Province Using Ground Observation and Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 9(10), pp.971. doi: **10.3390/rs9100971**.
- Cohen, A.J., Ross Anderson, H., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Gutschmidt, K., Pope, A., Romieu, I. and Samet, J.M., 2005. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 68(13-14), pp.1301-1307. doi: **10.1080/15287390590936166**.
- Deshpande, M.V., Pillai, D. and Jain, M., 2022. Detecting and quantifying residue burning in smallholder systems: An integrated approach using Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108, pp.102761. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102761>.
- Dyrness, C. and Youngberg, C., 1957. The effect of logging and slash-burning on soil structure. *Soil Science Society of America Journal*, 21(4), pp.444-447. doi: **10.2136/sssaj1957.03615995002100040022x**.
- Feizizadeh, B., Dedehban, K. and Gholamnia, K., 2016., Land surface temperature estimation using Landsat 8 satellite imagery and separate window algorithm Case study: Mahabad watershed. *Scientific Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(98), pp.171-181. [In Persian].
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. and Kaufman, Y.J., 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2), pp.273-282. doi: **10.1016/S0034-4257(03)00184-6**.
- Hoffmann, I., Gerling, D., Kyiogwom, U.B. and Mané-Bielfeldt, A., 2001. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86(3), pp.263-275. doi: **10.1016/S0167-8809(00)00288-7**.
- Jain, N., Bhatia, A. and Pathak, H., 2014. Emission of air pollutants from crop residue burning in India. *Aerosol and Air Quality Research*, 14(1), pp.422-430. doi: **10.4209/aaqr.2013.01.0031**.
- Kadhem, W.A., Kadhum, N.H. and Hussein, K.A., 2022. The effect of burning plant residues in soil properties, microbial content, and activity of some enzymes. *AIP Conference Proceedings*, 2547(1). doi: **10.1063/5.0114596**.
- Ketterings, Q.M. and Bigham, J.M., 2000. Soil color as an indicator of slash-and-burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), pp.1826-1833. doi: **10.2136/sssaj2000.6451826x**.
- Lan, R., Eastham, S.D., Liu, T., Norford, L.K. and Barrett, S.R., 2022. Air quality impacts of crop residue burning in India and mitigation alternatives. *Nature Communications*, 13(1), pp.6537. doi: **10.1038/s41467-022-34093-z**.
- Landi, A., Mermut, A. and Anderson, D., 2003. Origin and rate of pedogenic carbonate accumulation in Saskatchewan soils, Canada. *Geoderma*, 117(1), pp.143-156. doi: **10.1016/S0016-7061(03)00161-7**.
- Langmann, B., Duncan, B., Textor, C., Trentmann, J. and van der Werf, G.R., 2009. Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. *Atmospheric Environment*, 43(1), pp.107-116. doi:

10.1016/j.atmosenv.2008.09.047.

Mittal, S.K., Singh, N., Agarwal, R., Awasthi, A. and Gupta, P.K., 2009. Ambient air quality during wheat and rice crop stubble burning episodes in Patiala. *Atmospheric Environment*, 43(2), pp.238-244. **doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.068.**

10.1016/j.atmosenv.2008.09.068.

Patel, N. and Kaushal, B., 2011. Classification of features selected through Optimum Index Factor (OIF) for improving classification accuracy. *Journal of Forestry Research*, 22(1), pp.99-105. **doi: 10.1007/s11676-011-0133-4.**

Raza, M.H., Abid, M., Faisal, M., Yan, T., Akhtar, S. and Adnan, K.M., 2022. Environmental and health impacts of crop residue burning: Scope of sustainable crop residue management practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8), pp.4753. **doi: 10.3390/ijerph19084753.**

Sarooei, S. and Nasiri, A., 2002. Utilize remote sensing technologies and GIS in the preparation of statistics and maps of rice cultivation in the north of the country (Amol and Babil counties). Geomatics conference. Iran. [In Persian].

Shakesby, R., 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 105(3), pp.71-100. **doi: 10.1016/j.earscirev.2011.01.001.**

Sharma, A.R., Kharol, S.K., Badarinath, K. and Singh, D., 2010. Impact of agriculture crop residue burning on atmospheric aerosol loading—a study over Punjab State, India. *Annales geophysicae: atmospheres, hydrospheres and space sciences*. p.367.

Shen, Y., Jiang, C., Chan, K.L., Hu, C. and Yao, L., 2021. Estimation of Field-Level NO_x Emissions from Crop Residue Burning Using Remote Sensing Data: A Case Study in Hubei, China. *Remote Sensing*, 13(3), pp.404. **doi: 10.3390/rs13030404.**

Streets, D., Yarber, K., Woo, J.H. and Carmichael, G., 2003. Biomass burning in Asia: Annual and seasonal estimates and atmospheric emissions. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4). **doi: 10.1029/2003GB002040.**

Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S. and Arellano Jr, A.F., 2006. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6(11), pp.3423-3441. **doi: 10.5194/acp-6-3423-2006.**

Zhang, H., Hu, D., Chen, J., Ye, X., Wang, S.X., Hao, J.M., Wang, L., Zhang, R. and An, Z., 2011. Particle size distribution and polycyclic aromatic hydrocarbons emissions from agricultural crop residue burning. *Environmental Science & Technology*, 45(13), pp.5477-5482. **doi: 10.1021/es1037904.**

Zhuang, Y., Chen, D., Li, R., Chen, Z., Cai, J., He, B., Gao, B., Cheng, N. and Huang, Y., 2018. Understanding the influence of crop residue burning on PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in China from 2013 to 2017 using MODIS data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), pp.1504. **doi: 10.3390/ijerph15071504.**

Estimation of open field burned area using remote sensing and geographic information system (case study, Sarpol Zahab county)

Soheila Asadi¹, Alireza Bagheri^{2*}, Arash Azari³

¹ M.Sc Student, Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

³ Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding Author: a.bagheri@razi.ac.ir

Received: 10 June 2023

Accepted: 12 November 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.401524.1347

Abstract

Introduction: Plant residues can contribute to nutrient fertility in soil, increase soil organic matter concentration, maintain water in soil, reduce evaporation, stimulate microbial activity, increase grain size, decrease temperature fluctuations, improve the characteristics Physical, chemical and biological properties and improve soil plowing power. Crop residue burning is the factors affecting the emission of greenhouse gases and air pollutants. It is one of the fast and low-cost land preparation methods. This action causes environmental issues, as well as leads to changes in vegetation and soil. Hence, attention to this issue can be important in raising awareness and preventing the increase of its disadvantages. This research was carried out in order to estimate the area of agricultural land that post-harvest crop residue was burned, in the province of Kermanshah, Sarapul-Zahab

Materials and Methods: Field sampling operations were carried out on burned and unburned fields and their geographic coordinates were recorded. As a result, 255 burned fields and 163 non- burned fields were recorded. Considering the size of the grazing area of the study area, which is often smaller than 5 hectares, in this research, the images of LANDSAT 8, OIL / TIRS sensor with 30 m spatial resolution were obtained from the studied area. After atmospheric correction by FLAASH method, for selecting the best contrast, the contrast enhancement methods of optimum index factor (OIF), Principal Component Analysis (PCA) and Minimum Noise Fraction (MNF) were used. The classification of images was done using the maximum likelihood method.

Results and Discussion: The results showed that the minimum values of the bands 1 and 2 were negative, so the data were normalized and the negative values of the bands was corrected. Based on the results obtained from the optimum index factor (OIF), the combination of bands 7, 5, 1 for all the examined dates, was chosen as the best band combination. After band combination based on the OIF index the burnt lands were separated by dark gray color and the vegetation of the cultivated lands were also separated by green color. The city and water could also be recognized in this image. The results of PCA and MNF Contrast enhancement methods also showed that the use of these methods, like the OIF band combination method, leads to a good enhancement of ground features in the images. After applying the maximum likelihood method to objects classification, The accuracy of the classification was evaluated by checking the correlation between the observed values (burnt and unburnt fields) and the classified values (burnt and unburnt places resulting from the image classification process). The methods of OIF and MNF (coefficients of Phi= 0.80, Cramer's V= 0.80 and Contingency Coefficient = 0.62) had significant correlations and more accurate than the PCA method (coefficients of Phi= 0.68, Cramer's V= 0.68 and Contingency Coefficient = 0.56). Accordingly, the area of irrigated agricultural field which burned after harvest was estimated at 7380 hectares, which included 56 percent of the County's total irrigated field.

Conclusion: Based on the obtained results, the use of LANDSAT 8 satellite images can be used with high accuracy to identify burnt lands using enhancement methods OIF and MNF. A high percentage

of irrigated lands in Sarpol Zahab city were burned in late spring and early summer for the next cultivation land preparation. In the long term, this can endanger the stability of production in agricultural ecosystems and also cause the release of greenhouse gases and various pollutants into the atmosphere, which in turn can cause air pollution and increase health problems for the inhabitants, which requires more attention of managers in this regard.

Keywords: Greenhouse gases, Pollutant measurement, Residue burning, Satellite imagery

ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های فالاریس (*Phalaris aquatica*) بر اساس صفات زراعیمحمدحسین جعفرپور^۱، علیرضا پورمحمد^{۲*}، رضا محمدی^۳

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

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

۳- پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال غرب و غرب کشور، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

* مسئول مکاتبه: pourmohammad@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.376110.1300

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی زراعی گونه‌ی علوفه‌ای فالاریس به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی بود. به این منظور، پژوهشی با ۲۶ ژنوتیپ فالاریس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی (تبریز) اجرا و ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورفولوژیکی، عملکرد بذر و علوفه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج، موید وجود اختلاف ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها برای صفات تعداد ساقه و قطر طوقه در سطح یک درصد و قطر تاج‌پوش در سطح پنج درصد بود. در مقایسه میانگین صفات، ژنوتیپ Ph.aq-3 بیشترین تعداد ساقه و ژنوتیپ‌های Ph.aq-6 و Ph.aq-26 کمترین تعداد ساقه در بوته را داشتند. بیشترین قطر تاج‌پوش نیز با ۴۸/۸۹ سانتی‌متر مربوط به ژنوتیپ شماره Ph.aq-12 بود. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، چهار مؤلفه در مجموع ۸۴/۳ درصد از واریانس کل را توجیه نمود. در مؤلفه اصلی اول، صفاتی چون عملکرد علوفه خشک، قطر طوقه و قطر تاج‌پوش دارای بیشترین ضرایب، در مؤلفه دوم تنها صفت طول برگ پرچم و در مؤلفه سوم صفاتی چون تعداد روز تا خوشه‌دهی و تعداد روز تا گرده‌افشانی دارای بیشترین ضرایب بودند. تجزیه خوشه‌ای نیز ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را به شش زیرگروه طبقه‌بندی نمود. با در نظر گرفتن صفاتی مانند عملکرد و اجزای عملکرد، ژنوتیپ‌های موجود در زیرگروه سوم برای کشت می‌توانند گزینه‌ی مطلوبی باشند. همچنین بیشترین فاصله ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های زیرگروه سوم و زیرگروه پنجم به دست آمد، که با توجه به اهداف به‌نژادگر، می‌توان از تلاقی ژنوتیپ‌های این دو زیرگروه، به منظور بهره‌برداری از ژن‌های مطلوب آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه چندمتغیره، تنوع ژنتیکی، عملکرد علوفه

مقدمه

گیاه فالاریس از تیره گندمیان، مهم‌ترین گیاه چندساله کاشته شده در مراتع در مناطق متوسط باران می‌باشد که بحث تحمل به چرا و در کنار آن بهبود عملکرد این گیاه، مهم‌ترین صفات و دغدغه اصلی پژوهشگران در اصلاح و گزینش ژنوتیپ‌های مناسب آن می‌باشد (Bourke et al., 2003; Ludemann and Smith, 2015). این گیاه عمدتاً از طریق سیستم ریشه‌ای عمیق می‌تواند خواب تابستانی و حتی تنش خشکی که در تابستان رخ می‌دهد را مدیریت نماید (Ludemann and Smith, 2015). تحقیقات انجام‌گرفته بر روی این گیاه نشان‌دهنده عمق ریشه‌دهی بیشتری در مقایسه با گیاه علف چاودار می‌باشد که این عادت ریشه‌دهی عمیق، برای زنده‌مانی آن در طول تابستان امری حیاتی محسوب می‌شود، چون ریشه‌های عمیق، آب را به جوانه‌های خفته منتقل می‌کند (Cai and Yamada, 2013; Karimi, 2007).

با توجه به شرایط اقلیمی خاص و متنوع موجود در کشور، به جرأت می‌توان عنوان نمود که ایران این ظرفیت را دارد که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز تنوع گیاهان به‌خصوص گیاهان علوفه‌ای به‌شمار آید (Anonymous, 2022). علی‌رغم اهمیت گیاهان علوفه‌ای در تأمین امنیت غذایی دام‌ها در کشور، به تولید، مدیریت و اصلاح این گیاهان در مقایسه با سایر محصولات زراعی کمتر بها داده شده است که این امر هر ساله مشکلات فراوانی در بخش تأمین علوفه دام ایجاد می‌کند؛ بنابراین تولید ارقام علوفه‌ای که علاوه بر عملکرد خوب دارای مواد غذایی مناسب برای انواع متفاوت دام‌ها هستند می‌تواند یکی از اهداف مهم به‌نژادگران و تولیدکنندگان محصولات علوفه‌ای باشد (Karimi, 2007).

که بیانگر تنوع ژنتیکی بالا از نظر صفات مورد بررسی می‌باشد. کمترین میزان تنوع ژنتیکی مربوط به تعداد روز تا گرده‌افشانی و ارتفاع بوته بود. صفات روز تا گرده‌افشانی و قطر یقه نیز از تنوع بالایی برخوردار بودند. محققین دیگر (Jafari *et al.*, 2007) اقدام به بررسی تنوع ژنتیکی عملکرد و کیفیت علوفه در ۲۲ ژنوتیپ علف گندمی بلند کردند و نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده منجر به چهار مؤلفه گردید که ۸۵ درصد از کل واریانس داده‌ها را توجیه کرد که در این میان صفاتی چون عملکرد و ارتفاع بوته مهم‌ترین صفات در مؤلفه اول بودند.

با در نظر گرفتن موارد ذکر شده در بالا و با توجه به اهمیت گیاهان مرتعی از جنبه‌های مختلف از جمله ارزش اقتصادی و اهمیت تغذیه‌ای آن برای دامداری‌ها، بررسی تنوع ژنتیکی گیاه فالاریس می‌تواند یکی از اولویت‌های تحقیقاتی در زمینه اصلاح و گزینش گیاهان مرتعی-علوفه‌ای باشد. افزایش عملکرد بذر و ماده خشک علوفه در واحد سطح از اهداف اصلی به‌نژادی گیاهان با کاربرد علوفه‌ای می‌باشد. با توجه به عدم وجود گزارشی در مستندات علمی در رابطه با بررسی تنوع ژنتیکی صفات زراعی در ژنوتیپ‌های فالاریس، پژوهش حاضر با استفاده از ژنوتیپ‌های این گیاه مرتعی در شرایط اقلیمی منطقه آذربایجان به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

بذور اولیه توده‌های فالاریس از بانک بذر ایستگاه شهید فروزه، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. در این پژوهش ۲۶ ژنوتیپ منتخب فالاریس (جدول ۱) که بر اساس ارزیابی دو ساله از داخل توده‌های اولیه و بر اساس عملکرد علوفه و بذر انتخاب شده بودند از نظر تنوع ژنتیکی با استفاده از صفات مورفولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال غرب و غرب کشور (تبریز) در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. ابتدا بذور ژنوتیپ‌های فالاریس در گلدان‌هایی پلاستیکی با نسبت‌های ۱:۱۰:۲ به ترتیب خاک رس، ماسه و کود دامی در گلخانه پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال غرب و غرب کشور

(Sakr and Horti, 2009). این گیاه برای رشد مطلوب، به بارندگی سالانه ۵۰۰ میلی‌متر با توزیع مناسب از پاییز تا بهار نیاز دارد. با این حال، می‌تواند در مکان‌هایی رشد نمایند که میزان بارندگی سالانه آن‌ها تا ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد به شرطی که خاک دارای ظرفیت نگهداری خوب رطوبت باشد. به‌طور کلی رشد مطلوب این گیاه در جایی انجام می‌شود که دما بین ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد. مقاوم در برابر غرقاب و همچنین خشکی می‌باشد (Watson *et al.*, 2000). گزارش شده است که پس از آتش‌سوزی، پتانسیل بالایی برای استقرار در محیط دارد (Cogliatti *et al.*, 2011). در کالیفرنیا، این گونه برای ایجاد پوشش گیاهی پس از آتش کاشته می‌شود (Harrington *et al.*, 2000).

تجزیه و تحلیل دقیق تنوع ژنتیکی از اهداف به‌نژادگران بوده که به پژوهشگران در امر شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب برای اهداف اصلاحی، یاری می‌نماید (Mohammadi and Prasanna, 2003). یکی از پیامدهای کشاورزی نوین، کاهش شدید تنوع ذخایر ژنتیکی و زیستی است که توجه به‌نژادگران را به سمت استفاده از گونه‌های وحشی این گیاهان به‌منظور غنی کردن ژرم‌پلاسما معطوف کرده است (Culvenor, 2007). ذخایر ژنتیکی طبیعی، به دلیل تکامل طی سالیان متمادی، سازگار به شرایط زیستی و عوامل نامساعد محیطی بوده و اکثراً دارای مناسب‌ترین ژن‌ها برای مقاومت به آفات مختلف و بیماری‌ها و حتی تنش‌های محیطی هستند؛ بنابراین آگاهی از این تنوع می‌تواند ابزاری مناسب برای اصلاح‌گران باشد (Mohammadi and Prasanna, 2003). پژوهشگران زیادی از روش‌های آماری چند متغیره به‌منظور تجزیه و تحلیل تنوع ژنتیکی بر اساس صفات مورفولوژیکی در گیاهانی مختلفی مانند آگروپیرون (Rahnemoun *et al.*, 2018)، فستوکا (Afkar *et al.*, 2010)، توتون (Hatami Maleki *et al.*, 2012) و گندم (Hailu *et al.*, 2006) استفاده نموده‌اند. در بین روش‌های آماری چند متغیره، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده توسط پژوهشگران محسوب می‌شود (Mohammadi and Prasanna, 2003).

در بررسی تنوع ژنتیکی و قرابت بین ۵۹ ژنوتیپ فستوکا پابلند (Ebrahimian *et al.*, 2012) نتایج نشان داد که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد و صفات مورفولوژیکی معنی‌دار بود

عرض سه برگ پرچم در هر بوته در هنگام گرده‌افشانی برحسب میلی‌متر) اندازه‌گیری شدند.

قبل از انجام تجزیه واریانس، به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها، آزمون غیر پارامتری کولموگروف-اسمیرنوف انجام گردید. برای کاهش حجم داده‌ها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد و مقیاس فاصله اقلیدسی استفاده گردید. برای تجزیه داده‌ها نرم‌افزارهای آماری SPSS و SAS به کار گرفته شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفات مورد مطالعه (جدول ۲) نشان داد که تنها برای صفاتی چون تعداد ساقه و قطر طوقه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و برای صفت قطر تاج‌پوش نیز اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس مشاهده گردید. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این پژوهش از لحاظ سایر صفات، اختلاف معنی‌داری نشان ندادند که بیانگر پایین بودن تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس بکار رفته در این پژوهش می‌باشد. در پژوهشی روی فستوکا پابلند تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها برای عملکرد و صفات مورفولوژیکی مشاهده گردید که بیانگر تنوع ژنتیکی بالا از نظر صفات مورد بررسی بود. کمترین میزان تنوع ژنتیکی مربوط به تعداد روز تا گرده‌افشانی و ارتفاع بوته و بیشترین آن مربوط به صفات روز تا گرده‌افشانی و قطر یقه بود (Ebrahimian *et al.*, 2012). در آزمایش دو سلله دیگر، روی ژنوتیپ‌های فالاریس ایرانی، نتایج حاکی از تنوع ژنتیکی مناسب در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بود که ژرم پلاسما ارزشمندی را برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی برای تولید ارقام علوفه‌ای فراهم نمودند (Mohammadi *et al.*, 2022).

مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای صفات معنی‌دار (تعداد ساقه، قطر طوقه و قطر تاج‌پوش) در بین ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس در جدول ۳ آورده شده است.

(تبریز) کشت گردید. پس از جوله‌زنی بذور در گلدان‌ها (بعد گذشت حدود یک ماه)، به‌منظور سازگاری بیشتر گیاهان با شرایط مزرعه، گلدان‌ها به خارج از گلخانه منتقل شدند. سپس در زمان کاشت (اواسط پاییز) گلدان‌ها به مزرعه تحقیقاتی انتقال داده شد و بر اساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار با تراکم پنج بوته در هر ردیف، فاصله ۶۰ سانتی‌متری بوته‌ها و ردیف‌ها از هم، مورد کشت قرار گرفتند. تا استقرار کامل بوته‌ها، آبیاری گیاهان با فاصله زمانی کمتر و وجین علف‌های هرز انجام شد. کود دهی مزرعه در اوایل فصل بهار با کودهای ازته و فسفره انجام شد. با توجه به چند ساله بودن این گیاه در سال اول بوته‌ها در مزرعه مستقر شدند و داده‌برداری در سال دوم انجام شد. به‌طوری‌که اندازه‌گیری روی سه بوته وسطی انجام گرفته و میانگین سه بوته به عنوان هر تکرار در نظر گرفته شد. بنابراین صفات در واحد تک بوته ارائه شد.

با توجه به اینکه، سال اول به‌منظور تثبیت بوته‌ها در مزرعه بود لذا داده‌برداری از بوته‌ها انجام نگردید و اول فروردین سال دوم برای ارزیابی صفات در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب که پس از ظهور اولین خوشه‌ها بر روی بوته‌ها، صفات تعداد روز تا خوشه‌دهی (بر اساس تعداد روز از اول فروردین تا ظهور سه خوشه در هر بوته)، تعداد روز تا گرده‌افشانی (بر اساس تعداد روز از اول فروردین تا ظهور اولین پرچم‌ها بر روی خوشه‌ها)، ارتفاع بوته (ارتفاع بلندترین ساقه در هر بوته برحسب سانتی‌متر از سطح خاک)، طول خوشه (میانگین طول سه خوشه در هر بوته برحسب سانتی‌متر)، عملکرد بذر (پس از برداشت بوته‌ها، ابتدا بوته‌ها خشک و سپس اقدام به کوبیدن و جدا نمودن بذور از بوته‌ها شد و عملکرد بذر بوته‌ها بر اساس گرم در بوته گزارش شد)، تعداد ساقه (شمارش تعداد ساقه‌های هر بوته در زمان خوشه‌دهی)، عملکرد علوفه خشک (پس از برداشت، بوته‌ها به مدت حداقل ۴۸ ساعت در دمای ۶۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند، سپس اقدام به توزین نمونه‌ها و گزارش برحسب گرم شد)، قطر طوقه (پس از برداشت بوته‌ها، قطر طوقه هر نمونه برحسب سانتی‌متر)، قطر تاج‌پوش (اندازه‌گیری قطر کانوبی گیاه قبل از ظهور خوشه‌ها)، طول برگ پرچم (میانگین طول سه برگ پرچم در هر بوته در هنگام گرده‌افشانی برحسب میلی‌متر) و عرض برگ پرچم (میانگین

جدول ۱- اسامی ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس مورد مطالعه

Table 1- List of selected studied phalaris genotypes

شماره Number	منشأ Origin	کد جمعیت Population code	کد ژنوتیپ Genotype code
1	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	19000/36	Ph.Aq-1
2	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/83	Ph.Aq-2
3	کاشان - کلکسیون یزد آباد Kashan-Yazd abad	16000/128	Ph.Aq-3
4	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-3	Ph.Aq-4
5	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	19000/86	Ph.Aq-5
6	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/24	Ph.Aq-6
7	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-6	Ph.Aq-7
8	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-5	Ph.Aq-8
9	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/24	Ph.Aq-9
10	کاشان - کلکسیون یزد آباد Kashan-Yazd abad	16000/60	Ph.Aq-10
11	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/147	Ph.Aq-11
12	چهارمحال و بختیاری - ایستگاه منابع طبیعی	19000/22	Ph.Aq-12
13	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-7	Ph.Aq-13
14	کاشان - کلکسیون یزد آباد Kashan-Yazd abad	16000/60	Ph.Aq-14
15	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	19000/36	Ph.Aq-15
16	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-8	Ph.Aq-16
17	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-1	Ph.Aq-17
18	کاشان - کلکسیون یزد آباد Kashan-Yazd abad	16000/59	Ph.Aq-18
19	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/24	Ph.Aq-19
20	کاشان - کلکسیون یزد آباد Kashan-Yazd abad	16000/59	Ph.Aq-20
21	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	16000/F1-2	Ph.Aq-21
22	چهارمحال و بختیاری - ایستگاه منابع طبیعی Chaharmahal and Bakhtiari-Natural Resources	19000/22	Ph.Aq-22
23	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	19000/36	Ph.Aq-23
24	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	19000/36	Ph.Aq-24
25	چهارمحال و بختیاری - ایستگاه منابع طبیعی Chaharmahal and Bakhtiari-Natural Resources	19000/22	Ph.Aq-25
26	اصفهان - بانک بذر ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه Isfahan-Fozveh seed Bank	19000/86-2	Ph.Aq-26

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس

Table 2- Analysis of variance of studied traits in selected phalaris genotypes

منبع تغییر Source of Variation	df	میانگین مربعات MS										
		تعداد روز تا خوشه‌دهی Number of days to Flowering	تعداد روز تا گرده‌افشانی Number of days to pollination	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول خوشه Spike length (cm)	عملکرد بذر Seed yield	تعداد ساقه Number of stems	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield (t/ha)	قطر طوقه Canopy diameter (cm)	قطر تاج پوش Crown Diameter (cm)	عرض برگ برچم Flag leaf width (cm)	طول برگ برچم Flag leaf length (cm)
بلوک R	2	29.62*	24.77 ^{ns}	634.19**	0.27 ^{ns}	447.96*	9845.11**	26628.75**	281.09**	32607**	3.86*	0.28 ^{ns}
تیمار T	25	11.69 ^{ns}	8.24 ^{ns}	64.45 ^{ns}	0.71 ^{ns}	155.67 ^{ns}	3430.88**	3101.63 ^{ns}	51.55**	40.91*	0.92 ^{ns}	0.58 ^{ns}
خطا E	50	6.81	7.97	61.26	0.43	92.71	1284.83	2207.19	20.77	21.87	0.90	0.45
CV (%)	-	3.58	3.34	6.31	13.87	35.53	31.17	37.32	15.86	11.34	4.37	5.84

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی‌دار

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively; ^{ns} non-significant

جدول ۳- مقایسه میانگین برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس

Table 3- Mean comparison of studied traits in selected phalaris genotypes

ژنوتیپ Genotype	قطر تاج پوش Crown Diameter (cm)	قطر طوقه Canopy diameter (cm)	تعداد ساقه Number of stems
1	42.22ae	29.99ae	127.78bc
2	41.11ae	30.00ae	94.44bc
3	47.22ab	36.44a	240.56a
4	43.88ad	33.66ad	133.00bc
5	37.77cde	25.22cf	81.89bc
6	39.44be	26.00cf	78.89c
7	37.22de	24.66def	119.11bc
8	38.89be	25.55cf	100.56bc
9	39.44be	26.55bf	90.11bc
10	46.66abc	34.11abc	137.22bc
11	43.89ad	30.89ae	88.56bc
12	48.89a	37.00a	108.33bc
13	39.44be	24.89def	100.89bc
14	40.00ae	27.00bf	140.11bc
15	41.11ae	28.44af	94.22bc
16	36.11de	24.00ef	95.89bc
17	33.88e	20.89f	111.22bc
18	44.44ad	31.66ae	152.22b
19	37.78cde	24.22ef	114.11bc
20	37.77cde	26.11bf	91.45bc
21	41.66ae	30.77af	140.89bc
22	42.78ae	29.55af	91.67bc
23	42.22ae	28.78af	103.87bc
24	41.67ae	28.99af	132.22bc
25	47.22ab	35.11ab	143.06bc
26	39.44be	26.22bf	77.22c

۲۴ و ۲۵) از ۲۶ ژنوتیپ مورد مطالعه در یک گروه قرار گرفتند و کمترین قطر طوقه نیز، ژنوتیپ شماره ۱۷ با طول ۲۰/۸۹ سانتی‌متر بود (جدول ۴). برای صفت قطر تاج‌پوش میانگین کل ژنوتیپ‌ها برابر ۴۱/۲۳ سانتی‌متر مربع بود و همانند صفت قطر طوقه، بیشترین قطر تاج‌پوش نیز با ۴۸/۸۹ سانتی‌متر مربوط به ژنوتیپ شماره ۱۲ می‌باشد. نتایج مقایسات میانگین حاکی از آن است که ژنوتیپ شماره ۱۲ با ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ در یک گروه قرار دارند. برای قطر تاج‌پوش نیز همانند صفت قطر طوقه، ژنوتیپ شماره ۱۷ با ۳۳/۸۸ سانتی‌متر مربع بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

در مورد صفت تعداد ساقه در بوته، میانگین کل ژنوتیپ‌ها برابر ۱۱۴/۹۷ بود و ژنوتیپ شماره ۳ با ۲۴۰/۵۶ عدد، بیشترین و ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۲۶ به ترتیب با ۷۸/۸۹ و ۷۷/۲۲ کمترین تعداد ساقه در بوته را داشتند. به جز ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۱۸ و ۲۶ که اختلاف معنی‌دار با یکدیگر داشتند مابقی ژنوتیپ‌ها (۲۲ ژنوتیپ از ۲۶ ژنوتیپ منتخب) در یک گروه قرار گرفتند. در مورد صفت قطر طوقه نیز میانگین کل ژنوتیپ‌ها برابر ۲۸/۷۲ بود و نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین قطر طوقه مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ و ۳ به ترتیب با طول ۳۷ و ۳۶/۴۴ سانتی‌متر بود که با ۱۲ ژنوتیپ (ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۳،

جدول ۴- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس

Table 4- Results of principal components analysis for studied traits in selected phalaris genotypes

صفات Traits	مؤلفه اول 1 st component	مؤلفه دوم 2 nd component	مؤلفه سوم 3 rd component	مؤلفه چهارم 4 th component
تعداد روز تا خوشه‌دهی Number of days to flowering	-0.272	0.222	-0.568	0.084
تعداد روز تا گرده افشانی Number of days to pollination	-0.253	0.273	-0.577	0.008
ارتفاع بوته Plant height (cm)	0.065	0.227	0.144	0.824
طول خوشه Spike length (cm)	0.336	0.106	-0.023	0.378
عملکرد بذر Seed yield (kg/ha)	0.270	-0.410	-0.039	-0.021
تعداد ساقه Number of stems	0.348	-0.234	-0.331	-0.097
عملکرد علوفه خشک Dry matter yield (t/ha)	0.416	-0.099	-0.275	-0.047
قطر طوقه Crown diameter (cm)	0.416	0.186	-0.092	-0.050
قطر تاج‌پوش Crown Diameter (cm)	0.400	0.268	-0.134	-0.009
طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	-0.072	-0.518	-0.331	0.305
عرض برگ پرچم Flag leaf width (cm)	0.199	0.454	0.032	-0.252
مقادیر ویژه (Eigenvalue)	4.63	2.22	1.36	1.06
درصد واریانس توجیهی (Proportion)	42.10	20.20	12.40	9.70
درصد واریانس تجمعی (Cumulative)	42.10	62.30	74.70	84.30

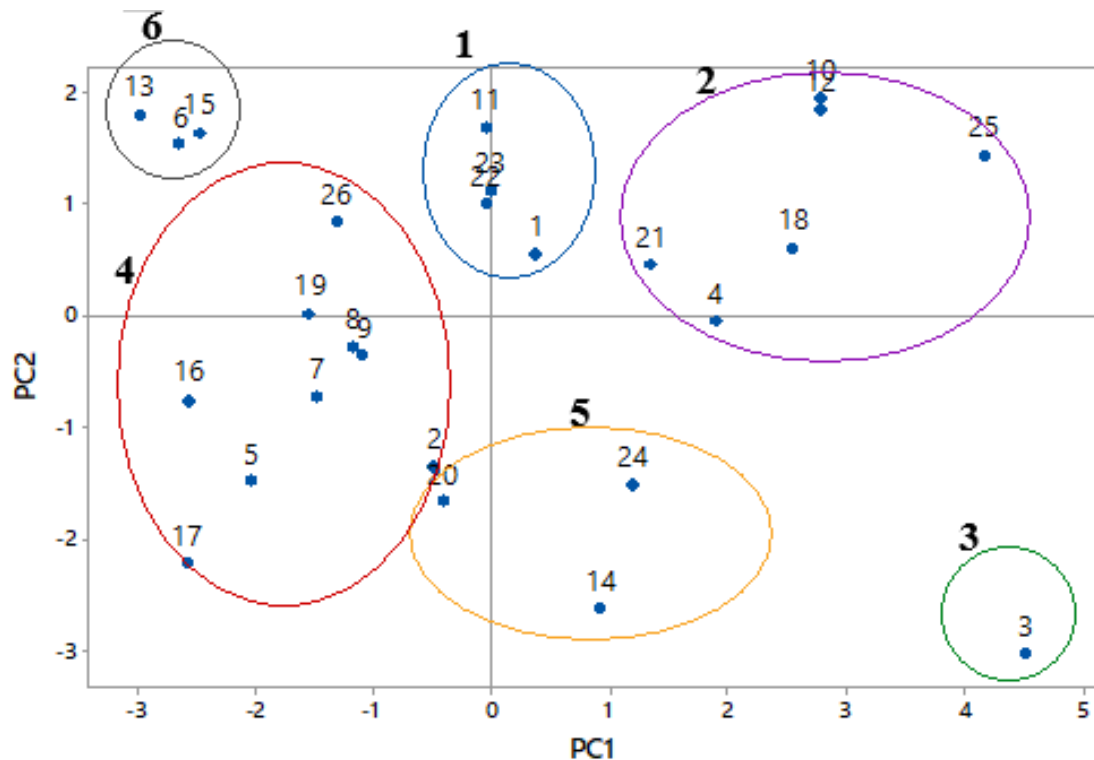
متغیرها را توجیه نمود. بررسی مقادیر نسبی ضرایب بردارهای ویژه برای مؤلفه اول نشان داد، صفاتی چون عملکرد علوفه خشک (۰/۴۱۶)، قطر طوقه (۰/۴۱۶) و قطر تاج‌پوش (۰/۴۰) دارای بالاترین ضرایب بودند که این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان عملکرد اقتصادی نام‌گذاری کرد.

نمودار پراکنش ۲۶ ژنوتیپ منتخب فالاریس، براساس دو مؤلفه اصلی اول در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه مؤلفه اول از نظر عملکرد علوفه خشک، قطر طوقه و تاج‌پوش در تمایز گروه‌ها نقش زیادی داشت و از طرفی با توجه به مثبت بودن ضرایب بردارهای ویژه این سه صفت، زیرگروه‌های سمت راست محور افقی، عملکرد علوفه‌ای بالاتری نسبت به زیرگروه‌های سمت چپ خواهند داشت. بنابراین ژنوتیپ‌های موجود در زیرگروه چهارم (شامل ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۰، ۱۲، ۱۸، ۲۱ و ۲۵) عملکرد علوفه‌ای مطلوب داشته و جزء پرمحصول‌ترین ژنوتیپ‌ها می‌باشند. در مقابل زیرگروه‌های پنجم (ژنوتیپ‌های شماره ۶، ۱۳ و ۱۵) و دوم (ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۶) کم‌ترین عملکرد علوفه‌ای را داشتند (شکل ۱).

همچنین با بررسی مؤلفه دوم مشخص شد که صفت عرض برگ پرچم دارای ضریب بردار ویژه بیشتری (۰/۴۵۴) نسبت به سایر صفات مورد ارزیابی بود که به‌عنوان توجیه‌کننده مؤثر مؤلفه دوم محسوب شد. بزرگ‌ترین مقادیر نسبی ضرایب در مؤلفه سوم مربوط به صفت تعداد روز تا خوشه‌دهی (۰/۵۶۸-) و تعداد روز تا گرده‌افشانی (۰/۵۷۷-) بود. ضرایب متنوع این بردارها حاکی از آن است که گزینش ترکیب متفاوتی از این صفات این امکان را می‌دهد که موجب بهبود عملکرد علوفه در ژنوتیپ‌های جنس فالاریس گردد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

پارامترهای حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، شامل درصد واریانس توجیه شده، مقادیر ویژه و ضرایب بردارهای ویژه، برای ۲۶ ژنوتیپ منتخب فالاریس در جدول ۴ آورده شده است. مقادیر ویژه حاصل از هر چهار مؤلفه به ترتیب ۴/۶۳، ۲/۲۲، ۱/۳۶ و ۱/۰۶ به دست آمد. همچنین درصد واریانس توجیهی برای هر مؤلفه به ترتیب شامل ۴۲/۱، ۲۰/۲، ۱۲/۴ و ۹/۷ درصد بود که در مجموع ۸۴/۳ درصد از کل واریانس



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌های مختلف فالاریس براساس دو مؤلفه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

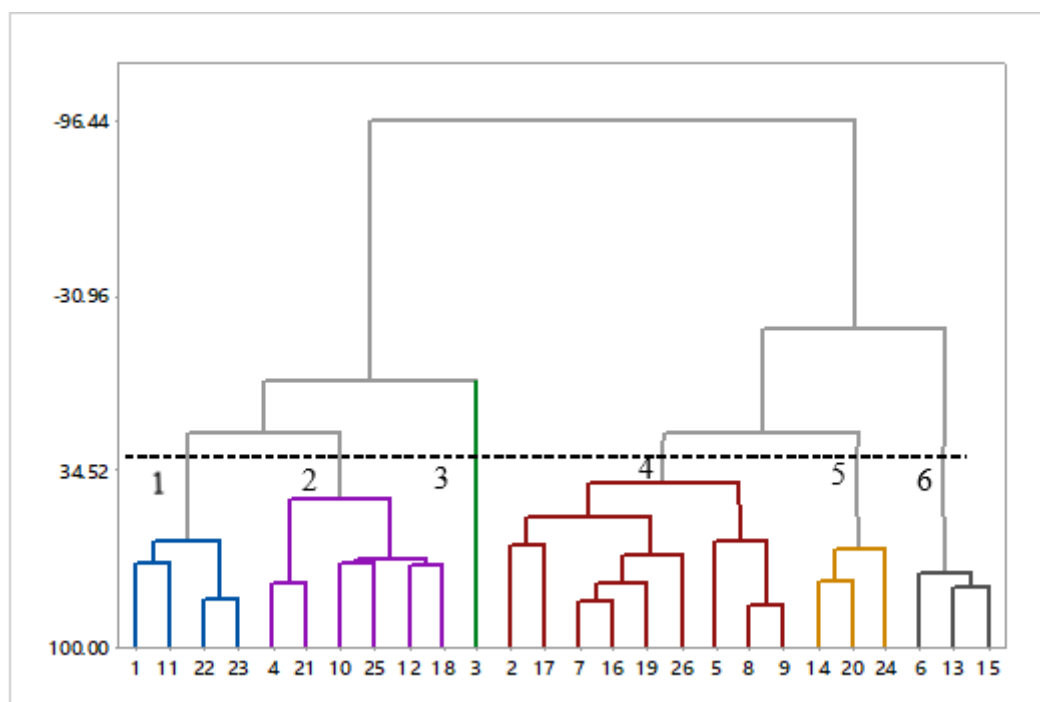
Figure 1- Scatter plot of different phalaris genotypes based on two components resulting from principal components analysis

با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، گزارش نمودند چهار مؤلفه اول، توجیه ۸۵ درصد از واریانس کل موجود در بین متغیرها را بر عهده دارند و صفاتی چون ارتفاع بوته و عملکرد مهم‌ترین عامل در مؤلفه اول بودند (Jafari et al., 2007).

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای روی ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس با ۱۱ صفت مورد مطالعه، ژنوتیپ‌ها را در دو گروه با شش زیرگروه متفاوت قرار داد (شکل ۲). با توجه به دندروگرام و بررسی تفاوت‌های موجود در بین ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس از نظر صفات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از همدیگر قابل تفکیک می‌باشند. زیرگروه اول شامل چهار ژنوتیپ، زیرگروه دوم شامل شش ژنوتیپ، زیرگروه سوم یک ژنوتیپ، زیرگروه چهارم نه ژنوتیپ و زیرگروه‌های پنجم و ششم نیز دربرگیرنده سه ژنوتیپ بود (شکل ۲).

در پژوهشی با بررسی تنوع ژنتیکی در جمعیت‌های متفاوت آگروپیرون با استفاده از صفات مورفولوژیکی، اظهار داشتند در مجموع ۹۰/۲۰ درصد از کل واریانس متغیرها توسط دو مؤلفه توجیه می‌گردد. مؤلفه اول مربوط به صفاتی چون عملکرد (علوفه خشک در چین اول، عملکرد علوفه تر در چین اول، عملکرد علوفه تر در چین دوم، ارتفاع بوته و طول خوشه) و مؤلفه دوم شامل صفاتی چون عملکرد بذر و قطر طوقه پس از برداشت چین اول بودند که مهم‌ترین صفات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه معرفی شدند (Rahnemoun et al., 2018). در پژوهشی دیگر با مطالعه تنوع ژنتیکی صفات زراعی در توده‌های بومی نخود، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی محققین به هفت مؤلفه اصلی دست پیدا کردند که در مجموع ۸۵ درصد تنوع موجود در بین توده‌های بومی نخود را توجیه کرد (Chegamirza et al., 2012). پژوهشگران دیگر به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های *A. elongatum*



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های فالاریس بر اساس میانگین صفات مورد ارزیابی و روش وارد

Figure 2- Dendrogram of cluster analysis of palaris genotypes based on the mean of the evaluated traits using Ward's algorithm

با طول و عرض پایین برگ پرچم)، ژنوتیپ‌های زیرگروه سوم (برای اکثر صفات عملکردی در بهترین وضعیت قرار دارد، عملکرد بذر بالا، عملکرد علوفه خشک بالا، قطر طوقه و قطر تاج‌پوش بالا، طول برگ پرچم بالا با تعداد ساقه خوب)،

جدول ۵، میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌های زیرگروه اول (دیررس، با ارتفاع بلند و عملکرد پایین)، ژنوتیپ‌های زیرگروه دوم (قطر طوقه پایین، قطر تاج‌پوش پایین

ژنوتیپ‌های زیرگروه چهارم (زودرس، با طول خوشه بلند و عرض برگ پرچم بلند)، ژنوتیپ‌های زیرگروه پنجم (ژنوتیپ‌های کاملاً دیررس بوده و برای اکثر صفات عملکردی در وضعیت بدی قرار دارد طول خوشه کم، عملکرد بذر پایین، تعداد ساقه کم و عملکرد علوفه خشک پایین) و ژنوتیپ‌های زیرگروه ششم (زودرس).

جدول ۵- میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای در ژنوتیپ‌های فالاریس

Table 5- Average groups resulting from cluster analysis in phalaris genotypes

	میانگین						
	کل	زیرگروه ۱	زیرگروه ۲	زیرگروه ۳	زیرگروه ۴	زیرگروه ۵	زیرگروه ۶
	Grand	subcluster 1	subcluster 2	subcluster 3	subcluster 4	subcluster 5	subcluster 6
تعداد روز تا خوشه‌دهی							
Number of days to flowering	72.73	73.97	72.57	72.11	71.00	73.63	71.33
تعداد روز تا گرده‌افشانی							
Number of days to pollination	84.55	84.78	84.47	84.11	83.67	88.04	82.93
ارتفاع بوته							
Plant height (cm)	123.92	126.50	121.61	117.22	125.59	123.78	126.41
طول خوشه							
Spike length (cm)	4.77	5.01	4.52	5.11	5.20	4.24	4.74
عملکرد بذر							
Seed yield	27.09	24.40	24.37	43.76	28.54	18.31	39.21
تعداد ساقه							
Number of stems	114.98	102.94	98.28	240.56	135.79	91.33	121.26
عملکرد علوفه خشک							
Dry matter yield (t/ha)	3.524	3.378	2.922	5.998	4.408	2.778	3.678
قطر طوقه							
Crown diameter (cm)	28.72	29.81	25.26	36.44	33.72	26.44	27.37
قطر تاج‌پوش							
Canopy Diameter (cm)	41.24	42.78	37.96	47.22	45.46	40.00	39.82
طول برگ پرچم							
Flag leaf length (cm)	21.81	21.69	22.01	23.00	21.22	21.63	22.30
عرض برگ پرچم							
Flag leaf width (cm)	11.56	11.75	11.30	11.33	11.98	11.59	11.30

کردند که دو گونه *A. cristatum* و *A. desertorum* به دلیل شباهت مورفولوژیکی بسیار زیاد از هم تفکیک نشدند (Rahnemoun *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر (Chegamirza *et al.*, 2012) تنوع ژنتیکی در ارقام و توده‌های زراعی گیاه نخود بررسی گردید که تجزیه خوشه‌ای صفات مورد مطالعه بر پایه عملکرد دلنه، منجر به گروه‌بندی توده‌های مورد بررسی در چهار گروه مختلف شد. بررسی‌ها حاکی از آن است که از تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی افراد با هدف تعیین تشابه و یا فاصله ژنتیکی آن‌ها استفاده می‌گردد؛ بنابراین هدف اصلی به‌نژادی از گروه‌بندی افراد مختلف،

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد زیرگروه سوم از لحاظ عملکرد علوفه مناسب و نسبت به بقیه عملکرد بیشتر و بهتری دارد، همچنین از لحاظ عملکرد بذری نیز در وضعیت مناسبی می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن صفاتی مانند عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های موجود در زیرگروه سوم برای کشت می‌توانند گزینه‌ی مطلوبی باشند (جدول ۵). در مطالعه‌ای با بررسی ژنوتیپ‌های آگروپیرون با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سه گروه متفاوت گروه‌بندی گردید و ژنوتیپ‌های موجود در کلاستر دوم، با توجه به عملکرد مطلوبی که داشتند، برای کشت، توصیه شدند. همچنین عنوان

جهت شرکت در برنامه‌های تلاقی برای تولید دورگ‌هایی با حداکثر هتروزیس امری ضروری می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه استفاده از تلاقی ژنوتیپ‌های داخل یک گروه تفرق مطلوبی از نظر صفات مورد بررسی به‌ویژه عملکرد و اجزای عملکرد نشان نمی‌دهد، بنابراین برای به حداکثر رساندن تفرق مطلوب صفات در برنامه‌های تلاقی باید از والدین دور که از گروه‌های مختلف تجزیه خوشه‌ای هستند، استفاده نمود. در گیاهان آزادگرده‌افشان به‌ویژه جمعیت‌های مختلف از جنس فالاریس نیز می‌توان با استفاده از تلاقی‌های تصادفی والدین با فاصله ژنتیکی زیاد و ترکیب‌پذیری عمومی بالا از پدیده هتروزیس بهره برد.

دستیابی به فاصله‌ی ژنتیکی موجود بین ژنوتیپ‌ها و در نهایت بهره بردن از تنوع ژنتیکی آن‌ها در پروژه‌های اصلاحی می‌باشد (Johnson *et al.*, 2007)

برای محاسبه اختلاف ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، فاصله ژنتیکی موجود بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش با استفاده از روش مربع اقلیدسی محاسبه شد (جدول ۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین فاصله ژنتیکی بین زیر خوشه سوم و زیر خوشه پنجم به دست آمد؛ بنابراین در صورت نیاز می‌توان از این زیرگروه‌ها در برنامه‌های اصلاحی این‌گونه به‌منظور بهره بردن از ژن‌های مطلوب آن‌ها استفاده نمود. این اطلاعات برای تعیین والدین مناسب در برنامه‌های دورگ‌گیری می‌تواند کاربرد فراوانی داشته باشد؛ بنابراین گزینش و انتخاب والدین مناسب

جدول ۶- فواصل ژنتیکی مراکز خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای صفات مورد مطالعه

Table 6- Genetic distances of cluster centers resulting from cluster analysis of studied traits

زیرگروه ۵ subcluster 5	زیرگروه ۴ subcluster 4	زیرگروه ۳ subcluster 3	زیرگروه ۲ subcluster 2	زیرگروه ۱ subcluster 1
				زیرگروه ۲ subcluster 2 18.92
			181.45	زیرگروه ۳ subcluster 3 168.00
		120.49	66.28	زیرگروه ۴ subcluster 4 49.84
	74.91	190.73	12.30	زیرگروه ۵ subcluster 5 26.00
49.29	32.87	146.09	38.91	زیرگروه ۶ subcluster 6 26.37

مانند عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های موجود در زیرگروه سوم برای کشت می‌توانند گزینه مطلوبی باشند. همچنین بررسی فواصل ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز نشان داد بیشترین فاصله ژنتیکی بین زیرگروه سوم و زیرگروه پنجم به دست آمد که در صورت نیاز می‌توان از ژنوتیپ‌های این دو زیرگروه در برنامه‌های اصلاحی این‌گونه به‌منظور بهره‌برداری از ژن‌های مطلوب آن‌ها استفاده نمود.

نتیجه‌گیری کلی

تنها برای صفات تعداد ساقه، قطر طوقه و قطر تاج‌پوش اختلاف معنی‌داری در بین ژنوتیپ‌های فالاریس مشاهده شد که بیانگر پایین بودن تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ‌های منتخب فالاریس بکار رفته در این پژوهش می‌باشد. در تجزیه خوشه‌ای، زیرگروه سوم از لحاظ عملکرد علوفه مناسب و نسبت به بقیه زیرگروه‌ها عملکرد بهتری نشان داد و از لحاظ عملکرد بذری نیز در وضعیت مناسبی قرار داشت. بنابراین با در نظر گرفتن صفاتی

References

- Afkar, S., Karimzadeh, G. and Jafari, A.A., 2010. A study of morphological variation in some genotypes of *Festuca arundinacea* using multivariate analysis. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(3), pp.151-160. [In Persian]. doi: 20.1001.1.20084811.1388.40.3.15.1

- Anonymous 2022. *Agricultural Statistics. Vol. I. Crops*. Office of Statistics and Information Technology of the Ministry of Jihad-e-Agriculture. [In Persian].
- Bourke, C.A., Colegate, S.M. and Culvenor, R.A., 2006. Evidence that N-methyltyramine does not cause *Phalaris aquatica* - related sudden death in ruminants. *Australian Veterinary Journal*, 84 (12), pp.426-427. doi: **10.1111/j.1751-0813.2006.00075.x**
- Bourke, C.A., Rendell, D. and Colegate, S.M., 2003. Clinical observations and differentiation of the peracute *Phalaris aquatica* poisoning syndrome in sheep known as 'Polioencephalo-malacia-like sudden death'. *Australian Veterinary Journal*, 81(11), pp.698-700. doi: **10.1111/j.1751-0813.2003.tb12545.x**
- Cai, H. and Yamada, T., 2013. *Genetics, Genomics and Breeding of Forage Crops*. In: C. Kole (Ed.). CRC Press. doi: **10.1201/b15564**
- Chegamirza, Sh., Chegamirza, K. and Mohammadi, R., 2012. Study of genetic variation in cultivars and landraces of chickpea based on agronomic traits in dryland conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 1(1), pp.108-119. [In Persian]. doi: **10.22092/idaj.2012.100113**
- Cogliatti, M., Bongiorno, F., Dalla Valle, H. and Rogers, W.J., 2011. Canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) accessions from nineteen countries show useful genetic variation for agronomic traits. *Canadian Journal of Plant Science*, 91, pp.37-48. doi: **10.4141/cjps09200**
- Culvenor, R., 2007. *Phalaris. Pastures Australia*, CSIRO Plant Industry.
- Culvenor, R.A., Dobbie, M.J., Wood, J.T. and Forrester, R.I., 2002. Selection for persistence under grazing in winter-active populations of the perennial grass, *Phalaris aquatica* L. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(9), pp.1059-1068. doi: **10.1071/ar02003**
- Ebrahimian, M., Majidi, M.M. and Mirlohi, A.F., 2012. Clonal evaluation and estimation of genetic similarity of tall fescue genotypes (*Festuca arundinacea* Schreb). *Journal of Plant Production*, 19(3), pp.91-108. [In Persian]. doi: **10.22092/ijrfpbgr.2020.342243.1363**
- Hailu, F., Merker, A., Singh, H., Belay, G. and Johansson, E., 2006. Multivariate analysis of diversity of tetraploid wheat germplasm from Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, pp.83-97. doi: **10.1007/s10722-005-9776-3**
- Harrington, K. and Lanini, T., 2000. *Phalaris aquatica* L. In: Bossard, C. C.; Randall, J. M.; Hoshovsky, M. C. (Eds.), *Invasive plants of California's wildlands*, University of California Press, 262-265.
- Hatami Maleki, H., Karimzadeh, G., Darvishzadeh, R. and Alavi, R., 2012. Genetic variation of oriental tobaccos using multivariate analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(1), pp.100-106. [In Persian]. doi: **10.22067/gsc.v10i1.14409**
- Jafari, A.A., Seyedmohammadi, A.R. and Abdi, N., 2007. Study of variation for seed yield and seed components in 31 genotypes of *Agropyron desertorum* through factor analysis. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic*, 15(3), pp.211-221. [In Persian]. doi: **211-221. 10.22092/ijrfpbgr.2007.114948**
- Johnson, R.A. and Wichern, D.W., 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. (4th ed.), Prentice Hall International, INC. New Jersey.

- Karimi, H., 2007. Agronomy and Improvement of Forage Plants. Tehran University Publications. pp: 430. [In Persian]. doi: **10.22059/ijfcs.2017.128238.653902**
- Ludemann, C.I. and Smith, K.F., 2015. A comparison of methods to assess the likely on-farm value for meat production systems of pasture traits and genetic gain through plant breeding using phalaris (*Phalaris aquatica* L.) as an example. *Grass and Forage Science*, 71, pp.1-13. doi: **10.1111/gfs.12164**
- Mohammadi, S.A. and Parmasa, B.M., 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants salient statistical tools and considerations. *Crop Science*, 43, pp.1235-1248. doi: **10.2135/cropsci2003.1235**
- Mohammadi, R., Pourmohammad, A., Hassanpouraghdam, M.B. and Diler, S., 2022. Genetic diversity, heritability, correlation coefficient, and path analysis of forage yield components in the Iranian *Phalaris aquatica* L. genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46, pp.1-12. doi: **10.55730/1300-011x.3090**
- Rahnemoun, B., Hatami Maleki, H. and Mohammadi, R., 2018. Genetic variability in different accessions of agropyron based on morphological traits. *Modares Journal of Biotechnology*, 9 (4), pp.517-523. [In Persian].
- Sakr, W.R. and Horti, J., 2009. Response of *Paspalum turfgrass* grown in sandy soil to trinexapacethyl and irrigation water salinity. *Journal of horticulture Science and Ornamental Plants*, 1, pp.15-26. doi: **10.22067/jhorts4.v0i0.56268**
- Watson, R.W., McDonald, W.J. and Bourke, C.A., 2000. *Phalaris pastures* (Agfacts). Agfact P.2.5.1, second edition.

Evaluation of some *Phalaris aquatica* genotypes based on agronomic traits

Mohammad-Hossein Jafarpour¹, Alireza Pourmohammad^{2*}, Reza Mohammadi³

¹ M.Sc Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

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

³ Branch for Northwest and West region, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran

*Corresponding Author: pourmohammad@ymail.com

Received: 10 December 2022 Accepted: 10 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.376110.1300

Abstract

Introduction: *Phalaris aquatica* L. (Poaceae), is perennial grass. It passes summer drought as buds at the base of reproductive tillers attached to the deep root system. Genotypes of *Ph. aquatica* show a range of incomplete endogenous dormancy. *P. aquatica*, $2n=4x=28$, is an allopolyploid or segmental allotetraploid. Many forage grass species have estimated the heritability of different agronomic traits. The selection could be operated on a highly heritable trait related to a more complex trait such as forage yield.

Evaluation of genetic diversity and study of relationships between traits based on morphological and agronomic traits can be helpful for organizing germplasm, selecting parents for hybridization, and producing segregating populations. Despite the importance of forage plants in country's animal husbandry, not much attention has been paid to the category of breeding and introduction of suitable forage plants in comparison with other crops. The main purpose of this study was to investigate *Phalaris aquatica* as a forage species in order to identify the desired genotypes for use in breeding projects.

Materials and Methods: The twenty-six *Phalaris aquatica* genotypes were selected from a large replicated nursery established, mainly consisting of natural ecotypes of *Phalaris aquatica* from broad geographical areas of Iran. A study was implemented using 26 selected *Ph. aquatica* genotypes in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in the Research Field of the Agricultural Biotechnology Research Institute (ABRI) of northwest and west region of the country in Tabriz. The *Ph. aquatica* genotypes were examined in terms of morphological and agronomical traits, seed and forage yield. Evaluated traits were number of days to flowering, number of days to pollination, plant height, spike length, number of stems, dry matter yield, crown diameter, flag leaf length and flag leaf width. Before performing a data analysis, the assumptions of analysis of variance was tested.

Results and Discussion: The results of analysis of variance (ANoVA) showed the existence of genetic diversity among selected *Phalaris aquatica* genotypes. Mean comparisons also showed that genotype Ph.aq-3 had the highest number of stems and genotypes Ph.aq-6 and Ph.aq-26 had the lowest number of stems per plant, respectively. The largest diameter of the canopy with 48.89 cm was related to genotype Ph.aq-12. Results of correlation analysis showed that dry forage yield has a positive and significant correlation with traits such as spike length, seed yield, number of stems, crown diameter and canopy diameter. In principal components analysis, four components were identified, which in total explained 84.3% of the total variance of the variables. In the first principal component, traits such as dry forage yield, crown diameter and canopy diameter, in the second component, only the leaf length and in the third component, traits such as number of days to flowering and number of days to pollination had the highest coefficients. Cluster analysis also classified the studied genotypes into six sub-clusters. Considering traits such as yield and yield components, genotypes in the third sub-cluster can be a good choice for cultivation. Also, the maximum genetic distance was obtained between the

third sub-cluster and the fifth sub-cluster, which according to the goals of the breeder, the genotypes of these two sub-clusters can be used in breeding programs for exploiting their desirable genes.

Conclusion: In conclusion, results of present research indicated low genetic variability in the studied *Ph. aquatica* genotypes and some genotypes with high production capacity or other desirable traits can be used in *Phalaris aquatica* breeding projects. Genetic diversity can be used at breeding genotypes to biotic and abiotic stresses. However, the studied *Phalaris aquatica* genotypes will deliver valuable germplasm to employ in *Phalaris aquatica* breeding programs for forage cultivar production.

Keywords: Forage yield, Genetic variation, Multivariate analysis

تجزیه ژنتیکی برخی ویژگی‌های زراعی گلرنگ با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها تحت تنش خشکی

سیده عصمت هاشمی فدکی^۱، نفیسه مهدی نژاد^{۲*}، قاسم محمدی نژاد^۳، فاطمه ابراهیمی^۳، براتعلی فاخری^۲

۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

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

* مسئول مکاتبه: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.378373.1304

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی نحوه عمل ژن برای برخی صفات کمی مهم در گلرنگ، تلاقی بین دو رقم گلدشت × آمریکایی صورت گرفت. والدین همراه با نسل‌های F1، F2، BC1.1 و BC1.2 حاصل از تلاقی در شرایط تنش رطوبتی و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار ارزیابی شدند. صفات ارتفاع، تعداد شاخه فرعی، قطر اصلی، تعداد غوزه، عملکرد تک بوته، فتوسنتز، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و SPAD یادداشت‌برداری گردیدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد میانگین مربعات نسل‌ها برای تمامی صفات در این تلاقی معنی‌دار است لذا تجزیه میانگین نسل‌ها برای تک تک صفات صورت گرفت و مشخص شد در کنترل توارث اکثر صفات، علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت، اثرات اپیستازی نیز نقش داشتند. در شرایط آبیاری معمول بیشتر صفات بجز SPAD، تعداد غوزه و قطر اصلی تحت تأثیر مدل سه پارامتری قرار گرفتند. در شرایط تنش رطوبتی نیز در کنترل توارث اکثر صفات بجز قطر اصلی اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی نقش داشتند. وجود اثرات غالبیت × غالبیت در مقایسه با پارامتر اثرات افزایشی در صفت تعداد غوزه بیانگر اهمیت بالای اثرات ژنتیکی غیر افزایشی و وراثت پیچیده این صفت می‌باشد. هم‌چنین انتخاب در نسل‌های اولیه برای صفت فوق موفقیت‌آمیز نخواهد بود. علامت مخالف اثرات غالبیت [h] و اپیستازی غالبیت × غالبیت [I] در شرایط نرمال صفت SPAD و در شرایط تنش صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه، دلیلی بر وجود اپیستازی دو گانه می‌باشد و واریانس این صفات برای نسل‌ها و جمعیت‌های در حال تفرق کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اپیستازی، آزمون مقیاس مشترک، عمل ژن، مدل ژنتیکی

مقدمه

استوار رشد می‌کند و میوه آن همانند میوه آفتابگردان به‌صورت فندقه است. قسمت مورد استفاده گیاه گلرنگ، گلبرگ‌های آن است که تا به امروز ترکیبات بسیاری مانند کوئینوچالکون‌ها، فلاونوئیدها، استروئیدها، لیگان‌ها، ترکیبات پلی‌فنولی و غیره از آن جدا شده‌اند (Zhou et al., 2014).

از جمله کارآمدترین و پایدارترین رویکردهای مطالعاتی در پژوهش‌های به‌نژادی و تولید ارقام اصلاح شده می‌توان به وجود تنوع ژنتیکی و استفاده مناسبتر از ژرم پلاسما غنی شده اشاره کرد. انجام برنامه‌های به‌نژادی و اصلاحی و انتخاب نوع روش گزینش جهت بهبود صفات زراعی و بهره‌برداری مناسبتر از تونلایی ژنتیکی این صفات، مستلزم آگاهی کامل و کافی از ساختار ژنتیکی، نوع عمل ژن‌های کنترل‌کننده، نوع و میزان اجزای ژنتیکی و نوع الگوی وراثت و سایر پارامترها می‌باشد (Amiri et al., 2020).

یکی از پیچیده‌ترین تنش‌های غیرزنده، تنش خشکی می‌باشد که سبب تغییر در رشد و نمو گیاهان می‌شود. تنش، سبب تغییر در تعادل طبیعی و هم‌چنین یک سری تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در گیاهان می‌شوند که بر روی رشد و تولید آن‌ها تأثیر منفی دارد و در نهایت رشد و میزان عملکرد نهایی گیاه را کاهش می‌دهد (Guo et al., 2010).

با توجه به اینکه گیاه گلرنگ بیشتر در نواحی نیمه خشک و خشک کشت می‌شود امروزه توجهات زیادی به تولید ارقام متحمل به خشکی معطوف گردیده است. گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) متعلق به خانواده آستراسه (Asteraceae) می‌باشد. گیاه گلرنگ با اینکه ظاهراً شبیه خار، زرد می‌باشد، اما به‌صورت علف هرز رشد نکرده است. این گیاه به صورت بوته‌ای

دو پارامتر افزایشی و غالبیت در کنترل صفات مورد بررسی معنی‌دار بودند، اما اثرات پارامتر غالبیت نسبت به اثرات افزایشی اهمیت بیشتری داشت. هم‌چنین میانگین درجه غالبیت برای تمامی صفات بیشتر از یک محاسبه شد که نشان‌دهنده پدیده فوق غالبیت می‌باشد (Shayan *et al.*, 2019). تحقیق حاضر در راستای تعیین روش اصلاحی و به‌نژادی مناسب برای صفات مهم در گلرنگ، با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها، پارامترهای ژنتیکی (اثرات افزایشی، غالبیت و اپیستازی) مورد اجرا قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام این آزمایش ابتدا تلاقی گلدشت × آمریکایی انجام شد سپس نسل F1 حاصل از این تلاقی به‌دست آمد. و با خود باروری نسل F1 نسل F2 تهیه شد. برای بدست آوردن BC1 و BC2 والدین با نسل F1 تلاقی داده شدند. بذور این نسل‌های P1، P2، F1، F2، BC1.1 و BC1.2 در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار در شرایط تنش رطوبتی و نرمال در پاییز سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی در کرمان کاشته شدند. در هر بلوک یک ردیف F1، سه ردیف F2، دو ردیف P1، دو ردیف P2، سه ردیف BC1 و سه ردیف BC2 کاشته شد. تعداد ردیف کشت بر اساس تعداد بذر حاصل از تلاقی انتخاب گردید. هر ردیف ۳ متر طول داشت و فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۲۰ سانتی‌متر بود. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه محل آزمایش مطابق جدول ۱ می‌باشد. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد شیار در شهریور ماه (قبل از کاشت) و کاشت به‌صورت دستی در نیمه آبان انجام شد.

تنش رطوبتی در مرحله ۱۰ درصد تکمه‌دهی و تا مرحله رسیدگی کامل اعمال شد. در راستای اعمال تیمار تنش خشکی، رطوبت خاک در عمق رشد ریشه (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) و میزان آب آبیاری برای تأمین کمبود اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک تا ظرفیت کشاورزی مزرعه تعیین شد و سپس در هر دو تیمار آبیاری انجام شد. برای تعیین زمان آبیاری دوم، در هر تیمار به‌منظور کاهش تعداد نمونه‌برداری رطوبت خاک، از روش پیش‌بینی با

جهت تعیین روش به‌نژادی، اصلاح و تشخیص لاین خالص و تولید دورگ، محاسبه اجزای ارزش ژنوتیپی صفات (افزایشی و غیر افزایشی) مهم می‌باشد. برای محاسبه اثرات ژنتیکی، از میانگین نسل‌های مختلف روش تجزیه میانگین نسل‌ها می‌توان استفاده کرد. این روش قادر به محاسبه اثرات متقابل بین مکان‌های ژنی می‌باشد (Mather and Jinks, 1982; Kearsy and Pooni, 1996). در این روش اثرات افزایشی و اپیستازی تابعی از درجه پراکندگی ژن‌های افزایش دهنده صفات بین والدین هستند هم‌چنین اثرات غالبیت برآیند جهت غالبیت در مکان ژنی می‌باشد. به‌صورت مشابه اگر اثرات غالبیت جهت‌دار نباشد به‌دلیل خنثی شدن اثرات متضاد مکان‌های ژنی کوچک خواهد بود. در صورت وجود این اثرات متضاد، نمی‌توان واریانس ژنتیکی را تحت تأثیر قرار داد به‌دلیل اینکه واریانس از مجموع مربعات اثرات هر مکان ژنی برآورد می‌شود و لذا به‌صورت تغییرات اثرات افزایشی و غالبیت بیان می‌گردد (Shayan *et al.*, 2017).

در نتایج پژوهش حاصل از تجزیه میانگین نسل‌ها در قالب مولفه‌های عملکرد و اجزای آن در لوبیا با استفاده از نسل‌های P1، P2، F1، F2، BC1 و BC2 علاوه بر مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت در وراثت صفاتی مانند عملکرد دلنه، وزن غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه... اثرات اپیستازی مؤثر شناخته شد (Akshi *et al.*, 2014). در پژوهشی با عنوان نحوه وراثت برخی صفات کمی از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها در نخود برای تمامی صفات مورد بررسی بجز ارتفاع بوته، علاوه بر مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت، اثرات اپیستازی نیز برآش گردید که بیانگر پیچیدگی وراثت این صفات می‌باشد هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد صفت ارتفاع بوته توسط مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت کنترل می‌شود (Ghasemi *et al.*, 2019). محققین در پژوهشی دیگر در بررسی پارامترهای ژنتیکی و با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها در تلاقی گندم در دو شرایط نرمال و تنش رطوبتی نشان دادند که اثرات اپیستازی، علاوه بر اثرات افزایشی - غالبیت، نیز در توارث تمامی صفات بررسی شده نقش داشتند (Asadi *et al.*, 2019). بررسی تجزیه ژنتیکی صفات فیزیولوژیک و زراعی گندم نان با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها در شرایط تنش رطوبتی نشان داد که اگرچه هر

B: چگالی ظاهری خاک در ناحیه توسعه ریشه (۱/۴) گرم بر سانتی‌متر مکعب)

MAD: ضریب مدیریت مزرعه برای حالت بدون تنش برابر با ۵۰ درصد و محیط تنش برابر با ۹۰ درصد بود. برای اطمینان از عدم وجود تنش در تیمار شاهد و وجود تنش در تیمار تنش، قبل از آبیاری با استفاده از ماریپیج از سه نقطه در هر تیمار رطوبتی در عمق رشد ریشه، نمونه خاک تهیه و پس از اندازه‌گیری درصد رطوبت، با مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θ_{irri}) مقایسه شد. مقدار رطوبت مورد انتظار خاک در زمان آبیاری (θ_{irri}) از رابطه زیر (۲) محاسبه شد (Ebrahimi et al., 2017):

$$\theta_{irri} = \theta_{FC} - [(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) * MAD] \quad (2)$$

اندازه‌گیری تبخیر و تعرق تجمعی استفاده شد. به طوری که پس از هر بار آبیاری، مقدار تجمعی تبخیر و تعرق (ETc) با استفاده از رابطه فائو-پنمن-مانتیس با اعمال ضریب گیاهی گلرنگ طی دوره رشد محاسبه شد. زمانی که مقدار تبخیر و تعرق تجمعی به عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (Id_2) در تیمار مورد نظر رسید، آبیاری انجام شد. عمق مجاز تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه (Id) از رابطه زیر (۱) محاسبه شد (Ebrahimi et al., 2017).

$$Id = (FC - PWP) * D * B * MAD \quad (1)$$

Id : عمق آب مجاز برای تخلیه در تیمار مورد نظر (میلی‌متر)

FC: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)

PWP: رطوبت وزنی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)

D: عمق فعال توسعه ریشه (میلی‌متر)

جدول ۱- اطلاعات خاک مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی واقع در دانشگاه شهید باهنر کرمان

Table 1- Soil information of the research field of Plant Production Technology Research Institute located in Shahid Bahonar University of Kerman

آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	مس Cu (ppm)	منگنز Mn (ppm)	پتاسیم کل Potassium (ppm)	فسفر کل Phosphorus (ppm)	نیتروژن Nitrogen (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته (Ph)	بافت خاک texture Soil
2.16	1.33	0.37	3.96	346.20	10.72	31	2.43	7.59	لومی - شنی Sandy-loamy

گردید. از نرم‌افزار SAS 9.1 و اکسل جهت آنالیز استفاده شد. در این روش میانگین کل هر صفت به صورت زیر (رابطه ۳) برآورد شد.

$$Y = m + \alpha[d] + \beta[h] + \alpha^2[i] + \alpha^2\beta[j] + \beta^2[I] \quad (3)$$

در فرمول فوق Y میانگین یک نسل، m میانگین تمام نسل‌ها، [d] مجموع اثرات افزایشی، [h] مجموع اثرات غالبیت، [i] مجموع اثرات متقابل بین ژنی، [j] مجموع اثرات متقابل بین اثرات افزایشی و غالبیت، [I] مجموع اثرات متقابل بین اثرات غالبیت و $\alpha^2\beta$ ، α^2 ، β و α ضرایب هر یک از اثرات مدل هستند.

آزمون مقیاس مشترک انفرادی (A, B, C و D) برای تعیین بهترین مدل ژنتیکی در شرایط تنش رطوبتی و نرمال بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شد. انتخاب هر مدل با استفاده از آماره کای اسکوتر از طریق مقایسه مقادیر مشاهده شده و مقادیر مورد انتظار آزمون شد. در این پژوهش ابتدا مدل سه پارامتری

صفات مورد ارزیابی

صفاتمانند روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، SPAD، شاخه فرعی، قطر اصلی، تعداد غوزه، سرعت فتوسنتز، ارتفاع و عملکرد تک بوته اندازه‌گیری شدند. میزان کلروفیل با دستگاه SPAD برای همه بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سرعت فتوسنتز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی IRGA مدل (LCA4) انجام شد. اندازه‌گیری این صفت در ساعت ۱۱ تا ۱۳ ظهر انجام شد.

تجزیه میانگین نسل‌ها

تجزیه میانگین نسل‌ها در این پژوهش، به صورت مجزا برای هر دو محیط‌های تنش رطوبتی و نرمال با استفاده از روش متر و جینکز (Mather and Jinks, 1982) انجام شد که دلیل آن وجود تفاوت نوع اثر ژن برای هر صفت در دو محیط تنش و نرمال می‌باشد. پارامترهای مختلف ژنتیکی در تجزیه میانگین نسل‌ها، با استفاده از روش کمترین مربعات وزنی محاسبه

نرم افزار SAS 9.1 انجام شد. پس از انجام تجزیه واریانس، در صورت وجود اختلاف معنی دار بین نسل‌ها برای تمامی صفات، تجزیه میانگین نسل‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای صفات مورد مطالعه، به منظور بررسی تفاوت بین نسل‌ها و هم‌چنین آثار تنش خشکی بر نسل‌های مختلف، در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بین نسل‌ها تفاوت معنی داری وجود دارد. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها در تلاقی $A \times G \times I$ نشان داد تمامی صفات مورد بررسی، تحت تأثیر محیط قرار گرفتند هم‌چنین در کلیه صفات، اثرات متقابل بین محیط و نسل‌ها دیده شد. اختلاف معنی دار بین نسل‌ها برای صفات مورد بررسی، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین نسل‌ها بوده و از این رو می‌توان پارامترهای ژنتیکی توجیه‌کننده تغییرات صفات مورد مطالعه، را در بین نسل‌ها از طریق تجزیه میانگین نسل‌ها برآورد نمود. نتایج آزمایشی روی ذرت نشان داد که اختلاف معنی دار بین نسل‌ها در صفات مورد مطالعه مشاهده گردید که با نتایج فوق مشابهت دارد (Shahrokhi *et al.*, 2013)

(افزایشی - غالبیت) بررسی شد و سپس در صورت عدم کفایت این مدل، مدل‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین مدل برای هر یک از صفات تخمین زده شد (Chokan, 2008).

$$P1=m+a \quad (۴)$$

$$P2=m-a \quad (۵)$$

$$F1=m+d \quad (۶)$$

$$F2=m+(d/2) \quad (۷)$$

$$BC1.1=m+(a/2)+(d/2) \quad (۸)$$

$$BC1.2=m-(a/2)+(d/2) \quad (۹)$$

$$A=2BC1-P1-F1 \quad (۱۰)$$

$$B=2BC2-P2-F1 \quad (۱۱)$$

$$C=4F2-2F1-P1-P2 \quad (۱۲)$$

$$D=2F2-BC1-BC2 \quad (۱۳)$$

تجزیه و تحلیل آماری

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، ابتدا فرض‌های تجزیه واریانس شامل نرمال بودن داده‌ها، فرض یکنواختی واریانس درون تیمارهای آزمایش مورد مطالعه قرار گرفت. آزمون نرمال بودن داده‌ها توسط تست کولموگروف-اسمیرنوف و آزمون یکنواختی واریانس‌های درون تیمارهای آزمایش توسط تست بارتلت انجام گرفت. سپس تجزیه واریانس مرکب با استفاده از

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای نسل‌های مختلف حاصل از تلاقی گلدشت × امریکایی

Table 2- Variance analysis of studied traits for different generations resulting from crossbreeding American Goldasht

منبع تغییرات S.O.V	درجه ازادی D.F	ارتفاع Height	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter	عملکرد تک بوته Single- plant yield	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
مکان Place	1	12301.67**	204.63**	1459.84**	8861.57**	419.58**	23997.68**	260.83**	678.83**
تکرار(مکان) Repeat (Place)	2	0.05	0.21	0.82	2.07	0.22	3.52	0.03	0.01
نسل generation	5	132.06**	27.67**	2006.24**	382.48**	25.60**	2541.45**	9.89**	152.03**
مکان × نسل Place×generation	5	279.57**	13.51**	2187.72**	279.62**	7.61**	207.99**	9.20**	21.26**
خطا Error	10	1.69	0.38	0.13	0.44	0.13	2.01	0.01	0.34
ضریب تغییرات C.V		1.19	1.0	2.00	1.35	2.45	1.07	1.83	0.48

*, ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

نتایج تجزیه میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

محاسبه اجزای ارزش ژنوتیپی صفات مختلف (افزایشی و غیر افزایشی) برای برآورد روش به‌نژادی و تشخیص لزوم تولید دو رگ و یا لاین خالص مهم می‌باشد. در این پژوهش برای محاسبه پارامترهای ژنتیکی از روش حداقل مربعات وزنی، به دلیل تفاوت واریانس‌ها در نسل‌ها استفاده شد. در این روش پارامترهای میانگین [m]، افزایشی [d] و غالبیت [h] بطور همزمان از هر شش میانگین بدست آمده و به‌عنوان وزن استفاده می‌شود. هم‌چنین اطلاعات هر نسل که عبارت از عکس واریانس میانگین نسل‌هاست، محاسبه گردید. کفایت مدل سه پارامتری

(افزایشی - غالبیت) از روش آزمون مقیاس مشترک وزنی با استفاده از آزمون کای اسکوئر محاسبه شد (جدول ۳ و ۴).
آماره کای اسکوئر در آزمون مقیاس مشترک وزنی در محیط رطوبتی نرمال در تلاقی A×Gol برای بعضی صفات بجز صفات SPAD، تعداد غوزه، قطر اصلی و فتوسنتز معنی‌دار نشد و کفایت مدل سه پارامتری تایید شد. هم‌چنین در محیط تنش رطوبتی، آماره کای اسکوئر برای تمامی صفات بجز قطر اصلی معنی‌دار شد و عدم کفایت مدل سه پارامتری و وجود اثر اپیستازی تایید شد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- تخمین پارامترهای ژنتیکی صفات ارزیابی شده در گیاه گلرنگ با مدل سه پارامتری، در تلاقی Gol*A در محیط عدم تنش

Table 3- Estimation of genetic parameters of evaluated traits in safflower plant with three-parameter model, in crossbreeding Gol*A in non-stress humidity environment

روز تا ۵۰٪ گلدهی	فتوسنتز	عملکرد تک بوته	قطر اصلی	تعداد غوزه	شاخه فرعی	SPAD	ارتفاع	گلدشت نرمال
Day up to 50% flowering	Photosynthesis	Single-plant yield	main diameter	Numbe. Boll	Number.branch		Height	G.N
154.55**	8.52**	193.57**	19.44**	73.83**	18.36**	66.14**	132.74**	میانگین m
7.68**	-1.87	18.08**	-2.03	-7.69*	2.65*	-4.48*	-5.55**	اثرات افزایشی d
4.16**	0.04	-70.46**	-2.37**	-12.51*	-2.42	-0.78	-3.69*	اثرات غالبیت h
4.27	238.25**	4.14	120.25*	58.70**	3.34	28.26**	5.50	کای اسکوئر χ^2

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

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

جدول ۴- تخمین پارامترهای ژنتیکی صفات ارزیابی شده در گیاه گلرنگ با مدل سه پارامتری، در تلاقی Gol*A در محیط رطوبتی تنش

Table 4- Estimation of genetic parameters of traits evaluated in safflower plant with three-parameter model, in crossbreeding Gol*A in stress humidity environment

روز تا ۵۰٪ گلدهی	فتوسنتز	عملکرد تک بوته	قطر اصلی	تعداد غوزه	شاخه فرعی	SPAD	ارتفاع	گلدشت تنش
Day up to 50% flowering	Photosynthesis	Single-plant yield	main diameter	Numbe. Boll	Number.branch		Height	G.T
147.28**	2.69**	114.71**	11.10**	32.18**	11.16**	57.63**	78.52**	میانگین m
6.81*	1.21*	20.28**	-3.57**	0.73	0.16	-0.70	2.31*	اثرات افزایشی d
-4.83*	-0.61**	-44.51**	-1.24	-4.42*	-1.78	4.37*	9.15	اثرات غالبیت h
382.79**	1772.36**	23.45**	4.25	9.88*	13.50**	25.17**	1198.93**	کای اسکوئر χ^2

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

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

گونه‌ای از خانواده براسیکاسه مشخص گردید که علاوه بر اثرات افزایشی و غالبیت در وراثت صفات فنولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد و میزان روغن دانه، پارامتر اپیستازی در کنترل این صفات مؤثر می‌باشد. با توجه به نوع تلاقی و صفت مورد مطالعه ماهیت اپیستازی متفاوت می‌باشد (Singh *et al.*, 2017). در پژوهشی دیگر با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها در گندم نان تحت شرایط تنش رطوبتی مشخص گردید که اثرات غالبیت برای صفات وزن سنبله اصلی، عملکرد دانه، تعداد پنجه و تعداد دانه در سنبله مؤثرتر از اثرات افزایشی می‌باشد. اثرات متقابل پارامتر غیر افزایشی (اپیستازی افزایشی × افزایشی) فقط برای صفات مورد مطالعه شامل شاخص برداشت، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله اصلی مشاهده شد (Abedi *et al.*, 2015).

لذا به منظور بررسی بهتر کفایت مدل سه پارامتری بکار رفته، از آزمون مقیاس انفرادی A, B, C و D نیز برای بررسی کفایت مدل سه پارامتری استفاده شد و نتایج آن در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. نتایج این آزمون نشان داد علیرغم کفایت مدل افزایشی - غالبیت بدون ورود اپیستازی و عدم کفایت مدل سه پارامتری به هنگام ورود اپیستازی، آثار اپیستاتیک در کنترل برخی از صفات در شرایط رطوبتی نرمال و تنش وجود دارد. هر دو آزمون‌های فوق، برای تشخیص اینکه آیا مدل ساده افزایشی - غالبیت کفایت می‌کند یا خیر استفاده شدند. معنی‌دار شدن و عدم معنی‌داری هر یک از آزمون‌ها نشان‌دهنده پیچیدگی کنترل ژنتیکی صفت مورد بررسی است (Chiangmai *et al.*, 2013). در پژوهشی با استفاده از روش تجزیه میانگین نسل‌ها و آزمون مقیاس انفرادی در سه تلاقی

جدول ۵- آزمون مقیاس انفرادی A, B, C و D صفات ارزیابی در گیاه گلرنگ در تلاقی Gol*A در محیط فاقد تنش

Table 5- Individual scale test of A, B, C and D evaluation traits in safflower plant in crossing Gol*A in the humidity environment of non stress

شرایط نرمال normal conditions	آزمون Test	ارتفاع Height (cm)	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter (mm)	عملکرد تک بوته Single- plant yield (gr)	فتوسنتز Photosynthesis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
گلدهی × امریکایی Gol × American	A	0.681	0.436	1.681	3.828**	0.336	1.987	1.562	1.747
	B	0.342	0.570	0.530	5.649**	0.531	0.243	12.986**	0.882
	C	1.621	4.099**	0.541	1.457	10.635**	0.490	2.553**	0.514
	D	1.873	5.213**	0.276	1.673	10.296**	0.739	4.921**	1.503

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

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

جدول ۶- آزمون مقیاس انفرادی A, B, C و D صفات ارزیابی در گیاه گلرنگ در تلاقی Gol*A در محیط تنش

Table 6- Individual scale test of A, B, C and D evaluation traits in safflower plant in Gol*A crossing in stress humidity environment.

شرایط تنش Stress conditions	آزمون Test	ارتفاع Height (cm)	SPAD	شاخه فرعی Number.branch	تعداد غوزه Numbe. Boll	قطر اصلی main diameter (mm)	عملکرد تک بوته Single- plant yield (gr)	فتوسنتز Photosynthe sis	روز تا ۵۰٪ گلدهی Day up to 50% flowering
گلدهی × امریکایی Gol × American	A	22.89**	2.58**	1.75	2.32*	0.11	0.62	25.34**	14.34**
	B	21.49**	1.24	2.63**	2.23*	0.80	3.68**	30.08**	9.87**
	C	2.13**	4.69**	0.02	2.59**	1.78	3.30**	0.48	0.60
	D	3.84**	2.34*	2.28*	0.10	1.91	1.44	32.81**	16.62**

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

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

و برای صفات مورد مطالعه فوق‌گزینش تحت شرایط خودگشنی قابل تثبیت نمی‌باشد. محققین در پژوهشی در مورد صفات طول پدانکل، طول ریشک و طول برگ پرچم در گندم به نتایج مشابه این پژوهش دست یافتند (Golabadi *et al.*, 2008). علامت مثبت و منفی پارامتر غالبیت [h]، به ترتیب غالبیت مثبت و منفی در صفات مورد بررسی را بیان می‌کند. در واقع منفی بودن این پارامتر بیانگر این است که غالبیت نسبی به طرف والدی رخ داده که دارای میانگین کوچکتری برای صفت مورد مطالعه می‌باشد به عبارتی دیگر، غالبیت نسبی در جهت کاهش صفت مورد بررسی در تلاقی‌های مورد مطالعه پیش می‌رود. مثبت بودن پارامتر h بیانگر این است که غالبیت نسبی برای صفت مورد مطالعه به طرف والدی که دارای میانگین بالاتری است اتفاق افتاده است و غالبیت نسبی در جهت افزایش اندازه صفت مورد مطالعه وجود دارد (Shayan *et al.*, 2017).

اثرات غیر افزایشی (اثرات اپیستازی)

با مشاهده پارامتر اپیستازی منطقی است که فرض کنیم تعداد زیادی ژن این صفات را کنترل می‌کنند. در واقع عمل ژن اپیستازی در نحوه توارث صفات کیفی معمول نمی‌باشد ولی برای صفات کمی معمول است. منطقی است که فرض کنیم تعداد عواملی (بین مکان‌های ژنی و بین آلل‌ها) که باهم اثر متقابل دارند سبب افزایش مقدار ژن‌های کنترل‌کننده صفات می‌شود (Mather and Jinks, 1982). میلنگین و اجزای ژنتیکی برای صفات مورد بررسی، در شرایط نرمال رطوبتی و تنش در تلاقی اول به شرح ذیل می‌باشد:

ارتفاع، SPAD، تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه

در مورد این صفات در شرایط نرمال رطوبتی در تلاقی A×Gol مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l برای صفت SPAD، برای صفت ارتفاع مدل ۳ پارامتری m-d-h. صفت تعداد شاخه فرعی مدل m-d و برای صفت تعداد غوزه مدل ۴ پارامتری m-d-h-z، به‌عنوان بهترین مدل برگزیده شد (جدول ۶). هم‌چنین در شرایط محیطی تنش خشکی در تلاقی Gol×A مدل ۳ پارامتری m-d-z برای صفت ارتفاع، مدل ۴ پارامتری m-d-h-i برای صفت SPAD، صفت تعداد شاخه فرعی مدل ۴ پارامتری m-d-h-l و برای صفت تعداد غوزه مدل ۴ پارامتری m-d-h-l

محاسبه پارامتر میانگین، اثر افزایشی و غالبیت

نتایج این پژوهش نشان داد در این تلاقی و هر دو محیط نرمال و تنش رطوبتی پارامتر m برای تمامی صفات معنی‌دار بود. معنی‌دار شدن این پارامتر در تمام صفات، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین والدین می‌باشد. بنابراین پارامتر m نیز اهمیت زیادی پیدا خواهد کرد (جدول ۳ و ۴). نتایج این پژوهش (جدول ۳ و ۴) نشان داد که در تلاقی A×Gol در شرایط نرمال رطوبتی تمامی صفات، بجز سرعت فتوسنتز و قطر اصلی و هم‌چنین در شرایط تنش رطوبتی اکثر صفات بجز SPAD، تعداد غوزه و شاخه فرعی پارامتر [d] معنی‌دار گردید که بیانگر سهم مؤثر اثرات افزایشی ژن‌ها در کنترل ژنتیکی این صفات مورد مطالعه است و گزینش برای مقاومت به تنش رطوبتی در نسل‌های اولیه مؤثر می‌باشد. مثبت بودن پارامتر d به معنی برتری والد غالب در کنترل صفت مربوطه است. منفی بودن ارزش d نشان‌دهنده ارزش بیشتر والد مغلوب نسبت به والد غالب در کنترل صفت است. لذا بایستی ذکر کرد که علامت اثرات افزایشی بستگی به این دارد که کدام والد P1 یا P2 باشد (Shayan *et al.*, 2017). مقدار بالای [d] در صفت عملکرد تک بوته در شرایط نرمال رطوبتی تلاقی A×Gol و در شرایط تنش رطوبتی در صفت عملکرد و ارتفاع بوته نشان می‌دهد که روش‌های مبتنی بر گزینش برای اصلاح صفات فوق‌مناسب می‌باشد (جدول ۷ و ۸). نتایج آزمایشی روی ذرت نشان داد که برای ارتفاع بوته، اثرات افزایشی ژن نقش مهمی داشت که با نتایج فوق‌مشابهت دارد (Olakojo and Olaoye, 2005).

نتایج این پژوهش بیانگر این است که اثرات غالبیت علاوه بر اثرات افزایشی تأثیر بسزایی در کنترل صفات مورد بررسی دارد. نتایج نشان داد که در تلاقی Gol×A در شرایط نرمال رطوبتی تمامی صفات بجز SPAD، شاخه فرعی و سرعت فتوسنتز و هم‌چنین در شرایط تنش خشکی اکثر صفات بجز ارتفاع، شاخه فرعی و قطر اصلی پارامتر [h] معنی‌دار گردید (جدول ۳ و ۴).

در این پژوهش مقدار اثرات غالبیت [h] از اثرات افزایشی [d] در تلاقی (Gol×A) در شرایط عدم تنش، در صفت سرعت فتوسنتز و در شرایط تنش خشکی صفات SPAD و قطر اصلی (جدول ۷ و ۸) به مراتب بیشتر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در توارث صفات مذکور، فراسنجه غالبیت نقش مؤثری دارد

تنش خشکی در تلاقی $t \times o$ گلرنگ انجام شد نتایج نشان داد صفت تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر اثرات غالبیت \times غالبیت معنی‌دار شد (Ebrahimi Lenji *et al.*, 2017).

علامت مخالف اثرات غالبیت [h] و اپیستازی غالبیت \times غالبیت [I] در تلاقی اول $A \times Gol$ در شرایط نرمال صفت SPAD و در شرایط تنش صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه، دلیلی بر وجود اپیستازی دو گانه می‌باشد و واریانس این صفات برای نسل‌ها و جمعیت‌های در حال تفرق کاهش می‌یابد. این نوع اپیستازی، در جهت انتخاب گیاهان برتر مشکل ایجاد می‌کند و روند اصلاحی را آهسته‌تر و انتخاب تا دسترسی به میزان بالایی از تثبیت ژنی بایستی به تأخیر افتد (Ghanbari *et al.*, 2016).

به‌عنوان بهترین مدل برازش شد (جدول ۸). در مطالعه‌ای محققین تعداد سنبله بارور در بوته در شرایط تنش رطوبتی تحت تأثیر اثرات اپیستازی غالبیت \times غالبیت برآورد کردند که با نتایج این مطالعه (تعداد غوزه در شرایط تنش) مطابقت داشت (Amiri *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای که با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها بر روی تلاقی کلزا انجام شد، نتایج نشان داد که مدل ساده افزایشی- غالبیت برای توجیه صفت ارتفاع در شرایط تنش رطوبتی کافی نمی‌باشد بلکه اپیستازی برای توجیه آن نشان داده شد و در شرایط نرمال رطوبتی این صفت مدل اپیستازی وارد نشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ahmadian *et al.*, 2016). در پژوهشی دیگر با روش تجزیه میانگین نسل‌ها با استفاده از مدل ۶ پارامتری در محیط رطوبتی

جدول ۷- برآورد اجزای ژنتیکی مختلف برای صفات مورد بررسی در تلاقی $Gol \times A$ در شرایط عدم تنش رطوبتی

Table 7- The estimation of different genetic components for the studied traits in the cross of $Gol \times A$ in the condition of no humidity stress

صفات گل‌دشت نرمال T.G.N	میانگین M	[d]	[h]	[i]	[j]	[I]
ارتفاع Height (cm)	132.74**	-5.55**	-3.69*	-	-	-
SPAD	78.34**	-4.64**	-27.24**	-12.51**	-	13.90**
شاخه فرعی Number.branch	18.36**	2.65*	-2.42 ^{ns}	-	-	-
تعداد غوزه Number Boll	73.33**	-10.19**	-11.34**	-	15.37*	-
قطر اصلی main diameter (mm)	46.70**	-1.70*	-57.61**	-28.27**	-	27.04**
عملکرد تک بوته Single-plant yield(gr)	193.57**	18.07**	-70.46*	-	-	-
فتوسنتز Photosynthesis	6.67**	0.77	1.01*	4.15*	-	-
روز تا ۵۰ درصد گل Day up to 50% flowering	154.55**	7.68**	4.16*	-	-	-

*, **, و^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

m: میانگین والدین، d: مجموع اثرهای افزایشی، h: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی، i: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی و غالبیت، j: مجموع اثر متقابل غالبیت

[m]: mid-parent value, [d]: pooled additive effects, [h]: pooled dominance effects, [i]: pooled interactions between additive effects, [j]: pooled interactions between additive and dominance effects, [I]: pooled interactions between dominance effects

جدول ۸- برآورد اجزای ژنتیکی مختلف برای صفات مورد بررسی در تلاقی Gol*A در شرایط تنش رطوبتی

Table 8- The estimation of different genetic components for the examined traits in the Gol*A cross under humidity stress conditions

صفات گل‌دشت تنش T.G.T	M	[d]	[h]	[i]	[j]	[l]
ارتفاع Height (cm)	85.11**	18.98**	0.99	-	-76.24**	-
شاخه فرعی Number.branch	17.69**	0.09	-20.54*	-6.27*	-	12.52*
تعداد غوزه Number Boll	32.67**	0.48**	-12.87**	-	-	9.02**
قطر اصلی main diameter (mm)	11.10**	-3.57**	-1.24	-	-	-
عملکرد تک بوته Single-plant yield(gr)	145.42**	21.15**	-76.50**	-32.34**	-22.78**	-
فتوسنتز photosynthesis	8.38*	1.15*	-15.89*	-5.21*	-	10.43*
روز تا ۵۰ درصد گل دهی Day up to 50% flowering	190.34**	7.49*	-123.19*	-41.74*	-	82.01*

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*، **: Probability level of significantly in 0.05 and 0.01 respectively

m: میانگین والدین، d: مجموع اثرهای افزایشی، h: مجموع اثرهای غالبیت، i: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی، j: مجموع اثر متقابل اثرهای افزایشی و غالبیت، l: مجموع اثر متقابل غالبیت

[m]: mid-parent value, [d]: pooled additive effects, [h]: pooled dominance effects, [i]: pooled interactions between additive effects, [j]: pooled interactions between additive and dominance effects, [l]: pooled interactions between dominance effects

عملکرد تک بوته و سرعت فتوسنتز

در مورد این صفات در شرایط نرمال رطوبتی در تلاقی Gol×A مدل سه پارامتری m-d-h برای صفت عملکرد تک بوته، برای صفت سرعت فتوسنتز مدل ۳ پارامتری m-h-i به‌عنوان بهترین مدل برازش شد. هم‌چنین در شرایط محیطی تنش رطوبتی این تلاقی، مدل ۵ پارامتری m-h-d-i-j برای صفات عملکرد تک بوته، مدل ۵ پارامتری m-d-h-i-l برای صفت سرعت فتوسنتز به‌عنوان بهترین مدل گزینش شد (جدول ۷ و ۸).

در تحقیقی دیگری که با روش تجزیه میانگین نسل‌ها با استفاده از مدل ۵ پارامتری انجام شد نتایج نشان داد اثر غالبیت و اثرات متقابل غیر آلی برای عملکرد معنی‌دار شد که بیانگر نقش پررنگتر اثرات غالبیت در کنترل این صفت بود که با نتایج فوق مشابهت دارد (Zangane et al., 2016). در پژوهشی

دیگری با استفاده از تجزیه میانگین نسل‌ها نشان داده شد که کلروفیل در تلاقی دلگان × اوپرا تحت تأثیر اپیستازی (مدل ۵ پارامتری m-d-h-j-l) قرار گرفته است که تا حدی با نتایج این مطالعه در شرایط تنش رطوبتی تلاقی اول گل‌دشت × آمریکایی مطابقت داشت (Jamshidimoghaddam et al., 2020).

قطر اصلی و روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی

نتایج تجزیه میانگین نسل‌های این آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط نرمال در تلاقی Gol×A برای صفات قطر اصلی مدل ۵ پارامتری شامل [m-d-h-i-l] و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی مدل سه پارامتری m-h-d مناسبترین مدل برای توجیه کنترل ژنتیکی این صفات می‌باشد. نتایج این تلاقی در شرایط تنش رطوبتی بیانگر آن است که برای صفت قطر اصلی مدل ۲ پارامتری m-d، و روز تا ۵۰٪ گل‌دهی مدل ۵

مطالعه اثرات افزایشی نسبت به اثر ژنتیکی غالبیت نقش مهمی در کنترل صفات روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و عملکرد دارد؛ لذا می‌توان از روش‌های به نژادی مبتنی بر گزینش برای اصلاح صفات فوق استفاده کرد. به‌طور کلی با توجه به وجود اثرات غالبیت ژنی در کنترل صفات SPAD و تعداد غوزه در شرایط نرمال مورد مطالعه، تولید ارقام هیبرید برای افزایش عملکرد در واحد سطح در جمعیت حاصل از تلاقی گلدشت × آمریکایی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و همکاری پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان تقدیر و تشکر می‌گردد. هم‌چنین، این تحقیق توسط کمک هزینه پژوهشی (UOZ-GR-3014) دانشگاه زابل حمایت شده است و مراتب سپاس خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه زابل اعلام می‌داریم.

پارامتری m-d-h-i-l به‌عنوان بهترین مدل برازش شدند (جدول ۷ و ۸). در پژوهشی دیگری که با روش تجزیه میانگین نسل‌ها با استفاده از مدل ۶ پارامتری در محیط رطوبتی در تلاقی $t \times p$ گلرنگ انجام شد نتایج نشان داد صفت روز تا گل‌دهی تحت تأثیر اثرات غالبیت × غالبیت می‌باشد که بیانگر توارث پیچیده صفات است و هم‌چنین نتایج نشان داد که این صفت در شرایط نرمال رطوبتی تحت تأثیر هیچ اثرات اپیستازی قرار نگرفت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ebrahimi Lenji *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که در اکثر صفات مورد مطالعه در تلاقی گلدشت × آمریکایی علاوه بر اجزای مدل سه پارامتری افزایشی - غالبیت، اثرات اپیستازی دارای اهمیت بالایی هستند. در جمعیت مورد

References

- Abedi, J., Baghizadeh, A. and Mohammadi-Nejad, G., 2015. Genetic analysis for some morphological traits in bread wheat under drought stress condition using generations mean analysis. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 11(2), pp.40-48.
- Ahmadian, S., Mortazavian, M.M., Ebrahimi, M., Amini, F., Ghorbani Javid, M. and Foghi, B., 2016. Genetic Analysis of some morphological traits in wheat using generation mean analysis under normal and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 20(8), pp.175-182. [In Persian]. doi: 10.22077/escs.2020.2372.1614
- Akshi, N., Cheghamirza, K., Nazarian-Firouzabadi, F. and Ahmadi, H., 2014. Generation mean analysis for yield common bean. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 4(3), pp.1079-1085.
- Amiri, R., Bahraminejad, S. and Cheghamirza, K., 2020. Genetic analysis of iron and zinc concentrations in bread wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 95, pp.103077. doi: 10.1016/j.jcs.2020.103077
- Asadi, A.A., Valizadeh, M., Mohammadi, S.A. and Khodarahmi, M., 2019. Genetic Analysis of Response to Water Deficit Stress Based on Physiological Traits in Wheat. *Plant Genetic Researches*, 6(2), pp.1-20. [In Persian]. doi: 10.29252/pgr.6.2.1
- Chiangmai, P.N., Yodmingkhwan, P., Nilprapruck, P., Aekatasanawan, C. and Kanjanamaneesathian, M., 2013. Generation means analysis of phytic acid and inorganic phosphorus contents in corn (*Zea mays* L). *Maydica*, 58, pp.243-253
- Chokan, R., 2008. Methods of genetic analysis of quantitative traits in plant breeding. Ministries of agricultural jihad. agricultural extension, education and research organization. Research institute for breeding and preparation of seed seedlings. [In Persian].

- Ebrahimi Lenji, H., Mirlohi, F. and Majidi, M.M., 2017. Genetic analysis of different traits in safflower using generation mean analysis of inter-specific crosses under water stress and non-stress conditions. M.S thesis. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. [In Persian].
- Ebrahimi, F., Majidi, M.M., Arzani, A., Mohammadi Nejad, GH. and Dehghan Kouhestani, R., 2017. yield potential and drought tolerance of some domestic and foreign varieties of *safflower* in three regions of Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(3), pp.1-18. [In Persian]. doi: 10.29252/jcpp.7.3.1
- Ghanbari, F., Moosavi, S.S., Abdollahi, M.R. and Kiani, E., 2016. Estimation of genetic parameters in maize (*Zea Mays* L.) by generation mean analysis under normal and moisture stress condition. M.S thesis. Faculty of Agriculture. BU-Ali Sina University. [In Persian].
- Ghasemi, P., Karami, E. and Talebi, R., 2019. The inheritance of some quantitative traits in the chickpea through the generation mean analysis. *Journal of Plant Ecophysiology*, 47(1), pp.28-40. [In Persian]. doi: 10.3389/fpls.2021.734980
- Golabadi, M., Arzani, A. and Mibodi, S.M.M., 2008. Genetic analysis of some morphological traits of durum wheat by generation average under normal conditions and drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 24(1), pp.99-116. [In Persian]. doi: 10.29252/jcpp.7.3.1
- Guo, X.Y., Zhang, X.S. and Huang, Z.Y., 2010. Drought tolerance in three hybrid poplar clones submitted to different watering regimes. *Journal of Plant Ecology*, 3(2), pp.79-87. doi: 10.1093/jpe/rtq007
- Jamshidmoghaddam, M., Farshadfar, E. and Najafy, A., 2020. Genetic analysis of agro-physiological characteristics in three crosses of rapeseed (*Brassica napus* L.) using generation mean analysis in semi-cold area under drought stress conditions. *Journal of Iran Rainfed Agriculture*, 9(2), pp.173-194. [In Persian]. doi: 10.22092/idaj.2021.342566.299
- Kearsy, M.J. and Pooni, H.S., 1996. The genetic analysis of quantitative traits. Chapman and Hall, London, UK.
- Mather, K. and Jinks, J.L., 1982. Biometrical genetics: the study of continuous variation. London UK.
- Olakojo, S.A. and Olaoye, G., 2005. Combining ability for grain yield, agronomic traits and Strigaluteteoiernceof maize hybrids under artificial striga infestation. *African Journal of Biotechnology*, 4(9), pp.984–988.
- Shahrokhi, M., Khavari Khorasani, S. and Ebrahimi, A., 2013. Study of genetic components in various maize (*Zea mays* L.) traits, using generation mean analysis method. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(3), pp.405-412.
- Shayan, S., Moghaddam Vahed, M., Norouzi, M., Mohammadi, S. and Toorchi, M., 2019. Genetic analysis of agronomic and physiological traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using generation mean analysis under drought stress conditions and spring planting in the cold climate. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(3), pp.210-224. [In Persian]. doi: 10.29252/abj.21.3.210.
- Shayan, S., Moghaddam Vahed, M., Norouzi, M., Mohammadi, S.A., Toorchi, M. and Molaei, B., 2017. Inheritance of agronomical and physiological traits in the progeny of moghan3 and arg bread wheat varieties cross. *Plant Genetic Researches*, 4(2), pp.43-60. [In Persian]. doi: 10.29252/pgr.4.2.43.
- Singh, A.P.K., Verma, O.P. and Kumar, K., 2017. Genetic analysis for seed yield and its related attributes in

- Yellow Sarson (*Brassica rapa* var. *Yellow Sarson*). *Journal of Oilseed Brassica*, 8(1), pp.43-51
- Zangane, K., Malekzadeh Shafaroudi, S., Shahriyari, F. and Nezami, A., 2016. Evaluation of gene action and heritability of some important traits (*Cicer arietinum* L.) by generation mean and variance analysis. M.Sc. Thesis in Plant Breeding Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture. [In Persian].
- Zhou, X., Tang, L., Xu, Y., Zhou, G. and Wang, N.Z., 2014. Towards a better understanding of medicinal uses of *Carthamus tinctorius* L. in traditional Chinese medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal Ethnopharmacol*, 151, pp.27–43. doi: 10.1016/j.jep.2013.10.050

Genetic analysis of some agronomic characteristics of safflower using mean analysis of generations under drought stress

Seyedah Esmat Hashemi Fadaki¹, Nafiseh Mahdinezhad^{2*}, Ghasem Mohammadi Nejad³,
Fatemeh Ebrahimi³, Baratali Fakheri²

¹ Ph.D Student of Genetics and Plant Breeding, Department of Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

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

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

*Corresponding Author: nmahdinezhad@uoz.ac.ir

Received: 26 December 2022 Accepted: 6 March 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.378373.1304

Abstract

Introduction: Studying the genetic system that controls important agricultural traits is one of the most important prerequisites for choosing a suitable breeding method. The most genetic diversity of a plant species can be seen in its native genotypes and wild species. Investigating heritability, how genes work, and determining an effective breeding method to improve physiological traits, especially in conditions of moisture stress, is very importance. Drought stress is one of the most important factors that reduce the yield of plants, considering that the safflower plant is mostly grown in semi-arid and dry areas, nowadays much attention has been paid to the production of drought-tolerant varieties. Safflower is a one-year plant from the chicory family as an oil and fodder plant with various uses that can be cultivated under drought and normal stress conditions.

Materials and Methods: Therefore, in order to investigate the mode of gene action for some quantitatively important traits in safflower, a cross was made between two cultivars of Goldasht (resistant to drought stress) and American (sensitive to drought stress). And after self-fertilization of F1 plants and crossing them with both parents, F2, BC1.1 and BC1.2 generations were obtained. And the parents along with the F1, F2, BC1.1 and BC1.2 generations resulting from the cross were tested under moisture stress conditions in the research farm of the Research Institute of Plant Production Technology of Shahid Bahonar University in 2021-2022. The experiment was conducted in the form of split plots in the form of a randomized complete block design with two replications. Moisture stress was applied at the stage of 10% tillering and until the stage of full maturity. The examined traits were 8 traits, including height, number of sub-branches, main stem diameter, number of bolls, single plant yield, photosynthesis, number of days to 50% flowering and SPAD were noted.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that the mean square of the generations for all the traits in this crossing is significant, so the best genetic model was investigated for each studied trait. The interaction effect of generation and location (irrigation conditions) was significant for the studied traits. To check the appropriate genetic model, Meter and Jakens method and individual scale test (A, B, C and D) were used. The results of the above tests indicate the existence of additive and dominant effects, as well as epistasis effects (additive \times additive, additive \times dominant, and dominant \times dominant) also played a role in the genetic control of most traits. In normal irrigation conditions, most of the traits except Spad, number of bolls and diameter of chi-square and their individual scale test were not significant and were affected by the three-parameter additive-dominance model. Also, in the conditions of moisture stress, most of the traits were significant in the control of inheritance, except for the main diameter of chi-square and scale test (A, B, C, and D), and additive effects, dominance and epistasis had an important role in their control. The existence of dominance \times dominance effects compared to the parameter of additive effects in the boll number trait indicates the high importance of non-additive genetic effects (epistasis) and complex inheritance of this trait. Also, selection in the early generations for the above trait will not be successful. The additive effects played the most important role in controlling the inheritance of the main diameter trait under

moisture stress conditions. Therefore, it will be useful to modify this attribute from the selection method. Also, additive effects play the most important role in controlling the inheritance of the number of sub-branches in normal conditions (no stress). But in the conditions of moisture stress, the mentioned trait was affected by the additive \times additive epistasis. Therefore, one cannot hope for the success of selection in the early generations of diverging populations.

Conclusion: The genetic control model of all studied traits under both stress and non-stress conditions were not similar in terms of presence and absence of non-allelic interactions and were affected by stress.

Keywords: Epistasis, Gene action, Genetical model, Joint scaling test

تأثیر محلول پاشی اکسید روی نانو و غیر نانو بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد علوفه سورگوم در شرایط تنش کم آبیاری

معصومه خالق دوست^۱، حسن مکاریان^{۲*}، حمید عباس دخت^۲، مهدی برادران فیروزآبادی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

* مسئول مکاتبه: h.makarian@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.390869.1332

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

چکیده

به منظور مطالعه اثر فرم اکسید نانو و غیر نانو روی برخی از صفات فیزیولوژیک و عملکرد علوفه سورگوم در شرایط کم آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از دور آبیاری در دو سطح ۱۰ و ۲۰ روز که در پلات‌های اصلی و ترکیبی از فاکتورهای رقم سورگوم در سه سطح ارسک، اسپیدفید و پگاه و محلول پاشی روی در سه سطح عدم کاربرد، کاربرد اکسید روی به دو شکل نانو و غیر نانو ذرات در پلات‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد با افزایش دور آبیاری از ۱۰ به ۲۰ روز صفات مختلف فیزیولوژیک، کیفی و کمی سورگوم بطور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد اکسیدروی به فرم نانو و غیر نانو سبب افزایش معنی‌دار رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین، عملکرد علوفه‌تر و خشک در شرایط تنش کم آبیاری گردید. کاربرد فرم معمولی و نانو اکسیدروی در شرایط تنش کم آبیاری بترتیب سبب افزایش ۳۲/۴۹ و ۳۷/۵۸ درصدی عملکرد علوفه تر نسبت به شاهد گردید. در بین ارقام مورد بررسی رقم محلی ارسک بیشترین و پگاه کمترین مقادیر رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد علوفه را به خود اختصاص دادند. براساس نتایج این پژوهش، استفاده از روی به فرم نانو و یا معمولی در برنامه تغذیه‌ای سورگوم، از طریق تعدیل اثرات زیان‌بار تنش کم آبی سبب بهبود رشد و عملکرد کمی و کیفی سورگوم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، تنش خشکی، پرولین، نانو کودها

مقدمه

آن در تأمین علوفه دام‌ها در شرایط خشکسالی توجه بیش از پیش به این گیاه را می‌طلبد. در مطالعات مختلف پژوهشگران اذعان داشته‌اند که کمیت و کیفیت این گیاه علوفه‌ای تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد (Sarshad et al., 2021). از این رو اتخاذ تدابیر زراعی و استفاده از روش‌های تعدیل‌کننده تنش ناشی از کمبود آب در تولید پایدار محصولات کشاورزی امری ضروری به نظر می‌رسد.

کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه زراعی علاوه بر مقدار آب آبیاری، به فواصل بین دو آبیاری نیز وابسته است. پژوهشگران نشان داده‌اند که گاهی افزایش فاصله بین دو آبیاری کاهش عملکرد معنی‌داری نسبت به فواصل آبیاری معمول ایجاد نمی‌کند. گاهی نیز افزایش فواصل بین دو آبیاری توام با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی جبران کاهش رطوبت خاک را به همراه دارد و می‌تواند تحمل گیاه زراعی را به تنش کم آبیاری افزایش دهد (Zhang et al., 2019).

سورگوم با نام علمی *Sorghum bicolor* (L.) Moench گیاهی چهار کربنه می‌باشد که از نظر اهمیت در بین پنج غله مهم دنیا قرار دارد و دارای مصارف مختلف غذایی، علوفه‌ای و صنعتی می‌باشد (Ananda et al., 2020). علاوه بر توده‌های محلی سورگوم که از دیرباز در مناطق مختلف ایران کشت می‌شوند، ارقام مختلفی از این گیاه با ارزش در ایران تولید شده‌اند که ویژگی‌های متفاوتی از نظر مقاومت به شرایط نامساعد محیطی از جمله کم آبی و غیره دارند و می‌توانند در فواصل آبیاری طولانی‌تر عملکرد قابل قبولی داشته باشند (Fouman, 2011). در همین راستا در مقایسه ارقام پگاه و اسپیدفید گزارش شده است که رقم پگاه در شرایط کاهش دوره‌های آبیاری می‌تواند عملکرد علوفه مناسبی تولید کند (Abdi and Habibi, 2017). به هر حال، مقاومت بالای سورگوم در برابر تنش‌های محیطی و تغییرات اقلیمی و هم‌چنین نقش

2014) و بهبود تحمل گوجه فرنگی به شوری نیز در اثر کاربرد فرم نانو کودها گزارش شده است (Almutairi *et al.*, 2016). در پژوهش دیگری گزارش شده است که نانو ذرات روی با بهبود تثبیت ساختار کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها و همچنین مشارکت در تعادل هورمونی، در شرایط خشکی سبب تداوم و افزایش فتوسنتز در گیاهان می‌گردد (Sun *et al.*, 2020). در بررسی اثرات محلول پاشی اکسید روی در دو اندازه نانو و غیر نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش تحت تأثیر کمبود آب گزارش شده است که محلول پاشی روی به صورت نانو ذرات نسبت به اکسید روی معمولی تأثیر بیشتری بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ماش نشان داد (Shojaei and Makarian, 2015).

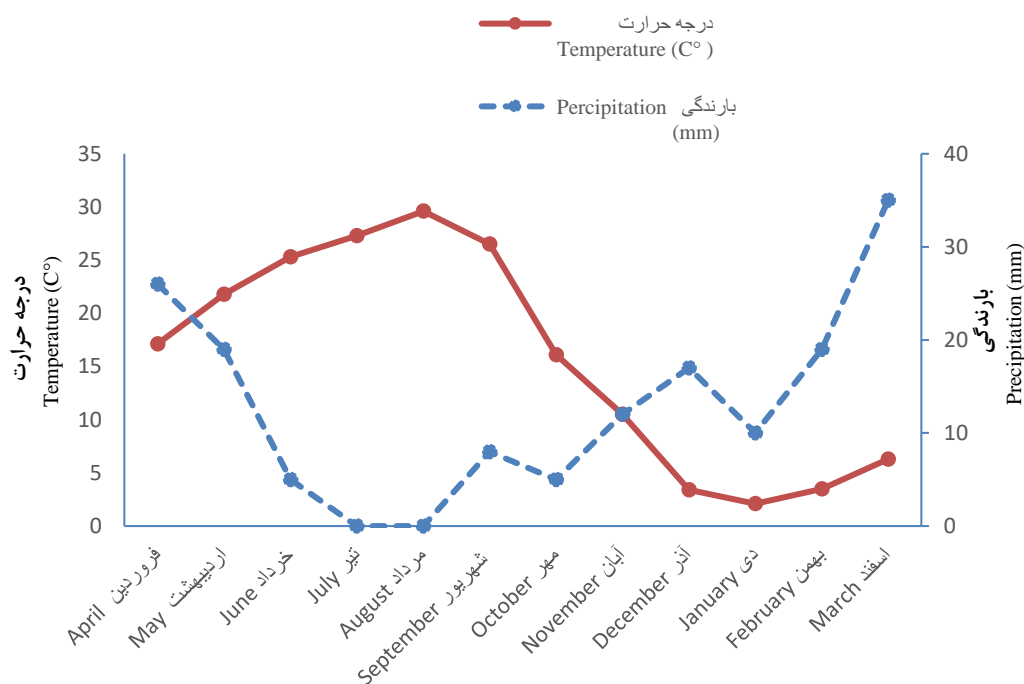
از آنجایی که ذرات نانو دارای ابعاد بسیار ریزی هستند لذا سطح ویژه بالایی دارند که این امر واکنش پذیری و تحرک بالاتری در گیاه ایجاد می‌کند و باعث می‌شود محلول کود روی با سرعت و همگنی بالاتر در گیاه توزیع شود، مجموعه این دلایل افزایش پارامترهای مؤثر در عملکرد را به دنبال دارد و به خصوص در شرایط وقوع تنش گیاه را در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند (Sun *et al.*, 2020; Nair *et al.*, 2010). بنابراین، با توجه به اثرات نامطلوب تنش خشکی ناشی از کم آبیاری بر گیاهان و لزوم ارائه راهکار برای کاهش اثرات این نوع تنش، این آزمایش با هدف بررسی اثر کاربرد کود روی به صورت معمولی و نانو ذره در کاهش اثرات مخرب تنش خشکی و بهبود عملکرد علوفه سه رقم سورگوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود اجرا شد. اطلاعات دما و بارندگی در طی دوره انجام آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است، بر این اساس بیشترین مقدار بارندگی در اسفند ماه اتفاق افتاد و کمترین میزان بارندگی نیز در تیر و مرداد اتفاق افتاد، همچنین اطلاعات هواشناسی نشان داد کمترین متوسط دما متعلق به دی‌ماه و بیشترین دمای متوسط مربوط به مردادماه بود.

در میان تعدیل کننده‌های مختلف برای کاهش اثرات مخرب تنش کم آبی، محلول پاشی عناصر معدنی مقاوم کننده گیاه به شرایط تنش، راهکاری منطقی در بهبود عملکرد و شرایط رشدی گیاه به شمار می‌آید (Hussein *et al.*, 2012). از عناصر غذایی دارای تأثیرات مثبت بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش خشکی و شرایط معمولی، می‌توان به عنصر روی (Zn) اشاره کرد (Grzebisz *et al.*, 2008). روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، RNA و DNA پلیمرز، دهیدروژناژ، پروتئیناز و بیوسنتز کلروفیل ایفا می‌کند (Abbasifar *et al.*, 2020; Vaghar *et al.*, 2020). نیاز گیاهان به روی اندک می‌باشد (۵-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) اما در صورت کمبود روی در گیاه، تنش‌های فیزیولوژیکی ناشی از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی، رشد و عملکرد گیاه را کاهش خواهند داد (Baybordi, 2006). در همین راستا گزارش شده است که محلول پاشی روی با غلظت ۳ در هزار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد برنج رقم چرام گردید (Chaker-*et al.*, 2009). در پژوهش دیگری گزارش شد که کاربرد اکسید روی معمولی باعث کاهش تأثیر منفی تنش خشکی و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه ذرت شد (Zhang *et al.*, 2021).

محققان در رابطه با تأمین عناصر غذایی گیاهان، بیان داشته‌اند که استفاده از کودهای نانو نسبت به حالت فرم معمول آن علاوه بر اینکه تأثیر بیشتری بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد، آلودگی زیست‌محیطی کمتری نیز به همراه دارد (Prasad *et al.*, 2012). فرآورده‌های نانو شامل مخلوطی از ذره‌های با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خود را حفظ کنند و از طرفی بدلیل داشتن سطح ویژه بیشتر بهتر جذب گیاهان می‌شوند (Dimkpa *et al.*, 2019). مطالعات متعددی نشان داده است که کاربرد کودها بصورت نانو از جنبه‌های مختلف بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر مثبت دارد. بعنوان مثال کاربرد اکسید روی به فرم نانو در ماش (Mahajan *et al.*, 2011) و گوجه‌فرنگی (Singh *et al.*, 2016) باعث بهبود رشد آن‌ها گردید. همچنین افزایش تحمل گندم و ذرت به تنش خشکی (Zaimenko *et al.*,)



شکل ۱- نمودار آمبروترمیک منطقه در سال انجام آزمایش

Figure 1- The ambrothermic diagram of the region in the year of the experiment

خشک شدند. سپس از هر نمونه ۱/۲ گرم در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۲۵ میلی‌لیتر از HNO_3 ۶۵ درصد به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها بعد از گرما دادن به مدت ۲۴ ساعت در اسید قرار داده شدند. هضم با ظروف در باز در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت تا زمانی که محتوای مایع ظروف بخار و تقریباً خشک شد. سپس ۵ میلی‌لیتر از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد برای تکمیل هضم به ارلن‌ها اضافه شد و مجدداً تا بخار شدن مایع حرارت دید. سپس دیواره ارلن‌ها با آب دیونیزه شسته شد و مخلوط تا جوشیدن حرارت دید. محتوای ظروف بعد از خنک شدن به ظروف استاندارد ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با آب دیونیزه به حجم رسانده شد. سپس برای اندازه‌گیری میزان روی از دستگاه جذب اتمی از Perkin-Elmer مدل 2380 استفاده شد (Sekabira et al., 2011). در این آزمایش صفات رنگی‌های فتوسنتزی (کلروفیل a کلروفیل b و کارتنوئید) با روش آرنون (1949, Arnon) و پرولین (Bates et al., 1973) نیز اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تیمار کم آبیاری: در دو سطح دور آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز که در پلات‌های اصلی قرار گرفت و ترکیبی از فاکتورهای رقم سورگوم در سه سطح محلی ارسک، اسپیدفید و پگاه و محلول پاشی روی در سه سطح عدم کاربرد، کاربرد روی به دو فرم معمولی و نانوذره در پلات‌های فرعی قرار گرفتند. میزان روی بکار رفته به هر دو صورت معمولی و نانو ذره به میزان ۲ در هزار بود. در مجموع ۱۸ تیمار و ۵۴ کرت آزمایشی هر کدام به مساحت ۱۲ متر مربع برای آزمایش در نظر گرفته شد. در این آزمایش به منظور اندازه‌گیری عملکرد علوفه تر و خشک (عملکرد بیولوژیک) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت دو متر مربع بوته‌های سورگوم برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه و تعیین وزن تر، به مدت ۷۲ ساعت در آن با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس با ترازوی ۰/۰۱ گرم توزین شد و به عنوان عملکرد علوفه خشک ثبت شد. برای اندازه‌گیری غلظت روی گیاهان به قطعات کوچک تقسیم شده و دو مرتبه با آب دیونیزه شسته شدند، سپس نمونه‌ها در کاغذهای آلومینیومی پیچیده شده و برای ۲۴ ساعت در آن

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of experimental location

نوع خاک Soil type	شن Sand (%)	لای Loam (%)	رس Clay (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
لومی رسی Clay Loam	20.1	49.2	30.7	0.105	0.59	181.4	14.4	1.34	7.79

می‌شود (Gurmani et al., 2015).

نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر میزان کلروفیل *a* در بین رقم‌های اسپیدفید و محلی وجود نداشت اما میزان کلروفیل *a* در این ارقام به طور معنی‌داری از رقم پگاه بیشتر بود (جدول ۴). در همین راستا گزارش شده است که بین ارقام مختلف سورگوم از نظر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و ارقامی که دارای رنگدانه‌های فتوسنتزی بیشتری هستند در نهایت عملکرد بیشتری نیز دارند (Kazemini and Alinia, 2017).

کلروفیل *b*

نتایج نشان داد که اثر دور آبیاری در سطح یک درصد، روی، رقم و اثر متقابل دور آبیاری و روی در سطح ۵ درصد بر میزان کلروفیل *b* معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد روی و دور آبیاری (شکل ۳) نشان داد که کاربرد روی به فرم نانو و معمولی در شرایط تنش کم‌آبیاری باعث افزایش در محتوای کلروفیل *b* برگ سورگوم بترتیب به میزان ۲۵ و ۲۷ درصد نسبت به شاهد گردید. پژوهشگران بیان کرده‌اند روی در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان دخالت دارد، فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز به سرعت در اثر کمبود روی، کاهش می‌یابد، کربنیک آنهیدراز در سیتوپلاسم و کلروپلاست تجمع می‌یابد و واکنش تبدیل CO₂ به بیکربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم شدن CO₂ برای فتوسنتز کمک می‌نماید. در گیاهانی که کمبود روی دارند ساخته شدن پروتئین کاهش می‌یابد و انباشته شدن اسیدهای آمینه در این گیاهان نشان دهنده اهمیت عنصر روی در سنتز پروتئین است که باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی به خصوص کلروفیل‌ها می‌شود (Ebrahimian and Bybordi, 2014). نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد با کاربرد روی میزان

نتایج و بحث

کلروفیل *a*

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر دور آبیاری (در سطح یک درصد)، روی، رقم و اثر متقابل دور آبیاری و روی (در سطح پنج درصد) بر صفات کلروفیل *a* معنی‌دار شد، سایر اثرات متقابل بر صفت مذکور تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و روی بر صفت کلروفیل *a* نشان داد (شکل ۲) که در سطوح مختلف تیمارهای روی، افزایش دور آبیاری سبب کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل *a* گردید که این امر می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه در سورگوم باشد، زیرا طبق نظر پژوهش‌گران کلروفیل‌ها اصلی‌ترین اجزای فتوسنتز گیاه هستند و کاهش در آن‌ها یا از بین رفتن آن‌ها می‌تواند به شدت باعث کاهش در تولید ماده خشک شود و در نهایت عملکرد دانه را کاهش دهد (Gurmani et al., 2015).

نتایج نشان داد که کاربرد فرم نانو و معمولی اکسیدروی در دور آبیاری ۲۰ روز باعث افزایش در مقدار کلروفیل *a* نسبت به شاهد گردید، بطوری‌که مقدار کلروفیل *a* در دور آبیاری ۲۰ روز با کاربرد فرم معمولی و نانو روی به ترتیب به میزان ۳۵/۸ و ۴۶/۲ درصد نسبت به شاهد در همین شرایط افزایش نشان داد (شکل ۲). هم‌چنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان برای کلروفیل *a* در شرایط آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز در هنگام کاربرد نانو روی مشاهده شد که این امر نشان‌دهنده مطلوب‌تر بودن شکل نانو روی نسبت به فرم معمولی آن می‌باشد. عنصر روی دارای نقش مهمی در تعداد زیادی از واکنش‌های متابولیکی می‌باشد، عنصر روی، برای چندین آنزیم مانند آنهیدرات دهیدروژناز، اکسیداز و پراکسیداز به عنوان کوفاکتور عمل می‌کند و نیز از کلروپلاست‌ها محافظت می‌کند که این عمل باعث کاهش در تخریب کلروفیل‌ها طی تنش‌های محیطی

فتوسنتزی توسط محققین بسیاری گزارش شده است (Zengin, 2016; Adaikumari *et al.*, 2006). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر کلروفیل *b* نیز نشان داد بیشترین مقدار برای کلروفیل *b* در رقم اسپیدفید مشاهده شد، پس از رقم اسپیدفید بیشترین مقدار کلروفیل *b* در رقم محلی بدست آمد و کمترین مقدار برای کلروفیل *b* در رقم پگاه مشاهده شد (جدول ۴).

کلروفیل برگ در گیاه سورگوم افزایش پیدا می کند. همچنین بیان شده است عنصر روی از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می گردد، پورفووبیلینوژن پیش ماده کلروفیل می باشد که برای تشکیل این ماده عناصر منیزیم و روی مورد نیاز است، در حضور عنصر روی نهایتاً تشکیل و تکمیل کلروفیل تسهیل می گردد (Behtash *et al.*, 2010). تأثیر عنصر روی در افزایش غلظت پروتئین برگ و رنگیزه های

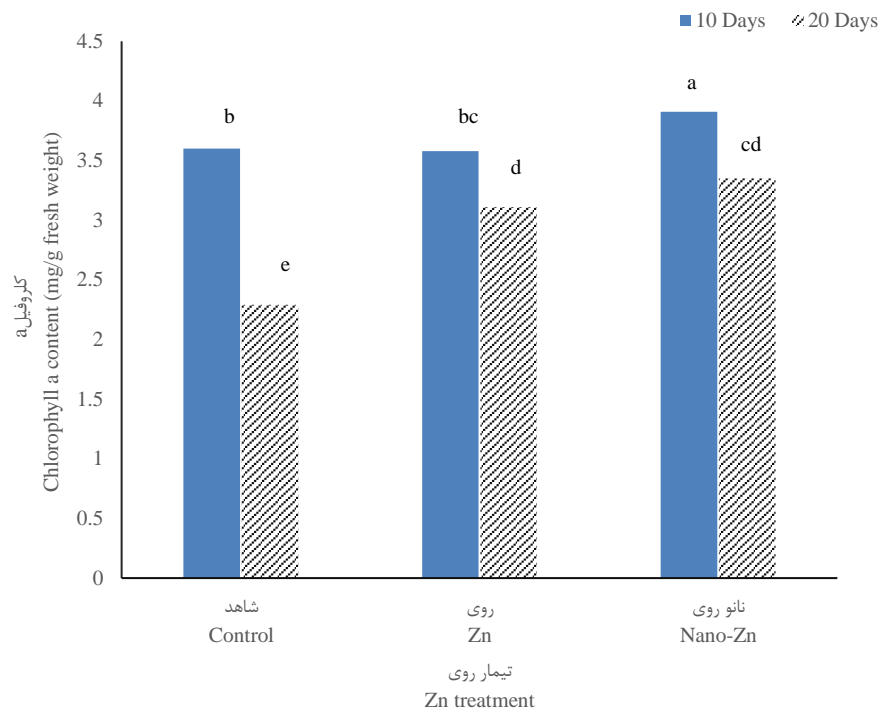
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیکی سورگوم تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of some physiological characteristics of sorghum affected by treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline
بلوک Replication	2	9 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.71 ^{ns}
دور آبیاری Irrigation Interval	1	8.12 ^{**}	0.91 ^{**}	0.64 ^{**}	14.1 ^{**}
خطا Error	2	0.20	0.025	0.055	0.01
روی Zn	2	2.12 [*]	0.12 [*]	0.05 [*]	3.51 [*]
رقم Cultivar	2	0.89 [*]	0.14 [*]	0.038 [*]	0.87
دور آبیاری × روی Irrigation Interval × Zn	2	0.94 [*]	0.12 [*]	0.059 [*]	7.33 ^{**}
دور آبیاری × رقم Irrigation Interval × Cultivar	2	0.2 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.12 ^{ns}
روی × رقم Zn × Cultivar	4	0.04 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.51 ^{ns}
دور آبیاری × روی × رقم Irrigation Interval × Cultivar × Zn	4	0.08 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.30 ^{ns}
خطا Error	32	0.23	0.040	0.013	1.36
(%) CV		14.1	15.4	14.2	10

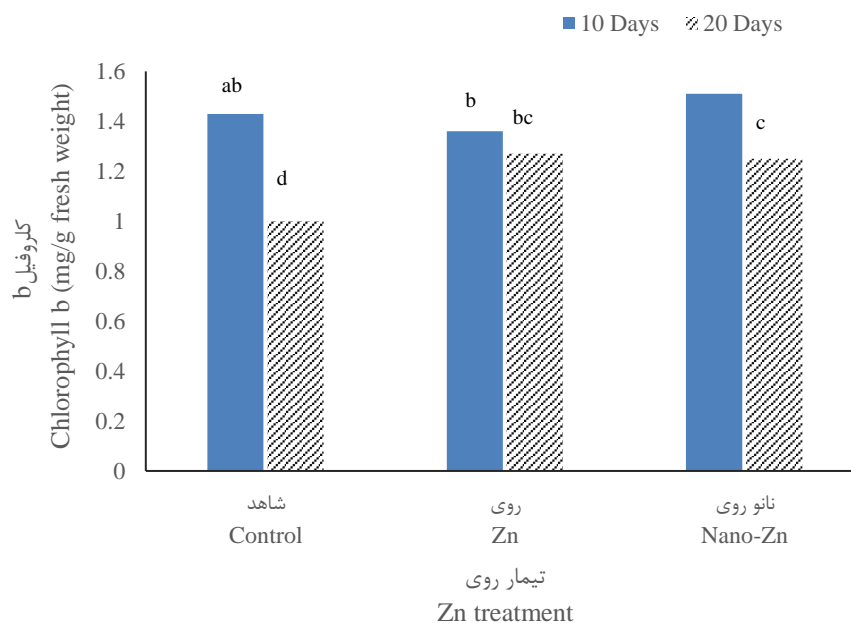
^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

ns, *, ** are non-significantly different and significantly different at 5 and 1 percent, respectively.



شکل ۲- اثر متقابل روی و دور آبیاری بر کلروفیل *a* در سورگوم

Figure 2- Interaction effect of zinc and irrigation interval on chlorophyll *a* in sorghum



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و دور آبیاری بر کلروفیل *b* در سورگوم

Figure 3- Interaction effect of zinc and irrigation interval on chlorophyll *b* in sorghum

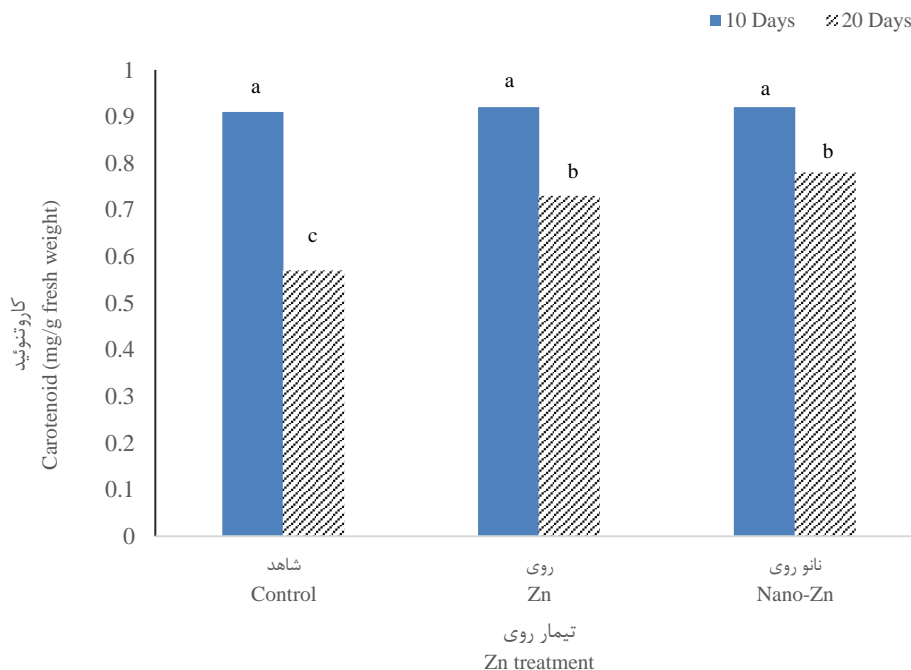
درصد بر میزان کاروتنوئید برگ معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و دور آبیاری بر محتوای کاروتنوئید برگ سورگوم نشان داد که در دور آبیاری ۱۰ روز

کاروتنوئید

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر دور آبیاری در سطح یک درصد، روی، رقم و اثر متقابل دور آبیاری و روی در سطح ۵

پگاه مشاهده شد که نسبت به دو رقم دیگر به طور معنی داری کمتر بود (جدول ۴). ارقام مختلف سورگوم به دلیل سیستم ریشه‌ای متفاوت می‌توانند مقادیر متفاوتی از عناصر غذایی را از خاک جذب کرده و به همین خاطر محتوای کلروفیل‌ها و سایر رنگیزه‌ها در ارقام مختلف سورگوم متفاوت است (Mehraban *et al.*, 2012). در همین راستا نتایج ما نیز نشان داد که ارقام مختلف سورگوم از نظر میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و رنگیزه‌های فتوسنتزی دارای اختلاف معنی دار می‌باشند.

کاربرد روی اختلاف معنی داری با شاهد نشان نداد، اما در شرایط کم آبیاری با کاربرد روی بصورت معمولی و نانو، میزان کاروتنوئید برگ بترتیب به میزان ۲۸ و ۳۶/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۴). مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر میزان کاروتنوئید نشان داد بیشترین مقدار برای کاروتنوئید در رقم محلی مشاهده شد که به طور معنی داری از دو رقم دیگر بیشتر بود، پس از رقم محلی بیشترین مقدار کاروتنوئید در رقم اسپیدفید مشاهده شد و کمترین مقدار برای کاروتنوئید در رقم



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و دور آبیاری بر کاروتنوئید برگ سورگوم

Figure 4- Interaction effect of Zinc and irrigation interval on leaf carotenoid of sorghum

تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالا بردن غلظت شیره سلولی، تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات و یا افزایش حجم ریشه باشد (Serival *et al.*, 2001). در پژوهشی کاربرد نانو اکسید روی در سیب زمینی از طریق کمک به توسعه کلروپلاست‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی بهبود رشد این گیاه را در شرایط تنش خشکی به همراه داشت (Al-Selwey *et al.*, 2023). همین پژوهشگران بیان کردند که تنش ناشی از کمبود آب باعث تولید اکسیژن فعال شده و کلروپلاست‌ها را تخریب می‌نماید و در نهایت فعالیت فتوسنتزی و رنگدانه‌های مختلف گیاهی را کاهش می‌دهد، اما افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی که با

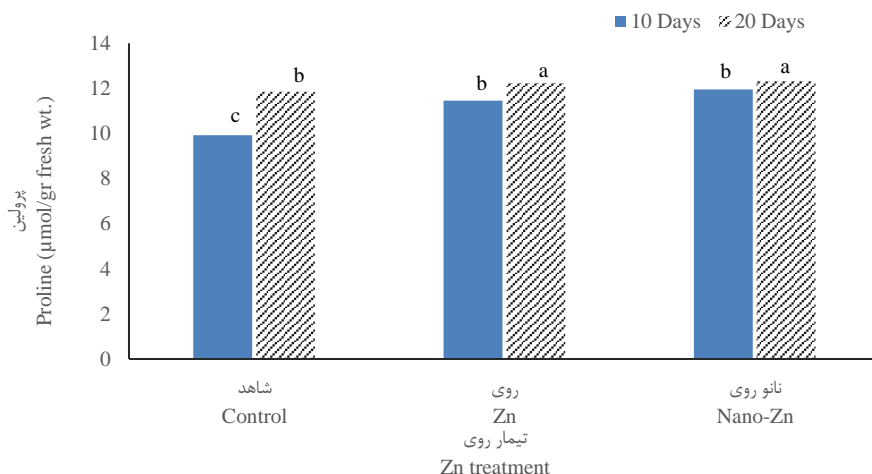
بر اساس نظر پژوهشگران کمبود آب یک تنش اکسیداسیونی به شمار می‌رود چرا که باعث تولید اکسیژن فعال (ROS) در گیاه مخصوصاً در طی فتوسنتز می‌گردد (Goodman and Newton, 2005). در پژوهشی روی گیاه دارویی زیره سبز مشاهده شد که محلول پاشی آهن و روی توأم با تنش خشکی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گاپاکول پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی شد، که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد (Peyvandi *et al.*, 2015). به هر حال گزارش شده است که کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش سطوح فتوسنتز کننده، کاهش

پرولین در تیمار ۱۰ روز آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شد که برابر ۹/۹۲ میکرومول بر گرم بافت تر بود (شکل ۵). در پژوهشی افزایش ۳۸/۷ درصدی پرولین تحت تأثیر تنش خشکی در سیب زمینی گزارش شد. در همین پژوهش کاربرد ۱۰۰ پی پی ام از فرم نانو اکسید روی سبب افزایش ۱۱/۷۵ درصدی پرولین در سیب زمینی گردید (Al-Selwey et al., 2023). افزایش محتوای پرولین برگ به عنوان شاخص تنش‌های محیطی پذیرفته شده است، عناصر سنگین منجر به تجمع پرولین در برگ می‌شوند. گزارش شده است که تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی به علت کاهش تنزل پرولین، افزایش بیوسنتز پرولین، کاهش سنتز پروتئین یا کاربرد پرولین و هیدرولیز پروتئین‌ها می‌باشد، که در شرایط تنش‌های محیطی به خصوص خشکی و شوری باعث تنظیم اسمزی سلول می‌شود (Zengin, 2016). اثرات تنظیم کننده اسمزی پرولین در توازن آب و تحمل خشکی در گیاهان زراعی مختلف و افزایش محتوی نسبی آب با افزایش پرولین در تحقیقات مختلف نشان داده شده است (Heidary and Moaveni, 2009).

کاربرد نانو اکسید روی حاصل می‌گردد، اثرات تنش کمبود آب را بهبود می‌بخشد.

پرولین

نتایج نشان داد اثر آبیاری و اثر متقابل آبیاری و روی در سطح یک درصد و اثر ساده روی در سطح پنج درصد بر میزان پرولین برگ معنی‌دار بود. سایر اثرات ساده و متقابل تأثیر معنی‌داری بر میزان پرولین نشان ندادند (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و روی، کاربرد روی به فرم نانو و معمولی بترتیب سبب افزایش ۳/۸۷ و ۳/۲۰ درصدی پرولین در شرایط تنش کم‌آبیاری گردید (شکل ۵)، در واقع کاربرد روی در شرایط تنش باعث تولید بیشتر پرولین که یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌ها و فاکتورهای مقاومت به تنش می‌باشد، با تولید بیشتر پرولین، گیاه بیشتر می‌تواند در برابر خشکی مقاومت کند. بیشترین مقدار پرولین در تیمار ۲۰ روز آبیاری و کاربرد نانو روی مشاهده شد (۱۲/۳۲ میکرومول بر گرم بافت تر) که البته با کاربرد فرم معمولی (روی) آن در همین دور آبیاری از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل روی و دور آبیاری بر پرولین برگ

Figure 5- Interaction effect of Zinc and irrigation interval on leaf proline of sorghum

افزایش معنی‌دار ۶/۸ و ۱۳/۵ درصدی پروتئین برگ نسبت به شاهد شد، اما بین تیمار روی و نانو روی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). تأثیر عنصر روی در افزایش غلظت پروتئین برگ و دانه گیاهان زراعی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Akinci et al., 2008). گزارش شده است

پروتئین برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده دور آبیاری و روی در سطح یک درصد بر پروتئین برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر روی بر پروتئین برگ نشان داد که کاربرد روی چه به فرم معمولی و به صورت نانو ذره باعث

کرد (نتایج نشان داده نشده است). پژوهشگران بیان کرده‌اند که کاهش محتوای نیتروژن در برگ گیاهان با افزایش تنش خشکی به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی از خاک می‌باشد (Babaeian *et al.*, 2010). به همین دلیل می‌توان گفت که احتمالاً کاهش پروتئین متاثر از کاهش جذب نیتروژن در شرایط تنش کم آبیاری باشد.

که افزایش روی در محیط ریشه و جذب آن سبب بهبود در جذب نیتروژن شده و میزان فتوسنتز را افزایش داده و از این طریق باعث افزایش درصد پروتئین گیاه می‌شود (Babaeian *et al.*, 2010). نتایج مقایسه میانگین اثر دور آبیاری بر محتوای پروتئین برگ سورگوم نشان داد که با افزایش در دور آبیاری میزان پروتئین برگ در گیاه سورگوم ۱۳/۹ درصد کاهش پیدا

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات کمی و کیفی سورگوم تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 3- Analysis of variance (mean squares) of some quantities and qualitative traits of sorghum affected by treatments					
منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین برگ	محتوای روی برگ	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک
S.O.V	df	Protein	Leaf Zn content	Fresh forage yield	Dry forage yield
بلوک	2	1.68 ^{ns}	12.54 ^{ns}	17.2 ^{ns}	4.7 ^{ns}
Replication					
دور آبیاری	1	34.88**	122.22**	4214**	156.7**
Irrigation Interval					
خطا	2	0.78	1.91	95.5	1.15
Error					
روی	2	13.26**	435.55**	1027**	41.6**
Zn					
رقم	2	4.69 ^{ns}	10.32 ^{ns}	584**	19.1*
Cultivar					
دور آبیاری × روی	2	4.28 ^{ns}	9.20 ^{ns}	9494*	15.6*
Irrigation Interval × Zn					
دور آبیاری × رقم	2	0.77 ^{ns}	8.87 ^{ns}	238.7 ^{ns}	10.2 ^{ns}
Irrigation Interval × Cultivar					
روی × رقم	4	0.26 ^{ns}	8.80 ^{ns}	11.6 ^{ns}	0.70 ^{ns}
Zn × Cultivar					
دور آبیاری × روی × رقم	4	0.34 ^{ns}	4.85 ^{ns}	13.5 ^{ns}	0.38 ^{ns}
Irrigation Interval × Cultivar × Zn					
خطا	32	2.45	6.34	107.3	15.15
Error					
(%) CV		19.5	15	12.2	13.7

^{ns}, *, ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

^{ns}, *, ** are non-significantly different and significantly different at 5 and 1 percent, respectively

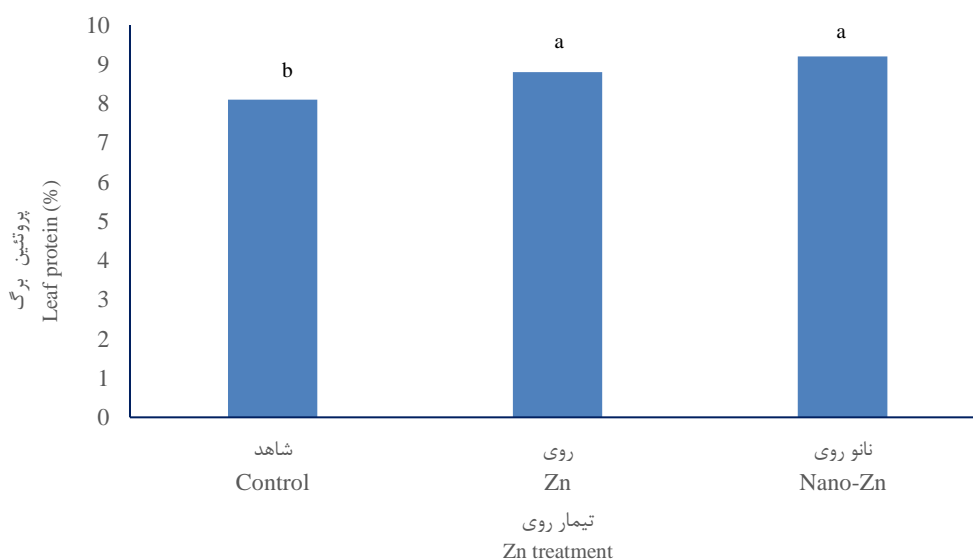
میانگین کاربرد روی باعث افزایش معنی دار در محتوای روی برگ شد. به طوری که محتوای روی برگ در تیمارهای کاربرد روی به صورت نانو، فرم معمولی روی و عدم کاربرد روی (شاهد) به ترتیب برابر ۲۰/۱۱، ۱۹/۶۱ و ۱۱/۱۴ پی پی ام بود (شکل ۷). هم چنین نتایج این آزمایش نشان داد دور آبیاری ۲۰ روز

محتوای روی برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس محتوای روی در برگ تنها تحت تأثیر دور آبیاری (در سطح یک درصد) و روی (در سطح یک درصد) قرار گرفت و سایر اثرات ساده و متقابل بر میزان روی در برگ معنی دار نبودند (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه

تداخل مکانیسم‌های جذب و تخلیه همراه با کاهش میزان تعرق، باعث کاهش جذب عناصر غذایی از جمله روی می‌گردند (Baligar *et al.*, 2001). از این رو، کاهش آب قابل دسترس در شرایط خشکی باعث کاهش میزان روی و سایر عناصر غذایی قابل دسترس گیاه و در نهایت کاهش عملکرد و غلظت روی در گیاه می‌شود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. میزان عناصر غذایی در ارقام مختلف سورگوم به طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد که این تفاوت معنی‌دار به ساختار ریشه و میزان تارهای کشنده آن در ارقام مختلف بستگی دارد (Mehraban *et al.*, 2012).

باعث کاهش در میزان روی برگ سورگوم شد بطوری‌که از دور آبیاری ۱۰ روز به ۲۰ روز، میزان روی برگ ۴۱/۷ درصد کاهش پیدا کرد (نتایج نشان داده نشده است). گزارش شده است که مصرف سولفات روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد، درصد پروتئین دانه، جذب کل روی و غلظت روی دانه گندم می‌گردد (Savaghebi Firouzabadi *et al.*, 2003). بر اساس نظر پژوهشگران تنش خشکی می‌تواند جذب روی توسط گیاه را به روش‌های مختلف از جمله با کاهش رشد و توسعه ریشه و نیز کاهش میزان جابجایی روی در خاک تحت تأثیر قرار دهد (Samarah *et al.*, 2004). هم‌چنین در شرایط تنش خشکی،



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر ساده روی بر پروتئین برگ سورگوم

Figure 6- Mean comparison effect of zinc on leaf protein of sorghum

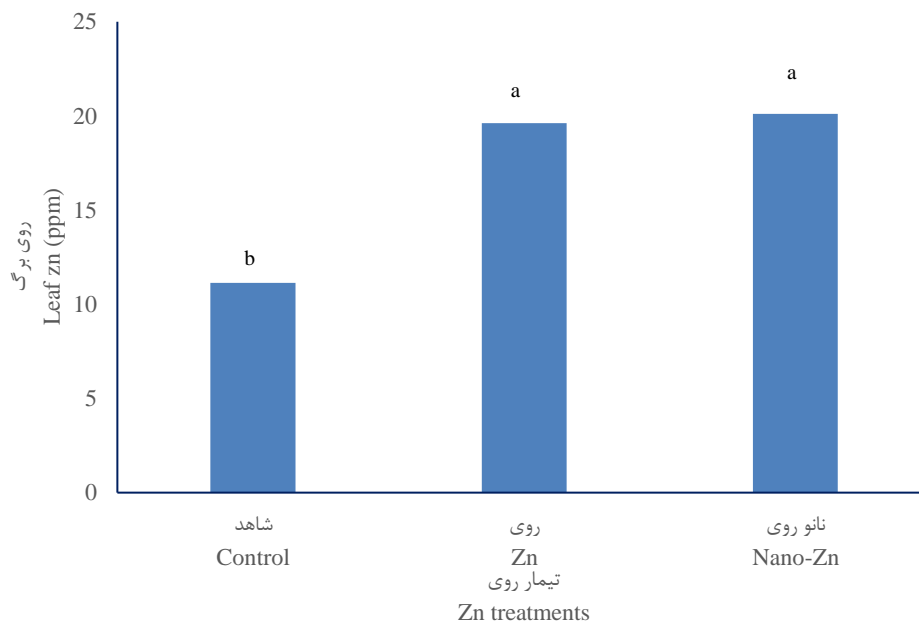
آبیاری و عدم کاربرد روی مشاهده شد که برابر ۶۱/۵ تن در هکتار بود. عملکرد علوفه تر با کاربرد نانو روی نسبت به حالت شاهد در دور آبیاری ۱۰ روز، ۶/۴۶ درصد و در دور آبیاری ۲۰ روز ۲۷/۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). در مطالعات مشابهی به تأثیر مثبت عنصر روی در افزایش بیوماس و عملکرد اشاره شده است و این افزایش در بیوماس در نتیجه بهبود فتوسنتز و افزایش کلروفیل برگ با کاربرد عنصر روی مخصوصاً در شرایط دیم گزارش شده است (Chen *et al.*, 2008). در آزمایش حاضر کاربرد عنصر روی در هر دو شرایط کم‌آبیاری و آبیاری معمول باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) که این امر در نهایت باعث افزایش عملکرد

عملکرد علوفه تر

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر رقم، دور آبیاری و روی در سطح یک درصد و اثر متقابل دور آبیاری و روی در سطح پنج درصد بر عملکرد علوفه تر سورگوم معنی‌دار شد (جدول ۳). سایر اثرات متقابل اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه تر سورگوم نداشتند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و دور آبیاری بر عملکرد علوفه تر سورگوم، با افزایش در دور آبیاری (از ۱۰ روز به ۲۰ روز) در تمام سطوح روی، عملکرد علوفه تر کاهش پیدا کرد (شکل ۸)، بیشترین عملکرد علوفه تر در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد نانو روی مشاهده شد که برابر ۹۷/۴۸ تن در هکتار بود و کمترین عملکرد علوفه تر در تیمار ۲۰ روز

مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کودها و کاهش تعداد دفعات کاربرد آن‌ها می‌شود (Liu and Lal, 2015; Al- Selwey *et al.*, 2023) که این مزایا علت بهتر بودن کودهای نانو نسبت به کودهای غیر نانو می‌باشد.

علوفه تر و خشک گردید (شکل‌های ۸ و ۹). در پژوهش دیگری گزارش شده است که کاربرد روی سبب افزایش معنی‌دار پتانسیل آب برگ، محتوای کلروفیل و سطح برگ ذرت از طریق بهبود رشد ریشه گردید (Zhang *et al.*, 2021). بر اساس نظر پژوهشگران استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارایی



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر روی بر محتوای روی برگ سورگوم

Figure 7- Mean comparison effect of zinc on leaf Zn content of sorghum

اثر روی و دور آبیاری در سطح یک درصد و اثر متقابل دور آبیاری و روی در سطح پنج درصد بر عملکرد علوفه خشک سورگوم معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روی و دور آبیاری نشان داد که تنش ناشی از دور آبیاری ۲۰ روز در سطح شاهد روی سبب کاهش ۳۱/۴۹ درصدی عملکرد علوفه خشک سورگوم در مقایسه با دور آبیاری ۱۰ روز شد، اما کاربرد روی در تیمارهای دارای در هر دو دور آبیاری باعث افزایش عملکرد علوفه خشک نسبت به شاهد گردید (شکل ۹). کاربرد فرم نانو اکسید روی در دور آبیاری ۲۰ روز عملکرد علوفه خشک سورگوم را معادل تیمار شاهد عدم تنش آبیاری (دور آبیاری ۱۰ روز) افزایش داد. بیشترین عملکرد علوفه خشک در تیمار ۱۰ روز آبیاری و کاربرد فرم نانو روی و روی معمولی بدست آمد که به ترتیب برابر ۱۸/۸ و ۱۸/۲ تن در هکتار بود و کمترین عملکرد علوفه خشک (۱۲ تن در هکتار) در تیمار دور آبیاری ۲۰ روز و عدم کاربرد روی مشاهده شد

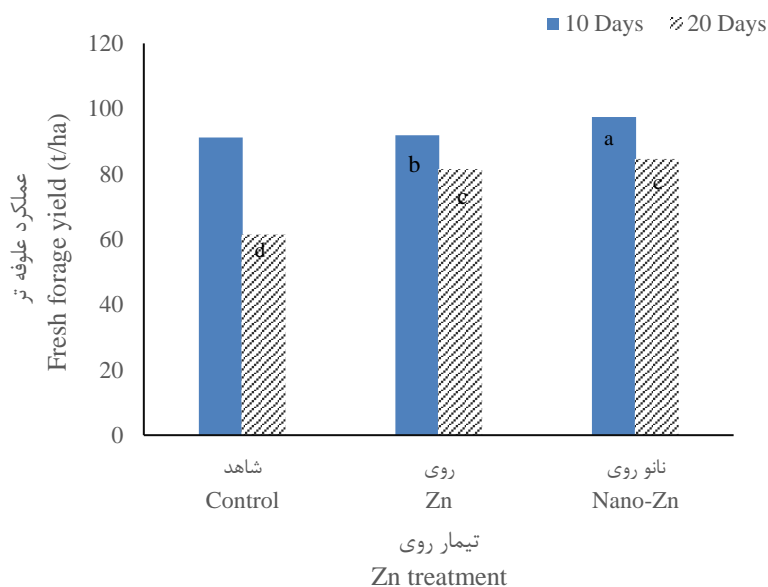
بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر رقم بر عملکرد علوفه تر سورگوم، رقم محلی ارسک به طور معنی‌داری دارای بیشترین عملکرد علوفه تر بود و کمترین مقدار برای عملکرد علوفه تر در رقم پگاه مشاهده شد که نسبت به دو رقم اسپیدفید و ارسک به طور معنی‌داری دارای عملکرد علوفه کمتری بود (جدول ۴). بطور مشابه با نتایج این پژوهش، گزارش شده است که بین عملکرد علوفه ارقام مختلف سورگوم اختلاف معنی‌دار وجود دارد، پژوهشگران دلیل این اختلاف معنی‌دار را هم به اثرات محیطی و هم به اثرات ژنتیکی ربط داده‌اند و گزارش کردند ارقامی که به شرایط سخت محیطی مقاوم باشند در شرایط تنش میزان عملکرد علوفه بیشتری به همراه خواهند داشت (Rafiee, 2018).

عملکرد علوفه خشک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر رقم در سطح پنج درصد،

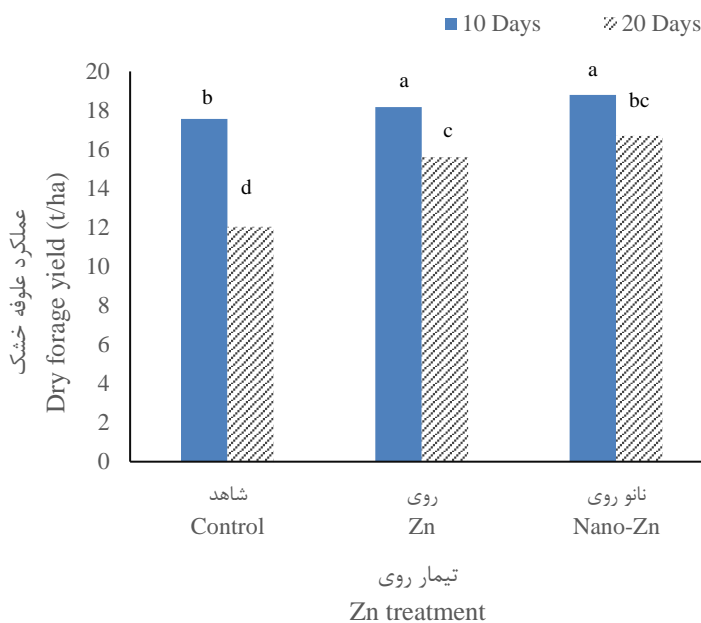
عملکرد می‌شود اما روی تا حدی می‌تواند این اثر منفی را جبران کرده و باعث افزایش در عملکرد علوفه خشک و تر سورگوم شود.

(شکل ۹). به عبارتی در شرایط تنش کم آبیاری کاربرد روی به فرم معمولی و نانو ذره بترتیب سبب افزایش ۲۹/۸۴ و ۳۸/۸۱ درصدی عملکرد علوفه خشک نسبت به شاهد دارای تنش گردید. بر این اساس می‌توان بیان کرد گرچه تنش باعث کاهش



شکل ۸- اثر متقابل روی و کم آبیاری بر عملکرد علوفه تر

Figure 8- Interaction effect of Zinc and irrigation interval on fresh forage yield of sorghum



شکل ۹- اثر متقابل روی و دور آبیاری بر عملکرد علوفه خشک سورگوم

Figure 9- Interaction effect of Zinc and irrigation interval on dry forage yield of sorghum

دلیل این امر را اینگونه بیان کردند که روی بعنوان فعال کننده آنزیم‌های مختلف در گیاه و سوبسترای رشد هورمون ایندول

سایر محققین نیز ادعان داشته‌اند که کاربرد سولفات روی باعث افزایش در عملکرد علوفه تر و خشک می‌شود، این پژوهشگران

متفاوت بود بطوری که بیشترین عملکرد علوفه خشک مربوط به رقم محلی ارسک بود و ارقام اسپیدفید و پگاه در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۴). با توجه به بررسی صفات مختلف از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی و پرولین که در رقم محلی و اسپیدفید وضعیت بهتری داشت می‌توان نتیجه گرفت که بهبود فتوسنتز و بهبود کنترل اثرات تنش در رقم محلی توانست در نهایت منجر به افزایش عملکرد علوفه تر و خشک نیز گردد و بطور معنی‌داری از ارقام اسپیدفید و پگاه وضعیت بهتری پیدا کند. در تحقیقی اثر دور آبیاری بر عملکرد علوفه و عملکرد دانه ارقام سورگوم در منطقه میانه مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که دور آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه و دانه سورگوم دارد. عملکرد علوفه و دانه سورگوم در ارقام مختلف نیز به طور معنی‌داری متفاوت می‌باشد که این امر انتخاب رقم مناسب با توجه به هدف کاشت را مهم و ضروری می‌نماید (Nasari et al., 2011).

استیک اسید عمل می‌کند و سبب تولید ماده خشک زیادتر در گیاه سورگوم می‌شود (Eliaspour et al., 2019). در مطالعه اثر روی بر عملکرد گیاهان در شرایط کم آبی گزارش شده است که کمبود روی و خشکی باعث کاهش عملکرد گندم نان و دوروم شده و بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به تنش خشکی و کمبود روی تنوع وجود دارد، هم‌چنین در صورت عدم دسترسی گیاه به میزان کافی از روی، کارایی استفاده از آب به صورت معنی‌داری کاهش یافته و باعث افت عملکرد می‌شود (Bagci et al., 2007). محققین مختلف گزارش نموده‌اند که استفاده از نانو ذرات، پتانسیل تحمل به خشکی را در گیاهان مختلف از قبیل سویا (Vaghar et al., 2020) و ذرت افزایش می‌دهد (Klute and Dirksen, 2018). محققین دیگر نیز گزارش داده‌اند که کاربرد نانو اکسید روی از طریق افزایش کارایی مصرف آب عملکرد سیب زمینی را در شرایط کمبود آب افزایش داده است (Al-Selwey et al., 2023). نتایج نشان داد عملکرد علوفه خشک بین ارقام مختلف سورگوم

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رقم بر برخی از صفات فیزیولوژیک و عملکرد علوفه سورگوم

Table 4- Mean comparison effect of sorghum cultivar on some physiological and forage yield of sorghum

ارقام سورگوم Sorghum cultivars	کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g fresh w.)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g fresh w.)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/g fresh w.)	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t/ha)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t/ha)
ارسک Eresk	3.437 ^a	1.327 ^b	0.840 ^a	88.500 ^a	17.156 ^a
اسپیدفید Speedfeed	3.435 ^a	1.384 ^a	0.816 ^b	87.404 ^b	16.985 ^b
پگاه Pegah	3.049 ^b	1.205 ^c	0.7522 ^c	78.135 ^c	15.291 ^c

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. Means of each column with common letters are not significantly different at 5% by LSD test.

رنگدانه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل a، b و کاروتنوئید، سبب تعدیل اثرات تنش و افزایش عملکرد علوفه تر و خشک سورگوم گردید. در بین ارقام مورد بررسی، رقم محلی ارسک، اسپیدفید و پگاه بترتیب از نظر صفات مورد بررسی و در نهایت عملکرد علوفه وضعیت بهتری داشتند. بنابراین استفاده از روی در برنامه‌های تغذیه‌ای مزارع سورگوم ضمن افزایش کیفیت علوفه می‌تواند باعث تعدیل اثرات سوء تنش خشکی بر رشد و عملکرد سورگوم شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش با افزایش دور آبیاری از ۱۰ به ۲۰ روز صفات مختلف سورگوم از قبیل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، عملکرد علوفه تر و خشک سورگوم بطور معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد اکسید روی به فرم نانو و معمولی آن محتوای روی برگ و درصد پروتئین سورگوم را بهبود بخشید. اما کاربرد اکسید روی به فرم نانو و غیر نانو در شرایط تنش کم آبیاری (دور آبیاری ۲۰ روز) از طریق افزایش پرولین و بهبود

References

- Abbasifar, A., Shahrabadi, F. and ValizadehKaji, B., 2020. Effects of green synthesized zinc and copper nano-fertilizers on the morphological and biochemical attributes of basil plant. *Journal of Plant Nutrition*, 43, pp.1104–1118. [In Persian]. doi: **10.1080/01904167.2020.1724305**
- Abdi, M. and Habibi, M., 2017. Effect of drought stress on quantitative and qualitative traits of two forage sorghum cultivars in Jiroft region. *Agroecology Journal*, 13, pp.35-40. [In Persian]. doi: **10.22034/aej.2017.536835**
- Akinci, C., Doran, I., Yildirim, M. and Gul, I., 2008. Effects of different zinc doses on zinc and protein contents of barley. *Asian Journal of Chemistry*, 20, pp.2293-2301.
- Adaikumari, M., Khan, S., Pakrashi, S. and Mukherjee, A., 2006. Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*. *Journal of Hazard Material*, 190(1), pp.613-621. doi: **10.1016/j.jhazmat.2011.03.095**
- Almutairi, Z.M., 2016. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. *Plant Omics Journal*, 9, pp.106–114.
- Al-Selwey, W.A., Alsadon, A.A., Ibrahim, A.A., Labis, J.P., Seleiman, M.F., 2023. Effects of zinc oxide and silicon dioxide nanoparticles on physiological, yield, and water use efficiency traits of potato grown under water deficit. *Plants*, 12, 218. doi: **10.3390/plants12010218**
- Ananda, G.K.S., Myrans, H., Norton, S.L., Gleadow, R., Furtado, A. and Henry, R.J., 2020. Wild Sorghum as a Promising Resource for Crop Improvement. *Frontier in Plant Science*, 11, 1108. doi: **10.3389/fpls.2020.01108**
- Babaeian, M., Heidari, M. and Ghanbari, A., 2010. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(4), pp.377-391. [In Persian].
- Bagci, S.A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I., 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in Central Anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(3), pp.198-206. doi: **10.1111/j.1439-037X.2007.00256.x**
- Baligar, V.C., Fageria, N.K. and He, Z.L., 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 32, pp.921-950. doi: **10.1081/css-100104098**
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205–207. doi: **10.1007/bf00018060**
- Baybordi, A., 2006. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Parivar Press. Pp.179-185. [In Persian]. doi: **10.1002/9780470960707.ch16**
- Behtash, F., Tabatabaei, S., Malakouti, M. and Sororaddin, M., 2010. Effect of zinc and cadmium on growth, chlorophyll content, photosynthesis, and cadmium concentration in red beet. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(1), pp.31-41. [In Persian]. doi: **10.22092/ijsr.2010.126527**
- Chaker-alhosseini, M.H., Mohtashami, R. and Oleiaei, H.R., 2009. Effects of rate, source, and method of zinc fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of Rice (Choram 1). *Journal of Research in*

- Agricultural Science*, 5, pp.33-43. [In Persian].
- Chen, W., Yang, X., He, Z., Feng, Y. and Hu, F., 2008. Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. *Physiologia Plantarum*, 132(1), pp.89-101. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.00992.x
- Dimkpa, C.O., Singh, U., Bindraban, P.S., Elmer, W.H., Gardea-Torresdey, J.L. and White, J.C., 2019. Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. *The Science of the Total Environment*, 688, pp.926–934. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.392
- Ebrahimian, E. and Bybordi, A., 2014. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 9(1), pp.422-427. [In Persian].
- Eliaspour, S. Seyed Sharifi, R. and Shirkhani, A., 2019. Evaluation of yield and yield components of forage sorghum using zinc sulfate and nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), pp.145-158. [In Persian].
- Fouman, A., 2011. Evaluation of different forage sorghum cultivars [*sorghum bicolor* (l.) moench] through an assessment of morphological, quantitative & qualitative yield traits. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(4), pp.833-840. [In Persian]. doi: 20.1001.1.20084811.1389.41.4.19.4
- Goodman, B.A. and Newton, A.C., 2005. Effects of drought stress and its sudden relief on free radical processes in barley. *Journal of Science Food Agriculture*, 85, pp.47-53. doi: 10.1002/jsfa.1938
- Grzebisz, W., Wrońska, M., Diatta, J.B. and Dullin, P., 2008. Effect of zinc foliar application at early stages of maize growth on patterns of nutrients and dry matter accumulation by the canopy. Part I. Zinc uptake patterns and its redistribution among maize organs. *Journal of Elementology*, 13, pp. 17-28.
- Gurmani, A.R., Din, J.U., Khan, S.U., Andaleep, R., Waseem, K., Khan, A. and Hadyat-Ullah, A., 2015. Soil application of zinc improves growth and yield of tomato. *International Journal Agricultural Biology*, 14, pp.91–96.
- Heidary, Y. and Moaveni, P., 2009. Study of drought stress on accumulation and proline among aba in different genotypes forage corn. *Research Journal of Biological Sciences*, 4, pp.1121-1124. [In Persian].
- Hussein, M.M., El-Faham, S.Y. and Alva, A.K., 2012. Pepper plants growth, yield, photosynthetic pigments, and total phenols as affected by foliar application of potassium under different salinity irrigation water. *Agricultural Sciences*, 3, pp.241-248. doi: 10.4236/as.2012.32028
- Kazemeini, S.A. and Alinia M., 2017. Effect of salinity stress on growth, yield and some physiological traits of forage sorghum cultivars. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(2), pp.19-31. [In Persian].
- Klute, A. and Dirksen, C., 2018. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. Agronomy Monograph No. 9, ASA, Madison, pp.687-734. doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28
- Liu, R. and Lal, R., 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, pp.131–139.

doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.104

Mahajan, P., Dhoke, S. and Khanna, A., 2011. Effect of nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiata*) and gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. *Journal of Nanotechnology*, 696535.

doi: 10.1155/2011/696535

Mehraban, A., Moussavi Nik, S.M. and Tavassoli, A., 2012. The effect of vesicular arbuscular mycorrhizal (vam) on yield and yield components of three sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture science)*, 6(3 (23)), pp.265-277. [In Persian].

Nair, R., Hanna Varghese, S., Nair, B., Maekawa, G.T., Yoshida, Y. and Sakthi kumar, D., 2010. Nano-particulate material delivery to plants. *Plant Science*, 179, pp.154-163. **doi: 10.1016/j.plantsci.2010.04.012**

Naseri, P., Faramarzi, A., Khorshidi Benam, M.B. and Shahrokhi, Sh., 2011. Effect of irrigation intervals on yield and yield components of sorghum bicolor cultivars in Miyaneh region, iran. *Journal Of Crop Ecophysiology (Agriculture Science)*, 5(19), pp.93-103. Sid. [In Persian].

Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M., 2015. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on quantitative and qualitative essential oil of *Ocimum basilicum*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31(2), pp.185-193. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2015.101458**

Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanalal, P.R. and Pradeep, T., 2012. Effect of nanoscales zinc oxide on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35, pp.905-927. **doi: 10.1080/01904167.2012.663443**

Rafiee M., 2018. Effect of sowing time on growth and yield of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars in second cropping in temperate region of Lorestan province. *Iranian Journal of Crop Science*, 20, pp.180-192. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.15625540.1397.20.3.1.8**

Samarah, N., Mullen, R. and Cianzio, S., 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, pp.835-815. **doi: 10.1081/pln-120030673**

Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafei, F. and Nejatkhah, P., 2021. Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. *Springer Nature Applied Science*, 3(81), pp.1-13. **doi: 10.1007/s42452-020-03977-4**

Savaghebi Firouzabadi, GH.R., Malakouti, M.J. and Moez Ardalani, M., 2003. Effects of zinc sulfate application as well as seed zinc concentration on responses of wheat. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 34, pp.471-482. [In Persian]. **doi: 10.3390/agronomy12030734**

Sekabira, K., Oryem- Origa, H., Mutumba, G., Kakudidi, E. and Basamba, T.A., 2011. Heavy metal phytoremediation by (*Commelina benghalensis* L) and (*Cynodon dactylon* L) growing in Urban stream sediments. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(8), pp.133-142.

Serival, H., Stahl, K., Tallaksen, L.M. and Demuth, S., 2001. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 21, pp.317-333. **doi: 10.1002/joc.619**

Shojaei, H. and Makarian, H., 2015. The effect of nano and non-nano zinc oxide particles foliar application on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiata*) under drought Stress. *Iranian Journal of Field Crop*

- Research*, 12, pp.727-737. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v12i4.24603
- Singh, A., Singh, N., Hussain, I., Singh, H., Yadav, V. and Singh, S., 2016. Green synthesis of nano zinc oxide and evaluation of its impact on germination and metabolic activity of *Solanum lycopersicum*. *Journal of Biotechnology*, 233, pp.84–94. doi: 10.1016/j.jbiotec.2016.07.010
- Sun, L., Song, F., Guo, J., Zhu, X., Liu, S. and Liu, F., 2020. Nano-ZnO-induced drought tolerance is associated with melatonin syn-thesis and metabolism in maize. *International Journal of Molecular Science*, 21, 782. doi: 10.3390/ijms21030782
- Vaghar, M.S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H.R., Kobraee, S. and Valadabadi, S.A., 2020. Foliar application of iron, zinc, and manganese nanochelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43, pp.2740–2756. doi: 10.1080/01904167.2020.1793180
- Zaimenko, N.V., Didyk, N.P., Dzyuba, O.I., Zakrasov, O.V., Rositska, N.V. and Viter, A.V., 2014. Enhancement of drought resistance in wheat and corn by nanoparticles of natural mineral analcite. *Ecologia Balkanica*, 6, pp.1–10.
- Zengin, K.F., 2016. The effects of Co²⁺ and Zn²⁺ on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. *Strike*) seedlings. *Journal of Environmental Biology*, 27, pp.441-448.
- Zhang, G., Shen, D., Ming, B., Xie, R., Jin, X., Liu, C., Hou, P., Xue, J., Chen, J., Zhang, W., Liu, W., Wang, K. and Li, S., 2019. Using irrigation intervals to optimize water-use efficiency and maize yield in Xinjiang, northwest China. *The Crop Journal*, 7(3), pp.322-334. doi: 10.1016/j.cj.2018.10.008
- Zhang, L., Yan, M., Ren, Y., Chen, Y. and Zhang, S., 2021. Zinc regulates the hydraulic response of maize root under water stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, pp.123-134. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.12.014

The effect of foliar application of nano and non-nano zinc oxide particles on some physiological traits and forage yield of sorghum under water deficit stress

Masome Khaleghdoost¹, Hassan Makarian^{2*}, Hamid Abbasdokht², Mehdi Baradaran Firouzabadi²

¹ M.Sc Graduate of Agroecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

*Corresponding Author: h.makarian@yahoo.com

Received: 11 March 2023

Accepted: 20 April 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.390869.1332

Abstract

Introduction: Zinc (Zn) plays an important role in plant growth and tolerance to stress and increasing their yield, but it has been reported that zinc nanoparticles have a better role on improving the growth of plants under water stress conditions. One of the factors limiting the growth of sorghum forage plant is water stress. Studies have shown that zinc nanoparticles have a positive impact on plants response to water shortage conditions through improving photosynthesis and enzymatic activity. Therefore, this study was conducted to investigate the effect of foliar application of nanosized and non-nano zinc oxide on some physiological and forage yield of three sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under water deficit condition.

Materials and Methods: This study was performed at the research farm of Shahrood University of Technology in the growing season of 2018-19. The experiment was arranged as split plot factorial based on randomized complete block design with three replications. Water deficit stress treatment in two levels of 10 and 20 days irrigation interval were assigned as main plots and sub plots were the combination of the two factors; sorghum cultivars at three levels: Eresk, Speedfeed and Pegah, and foliar application of zinc in three levels of control, micro and nano-particles forms at concentration of 2 gr l⁻¹. Foliage spraying of Zinc was performed before flowering stage of sorghum. Sampling and measuring of sorghum pigments, leaf protein, leaf zinc contents and proline were done at flowering stage. Wet and dry forage yield of sorghum was measured at the end of growing season on the 2 squares meter in each plot. All data collected were subjected of analysis of variance (ANOVA) using MSTATC software. Significant differences between means refer to the probability level of 0.05 by LSD test.

Results and Discussion: The results showed that by increasing the irrigation interval from 10 to 20 days, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, leaf protein, leaf zinc content, fresh and dry forage yield decreased significantly. The results indicated that the minimum fresh forage yield (61.48 ton/ha) and dry forage yield (12.03 ton/ha) was observed with non-application of zinc in irrigation interval of 20 days. Water deficit stress causes damage to photosynthesis pigments, stomatal conductance and finally the growth and yield of plants. The results showed that application of zinc in nano or conventional form causes a significant increase in chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, proline, leaf protein, zinc content, fresh and dry forage yield under stress conditions. The highest fresh and dry forage yield were observed at the rate of 97.4 and 18.8 ton.ha⁻¹ respectively in irrigation interval of 10 days treatment by application of ZnO nano particles. Also, the results showed that, foliar application of zinc in nano and conventional form increased fresh forage yield of sorghum by 37.58 and 32.49 percent compared with control in water deficit stress condition respectively. This can be due to the role of ZnO nano particles that can enhance the rate of photosynthesis by improving gas exchange, chlorophyll fluorescence, carbonic anhydrase activity, and enhanced proline content in plants. Results also showed that in the most of physiological and yield traits and forage yield the local Ersek cultivar was better significantly than Speed Feed and Pegah cultivars.

Conclusion: The foliar application of ZnO conventional and nano particles significantly mitigated water deficit stress and enhanced photosynthesis pigments, proline, leaf protein and zinc contents as well as improved the fresh and dry yield of sorghum.

Keywords: Nano fertilizers, Plant nutrition, Proline, Water stress

اثر میکوریزا، ورمی کمپوست و میکروارگانیزم‌های موثر بر کارایی مصرف عناصر و عملکرد کنگد

ملیحه سعیدی^۱، غلامرضا خواجهی نژاد^{۲*}، عنایت الله توحیدی نژاد^۲، جلال قنبری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: khajoei@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.379518.1308

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

چکیده

با هدف ارزیابی نقش میکوریزا و میکروارگانیزم‌های موثر (EM) در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و افزایش کارایی مصرف عناصر در سطوح مختلف ورمی کمپوست، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در منطقه رودبار جنوب، جیرفت اجرا شد. سطوح ورمی کمپوست (بدون کاربرد، کاربرد ۵ تن در هکتار و ۱۰ تن در هکتار) در کرت‌های اصلی، EM (کاربرد و عدم کاربرد EM) در کرت‌های فرعی و تلقیح با میکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح با *Funneliformis mosseae*) در کرت‌های فرعی-فرعی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در حالی که کاربرد میکروارگانیزم‌ها در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های ذکر شده نداشت، در شرایط کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست، کاربرد تلفیقی میکوریزا و EM و در شرایط کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست، کاربرد منفرد میکروارگانیزم‌ها منجر به افزایش معنی‌دار تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر شد. همچنین، بیشترین کارایی مصرف ورمی کمپوست از کاربرد سطح ۵ تن ورمی کمپوست و تلقیح میکوریزا و EM حاصل و منجر به عدم تفاوت معنی‌دار عملکرد در مقایسه با شرایط کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست و عدم تلقیح میکروبی شد. به طور کلی، کاربرد میکروارگانیزم‌ها در هر دو سطح کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش کارایی مصرف ورمی کمپوست شدند. همچنین، با افزایش سطح کاربرد ورمی کمپوست کارایی تلقیح میکروبی افزایش یافت. کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست همراه با تلقیح میکروبی بهترین نتیجه را در بر داشت. با این وجود، از نظر کارایی مصرف کود، کاربرد ۵۰ درصد ورمی کمپوست و تلقیح تلفیقی میکوریزا و EM نیز می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد کنگد، تلقیح میکروبی، کارایی مصرف کود، کود آلی

مقدمه

گروه‌های میکروارگانیزم‌های مختلف شامل قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا، باکتری‌های محرک رشد و میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM) است (Adesemoye and Klopper, 2009; Moon). (et al., 2011; Uzun et al., 2018; Yadav et al., 2021). فعالیت‌های تحقیقاتی با هدف دستیابی به کارایی بالاتر کاربرد کودها، از جمله استفاده از میکروارگانیزم‌های مختلف به عنوان مکمل‌های کود، در دهه‌ی اخیر به طور پیوسته افزایش یافته است. مطالعات، اغلب برهمکنش مثبت بین تلقیح میکروبی در شرایط سیستم‌های مختلف تغذیه آلی و شیمیایی را نشان داده است که در بسیاری موارد، تلقیح می‌تواند جذب عناصر غذایی را توسط گیاه بهبود داده و در نتیجه افزایش کارایی استفاده از کودهای شیمیایی و آلی را به همراه داشته باشد (Adesemoye and Klopper, 2009; Ghanbari).

استفاده مداوم از کودهای شیمیایی و کودهای آلی برای افزایش حاصل‌خیزی خاک و عملکرد محصول، اغلب منجر به اثرات غیرمنتظره مضر زیست‌محیطی شده است (Tilman, 1998). سیستم‌های مدیریت تلفیقی عناصر غذایی برای بهبود بهره‌وری کشاورزی و حفاظت از محیط زیست یکی از مهم‌ترین جنبه‌های بهبود تغذیه در کنار کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی است (Adesemoye and Klopper, 2009). تلقیح میکروبی یکی از اجزای امیدبخش چنین سیستم‌های مدیریتی است که در جهت رفع مشکلات زراعی و زیست‌محیطی، نقش مهمی ایفا می‌کند. میکروارگانیزم‌های محرک رشد، موجب بهبود رشد گیاه، افزایش دسترسی و جذب مواد مغذی و حمایت از سلامت گیاهان می‌شوند. تلقیح میکروبی شامل تلقیح با عمده‌ترین

¹ Effective Microorganisms (EM)

کوددهی بر عملکرد و میزان سود اقتصادی در کشت علوفه ذرت و سورگوم نشان داد که کاربرد میکوریزا و کوددهی با میزان ۵۰ درصد نیتروژن صفات گیاهی و پارامترهای عملکرد را نسبت به شاهد بهبود داد (Uzun et al., 2018). در گیاهان دیگر نیز کاربرد تلفیقی میکوریزا و کودهای آلی و شیمیایی، ضمن افزایش در عملکرد، با افزایش جذب و کارایی جذب نیتروژن و فسفر، کارایی مصرف عناصر نیتروژن و فسفر را نسبت به کاربرد هر کدام به تنهایی بهبود داد (Ghanbari et al., 2019; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022, 2021).

میکروارگانیزم‌های مؤثر حاوی انواع مختلف میکروارگانیزم‌های مفید و مقابله کننده با عوامل بیماری‌زا، به ویژه باکتری‌های فتوسنتز کننده (Rhodospseudomonas spp.)، باکتری‌های اسید لاکتیک (Lactobacillus spp.)، مخمر (Saccharomyces spp.)، اکتینومایست‌ها و هم‌چنین قارچ‌های تخمیری مانند Aspergillus و Penicillium و غیره است (Moon et al., 2011). به عنوان نوعی کود زیستی-آلی، کاربرد EM می‌تواند ضمن کاهش اثرات منفی کودهای شیمیایی، موجب بهبود حاصلخیزی خاک شده و چرخه عناصر غذایی را بهبود دهد (Cui et al., 2021). نقش میکروارگانیزم‌های مؤثر در بهبود عملکرد کنجد مورد بررسی قرار نگرفته است. بر اساس نتایج مطالعات مختلف، کاربرد EM، نتایج متفاوتی را به همراه داشته است و اثر آن بر عملکرد گیاه نیاز به بررسی بیشتر در شرایط مختلف و گیاهان مختلف دارد. به عنوان مثال، گزارش شده است که تأثیر افزودن EM بر حاصلخیزی خاک و رشد گیاه مشهود نیست (Mayer et al., 2010). در مطالعات دیگر گزارش شده که کاربرد EM تنها در صورت استفاده هم زمان با کود دامی منجر به افزایش جذب عناصر، رشد گیاه و کارایی کاربرد کود دامی می‌شود (Khalil et al., 2006; Mayer et al., 2010; Jahanban and Lotfifar, 2012).

بر اساس موارد ذکر شده، نقش کاربرد هم‌زمان میکوریزا و EM در افزایش عملکرد کنجد و کارایی مصرف ورمی کمپوست بررسی نشده است. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی نقش کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌ها و سطوح مختلف ورمی کمپوست در افزایش عملکرد و بررسی امکان کاهش کل مقدار مصرف کود، انجام شد.

(and Khajoei-Nejad, 2021, 2022). با این حال، تأثیر تلفیق میکروبی بر افزایش کارایی کاربرد منابع کودی در گیاهان مختلف هنوز نیازمند بررسی دقیق‌تر است.

در میان گیاهان مهم روغنی، کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از بهترین و غنی‌ترین روغن‌های خوراکی را فراهم می‌کند (Pathak et al., 2014). دانه حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد روغن است که به دلیل وجود آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامولین، سسامین و سزامول، از پایداری بالایی برخوردار است (Anilakumar et al., 2010). ترکیب شیمیایی روغن کنجد که با سطح پایین اسیدهای چرب اشباع (SFAs) (کمتر از ۱۵ درصد) و وجود آنتی‌اکسیدان‌ها مشخص می‌شود، می‌تواند در بهبود سلامتی انسان بسیار مؤثر باشد (Dossa et al., 2017). کنجد به رغم اهمیت بالا، از حمایت علمی، صنعتی و سیاست‌گذاری بسیار اندک برخوردار شده است (Dossa et al., 2017). از این رو، اعمال تکنیک‌های به زراعی برای بهره‌وری بالاتر برای پاسخ مؤثر به تقاضای روزافزون روغن آن، حائز اهمیت است.

کاربرد ورمی کمپوست با بهبود خصوصیات مختلف خاک، موجب بهبود رشد گیاه و اجزای عملکرد کنجد شده است (Vasanth Pandiyan et al., 2020). هم‌چنین، نتایج مطالعه‌های مختلف بیانگر واکنش مثبت کنجد به تلفیق با گونه‌های مختلف میکوریزا به خصوص گونه *Funneliformis mosseae* بوده است (Askari et al., 2019; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). در بررسی اثر میکوریزا (*Glomus mosseae*)، و کاربرد تلفیقی میکوریزا و منابع کودی مختلف، نتایج نشان داد که کاربرد میکوریزا به تنهایی و در ترکیب با کودهای آلی، گرانوله‌ی گوگردی و ورمی کمپوست باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (Rezvani moghaddam et al., 2015). هم‌چنین، پتانسیل قارچ‌های میکوریزا برای تأثیرگذاری بر رشد، روابط آبی و تغذیه گیاه کنجد گزارش شده است (Gholinezhad et al., 2020; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). قارچ‌های میکوریزا به عنوان مهم‌ترین مکانیزم، تغذیه فسفر را در گیاهان بهبود داده و منجر به افزایش تولید می‌شوند (Adesemoye and Kloepper, 2009; Bardi and Malusà, 2012). علاوه بر این، نقش میکوریزا در شرایط کاهش

مواد و روش‌ها

شرایط آزمایش و تیمارهای مورد بررسی

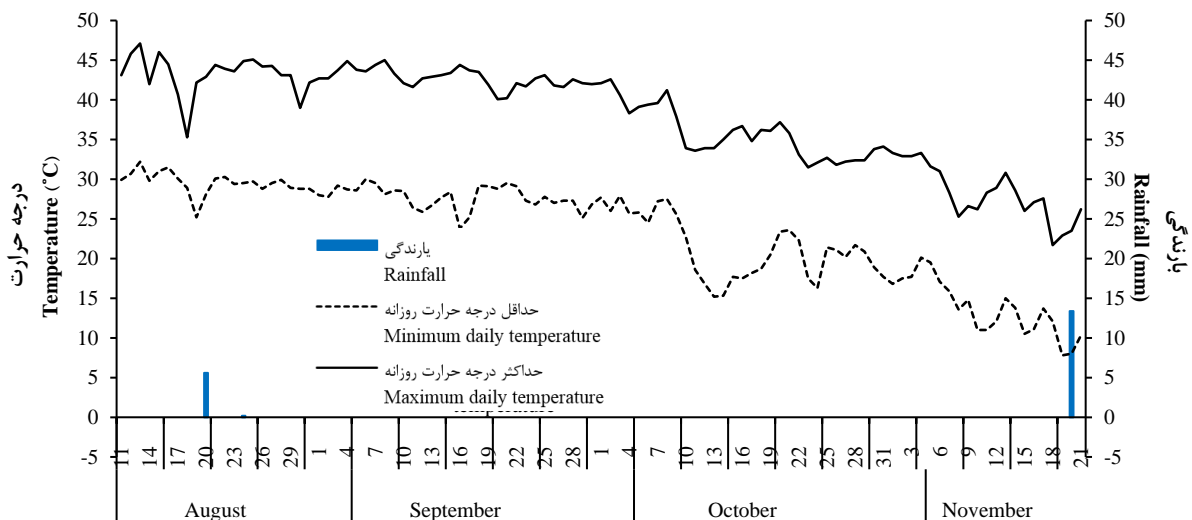
این آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در منطقه رودبار جنوب، جیرفت، با موقیت جغرافیایی ۲۸/۰۲ درجه شمالی، ۵۸ درجه شرقی و ارتفاع ۴۷۰ متر از سطح دریا، انجام شد. جهت ارزیابی خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر انجام شد و سپس نمونه به آزمایشگاه تجزیه خاک منتقل و مورد تجزیه قرار گرفت. خصوصیات مختلف خاک و ویژگی‌های آب و هوایی محل

اجرای آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است. این آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ ترکیب تیماری در سه تکرار اجرا شد. بذور رقم محلی کنگد از کشاورزان منطقه تهیه و در کرت‌هایی به مساحت سه متر مربع به ابعاد ۱/۵×۲ متر در تاریخ ۲۰ مرداد ۱۴۰۰ در عمق یک تا ۱/۵ سانتی‌متر کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و تراکم نهایی ۶۰ بوته در هر کرت حاصل شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در منطقه رودبار جنوب، جیرفت

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of the experimental site in Rudbar-e Jonub region, Jiroft

بافت Texture	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm ⁻³)	pH	قابلیت هدایت الکتریکی Ec (dS m ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)
لوم-شنی Sandy-Loam	1.81	7.4	6.1	0.27	0.024	24.57	590



شکل ۱- عوامل مختلف اقلیمی منطقه اجرای آزمایش در طول فصل رشد ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Figure 1- Different climatic factors of the experimental area during the growing season of 2021-2022

ورمی کمپوست) در کرت‌های اصلی اعمال و با خاک مخلوط شد. ورمی کمپوست کاربردی، دارای خصوصیات ۱/۶ EC، کربن آلی: ۱۴/۹۳ درصد، نیتروژن: ۱/۱ درصد، فسفر: ۰/۸ درصد و پتاسیم: ۰/۷۶ درصد بود. کاربرد میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM) در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) در کرت‌های فرعی اعمال شد. کاربرد EM به صورت تلقیح بذور و به صورت تکمیلی به شکل کاربرد پای بوته‌ها، اعمال گردید. مایه تلقیح میکروارگانیزم‌های

بعد از آماده‌سازی زمین در مرداد ماه ۱۴۰۰، سطوح مختلف ورمی کمپوست شامل (۱) ۱۰ درصد نیاز غذایی کنگد (۱۰ تن در هکتار؛ معادل ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (P₂O₅) و ۷۶ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K₂O))، (۲) ۵۰ درصد نیاز غذایی (۵ تن در هکتار، معادل ۵۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۴۰ کیلوگرم در هکتار P₂O₅ و ۳۸ کیلوگرم در هکتار K₂O) و شاهد (بدون اعمال

به ازای کیلوگرم کود مصرف شده) از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$AEV (g\ kg^{-1}) = (Y_i - Y_0) / FN \quad (1)$$

Y_i عملکرد (کیلوگرم در هکتار) به ازای مقدار معین کاربرد ورمی کمپوست (FN) در هر تیمار و Y_0 عملکرد (کیلوگرم در هکتار) اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) (Xu et al., 2012).

کارایی مصرف عناصر (NUE) برای براساس رابطه زیر با توجه به عملکرد تولید شده (SY) به ازای عنصر مصرف شده در واحد سطح (عنصر موجود در خاک و عنصر اضافه شده توسط ورمی کمپوست (TN)) برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد محاسبه قرار گرفت (رابطه ۲) (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022).

$$NUE = SY / TN \quad (2)$$

جهت ارزیابی کارایی میکوریزا و میکروارگانیسم‌های مؤثر در افزایش عملکرد تولیدی در شرایط مختلف کاربرد ورمی کمپوست، اثربخشی تلقیح میکروبی (MIE)^۲ با استفاده از عملکرد دلنه تولید شده در شرایط تلقیح (Y_i) و عدم تلقیح (Y_0) و از رابطه (۳) حاصل شد:

$$MIE = \frac{BY_i - BY_0}{BY_i} \times 100 \quad (3)$$

به منظور تعیین اختلاف آماری بین تیمارهای مورد بررسی، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.0 انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$, LSD) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای تهیه شکل‌ها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته کنجد از بین تیمارهای مورد آزمایش تنها تحت تأثیر اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست قرار گرفت و سایر تیمارهای مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته کنجد نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته کنجد شد

مؤثر (حاوی باکتری‌های فتوسنتز کننده *Rhodospseudomonas* spp.) ($3/3 \times 10^4$ CFU ml⁻¹), باکتری‌های اسید لاکتیک (*Lactobacillus* spp.) (CFU ml⁻¹) $1/3 \times 10^7$ ، مخمر (*Saccharomyces* spp.) (CFU ml⁻¹) $1/3 \times 10^4$ ، اکتینومایست‌ها (2×10^2 CFU ml⁻¹) و همچنین قارچ‌های تخمیری ($1/5 \times 10^2$ CFU ml⁻¹) مانند *Aspergillus* و *Penicillium*) از شرکت امکان پذیر پارس (شیراز) تهیه شد. جهت اطمینان از تلقیح مؤثر خاک، میکروارگانیسم‌های مؤثر علاوه بر تلقیح بذر، در ابتدای مرحله زایشی (۴۰ روز پس از کاشت) به نسبت ۱۰:۱ (EM: آب) رقیق شده و به میزان ۱۲۰ میلی‌لیتر در هر کرت (براساس دستورالعمل شرکت سازنده)، در آب آبیاری اعمال شد. سطوح میکوریزا به عنوان عامل فرعی فرعی نیز به صورت عدم تلقیح و تلقیح خاک محل قرارگیری بذر، اعمال شد. مایه تلقیح میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) که به صورت تجاری از شرکت گیاهپزشکی ارگانیک (همدان) تهیه شد، در زمان کاشت در بستر بذر به میزان سه گرم برای هر بوته اعمال شد. تمام کرت‌ها بلافاصله پس از کاشت آبیاری شدند و برنامه آبیاری براساس هر هفته یک‌بار انجام شد. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی و عملیات داشت به‌طور یکنواخت برای تمام کرت‌ها انجام شد. پس از استقرار بوته‌ها، به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر، بوته‌های کنجد تنک شدند.

صفات مورد بررسی

در آخر فصل رشد (اول آذرماه ۱۴۰۰) جهت اندازه‌گیری صفات مختلف زراعی و اجزای عملکرد از ردیف میانی پنج بوته برداشت و صفات مختلف شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های کنجد از سطح نیم متر مربع برداشت شده و پس از خشک شدن در هوای آزاد، دانه‌ها از بوته‌ها جدا شده و عملکرد دانه ارزیابی شد.

علاوه بر این، کارایی زراعی مصرف ورمی کمپوست و کارایی مصرف عناصر مختلف از روابط زیر حاصل شد:

کارایی زراعی ورمی کمپوست (AEV)^۱ (گرم دانه تولیدی

² Microbial inoculation effect (MIE)

¹ Agronomic efficiency of vermicompost (AEV)

و بیشترین ارتفاع بوته از کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست کاربرد ۱۰ تن در هکتار منجر به افزایش ۱۵ درصدی ارتفاع بوته حاصل شد. کاربرد ۵ تن در هکتار منجر به افزایش ۷ درصدی و نسبت به عدم کاربرد شد (شکل ۲).

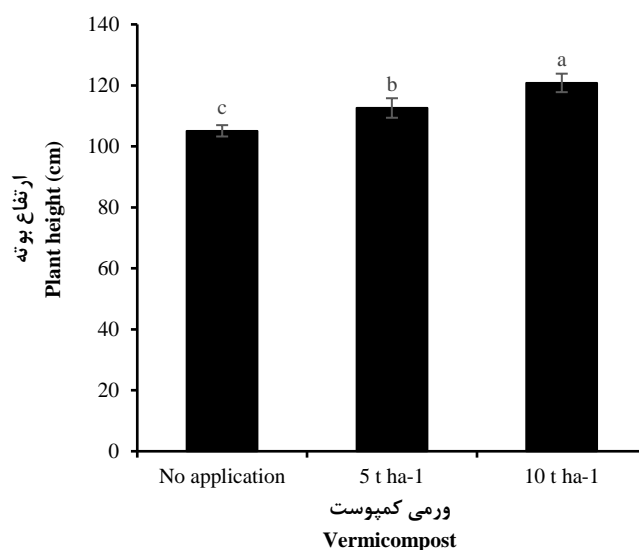
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد ورمی کمپوست، تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر کنجد در منطقه رودبار

Table 2- Analysis of variance results for the effect of vermicompost application, inoculation with effective microorganisms and mycorrhiza on yield components, seed yield and nutrient use efficiency of sesame in Rudbar region

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of branches	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Seed yield	کارایی مصرف نیترژن N use efficiency	کارایی مصرف فسفر P use efficiency	کارایی مصرف پتاسیم K use efficiency
بلوک Replication (R)	2	149	0.041	19.0	136027	0.051	18289	0.0039	0.24	0.0006
ورمی کمپوست Vermicompost (V)	2	**741	0.75 ^{ns}	*1280	**7161805	0.071 ^{ns}	**2752344	**0.447	*6.32	**0.0896
V×R	4	30.2	0.43	91.0	413991	0.030	119148	0.024	0.83	0.0041
میکروارگانیزم‌های مؤثر Effective microorganisms (EM)	1	271 ^{ns}	1.54 ^{ns}	101 ^{ns}	757861 ^{ns}	0.020 ^{ns}	321635 ^{ns}	0.063 ^{ns}	2.28 ^{ns}	0.0110 ^{ns}
V×EM	2	38.8 ^{ns}	0.38 ^{ns}	45.6 ^{ns}	206498 ^{ns}	0.014 ^{ns}	88959 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.0030 ^{ns}
EM (V)×R	6	62.6	0.95	73.3	385912	0.035	116621	0.023	0.74	0.0040
میکوریزا Mycorrhiza (AM)	1	34.4 ^{ns}	0.68 ^{ns}	171 ^{ns}	809289 ^{ns}	0.074 ^{ns}	**467096	**0.094	**3.76	**0.0161
V×AM	2	44.0 ^{ns}	0.21 ^{ns}	21.1 ^{ns}	123105 ^{ns}	0.054 ^{ns}	3754 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
EM×AM	1	328 ^{ns}	0.031 ^{ns}	*196	*1386588	0.075 ^{ns}	*231281	*0.045	*1.52	*0.0079
V×EM×AM	2	159 ^{ns}	0.98 ^{ns}	*185	*995737	0.049 ^{ns}	*180316	*0.035	*1.16	*0.0061
خطا Error	12	92.6	0.34	42.2	240382	0.040	41898	0.0082	0.27	0.0014
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.53	14.0	14.0	14.2	7.04	10.4	10.3	9.51	10.4

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns}: غیر معنی‌دار

** : significant at 0.01 probability level, * : significant at 0.05 probability level, and ^{ns}: not significant

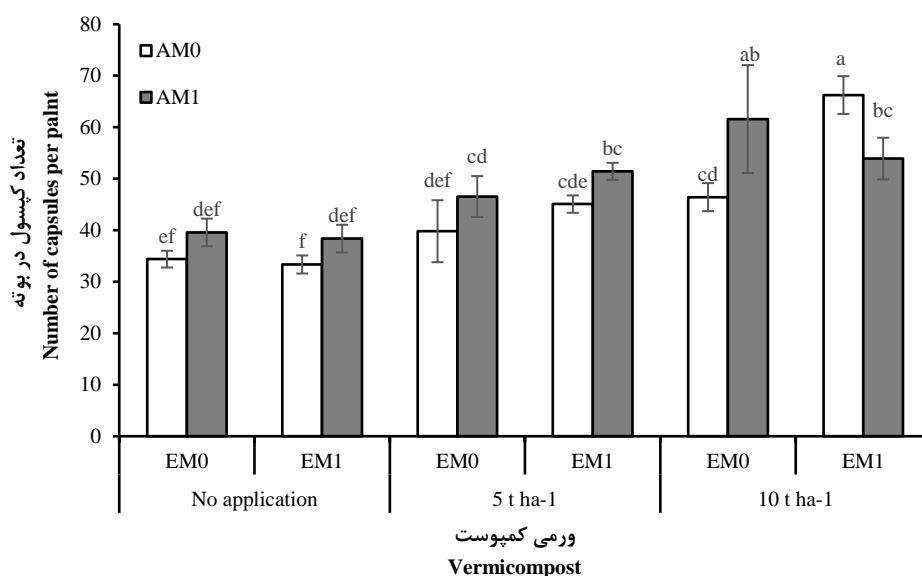


شکل ۲- اثر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست بر ارتفاع بوته کنجد

Figure 2- Effect of different levels of vermicompost on plant height of sesame

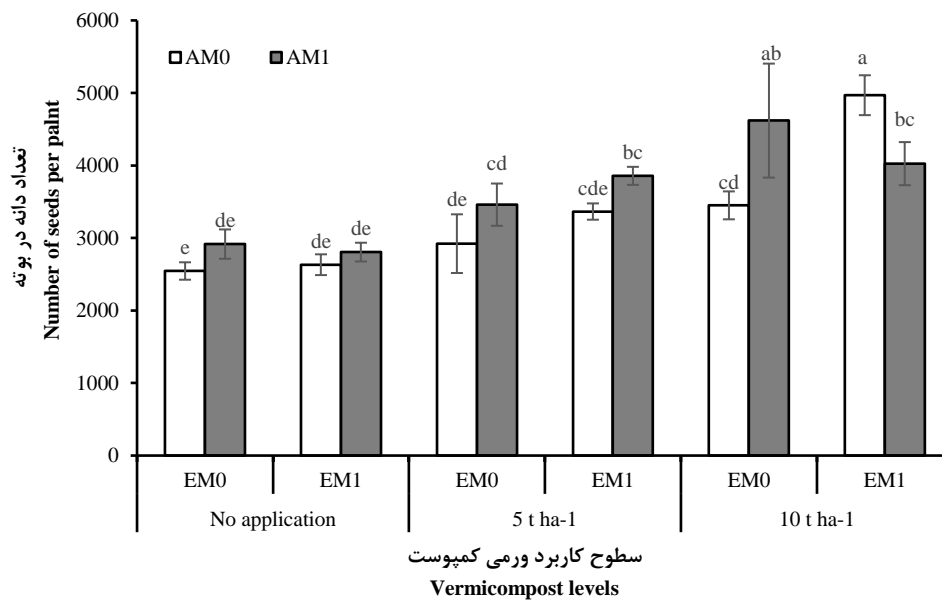
تنظیم‌کننده‌های رشد و مواد مغذی موجود در کمپوست بوده که تأثیر مثبتی بر عملکرد نهایی برجا گذاشته است (Ganjineh *et al.*, 2019). نتایج هم‌چنین نشان داد که تیمارهای آزمایش و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته کنجد نداشت (جدول ۲).

به طور کلی، کوددهی به دلیل افزایش حاصلخیزی و بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک، که باعث افزایش رشد ریشه می‌شود به رشد رویشی گیاه کمک می‌کند (Oliveira *et al.*, 2015). در همین ارتباط، محققین گزارش کرده اند که مصرف کمپوست و کود دامی منجر به افزایش رشد رویشی کنجد نسبت به شاهد شده که به دلیل بسیاری از آنزیم‌ها،



شکل ۳- تعداد کپسول در بوته کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست و تلقیح با میکروارگانیسم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح)

Figure 3- Number of capsules per plant in sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)



شکل ۴- تعداد دانه در بوته کنگد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح).

Figure 4- Number of seeds per plant in sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)

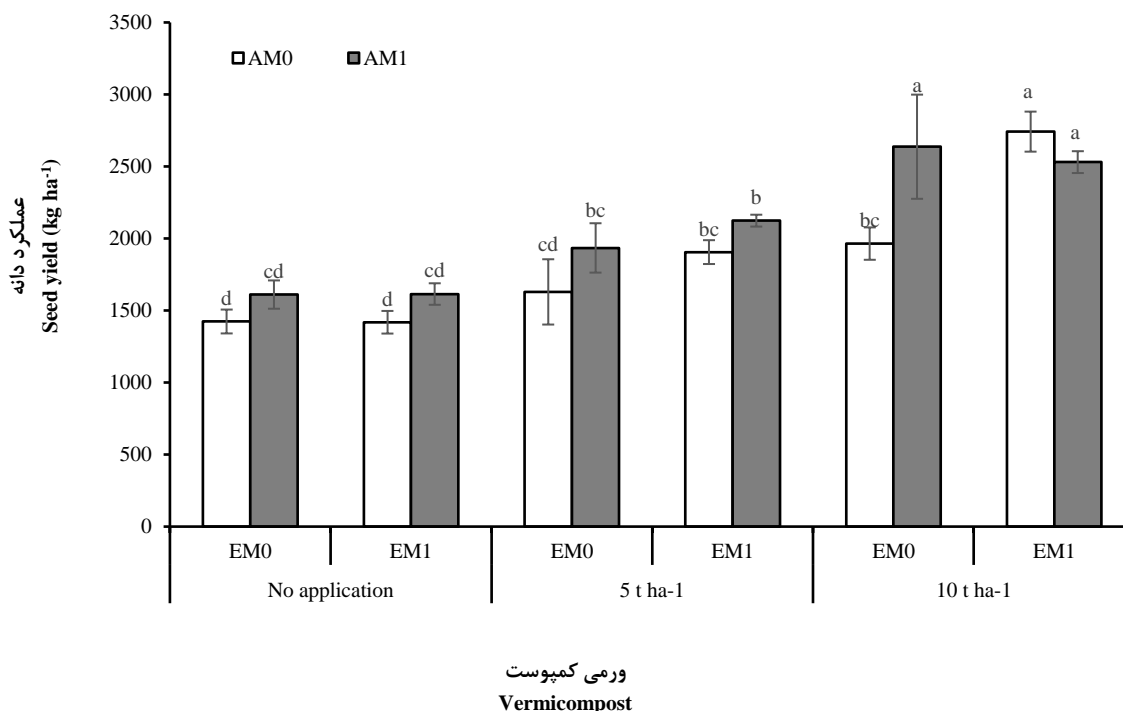
عملکرد دانه کنگد تحت تأثیر سطوح کاربرد ورمی کمپوست، تلقیح با میکوریزا و اثر متقابل کاربرد ورمی کمپوست، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر قرار گرفت (جدول ۲). با روندی مشابه با اجزای عملکرد، در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر اثر معنی داری بر عملکرد نداشت. در شرایط کاربرد ۵ تن ورمی کمپوست، تنها کاربرد تلفیقی میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر منجر به افزایش معنی دار (۳۰ درصد) عملکرد دانه نسبت به عدم تلقیح شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد سطوح بالای ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر و اثر تلفیقی آن‌ها بر افزایش عملکرد دانه قابل مشاهده بود و نسبت به عدم تلقیح در این شرایط، عملکرد دانه را بین ۲۹ تا ۳۹/۵ درصد نسبت به عدم تلقیح در این شرایط بهبود دادند (شکل ۵).

با توجه به عدم تأثیر پذیری وزن هزاردانه از تیمارهای کودی و مشاهده روند مشابه در تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته، به نظر می‌رسد این اجزا نسبت به وزن هزاردانه از اثر بیشتری در تعیین عملکرد دانه کنگد برخوردارند. بنابراین، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر به خصوص در تلفیق با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست با اثر قابل توجه بر

نتایج نشان داد که تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته تحت تأثیر کاربرد ورمی کمپوست، اثر متقابل تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر و اثر متقابل کاربرد ورمی کمپوست و تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر قرار گرفتند (جدول ۲). این در حالی بود که از بین اجزای عملکرد، هیچکدام از تیمارهای مورد ارزیابی اثر معنی داری بر وزن هزاردانه نداشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر اثر معنی داری بر تعداد کپسول و دانه در بوته نشان نداد. در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، تنها کاربرد تلفیقی میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر منجر به افزایش تعداد کپسول (۲۹ درصد) و تعداد دانه در بوته (۳۲ درصد) نسبت به عدم تلقیح میکروارگانیزم‌ها شد و کاربرد هر کدام به تنهایی تغییری معنی داری نسبت به عدم تلقیح ایجاد نکرد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر بهترین نتیجه را در پی داشت و تفاوت معنی داری با تلقیح با میکوریزا نشان نداد اما منجر به افزایش معنی دار تعداد کپسول (۴۳ درصد) و تعداد دانه در بوته (۴۴ درصد) نسبت به عدم تلقیح در این شرایط شد (شکل‌های ۳ و ۴).

تلقیح میکروبی جزء امیدوارکننده‌ای برای حل مشکلات زراعی و زیست‌محیطی است، زیرا از ظرفیت ارتقای رشد گیاه، افزایش دسترسی و جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاه و حمایت از سلامت گیاهان برخوردار است (Adesemoye and Klopper, 2009).

تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته، بر عملکرد دانه اثر مثبت داشته و منجر به بهبود عملکرد نسبت به کاربرد هر کدام به تنهایی شدند. برای اکثر ویژگی‌های مرتبط با عملکرد، اثر متقابل برای اعمال سطح ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر یافت شد که مشخصه اثر هم‌افزایی بین کوددهی آلی و تلقیح میکروبی است.



شکل ۵- عملکرد دانه کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح)

Figure 5- Seed yield of sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)

(*et al.*, 2015). اثر مثبت کاربرد تلفیقی تلقیح میکوریزا و کودهای آلی بر رشد گیاهان مختلف گزارش شده است (Adesemoye and Klopper, 2009; Oliveira *et al.*, 2015; Silva and Silva, 2020; Uzun *et al.*, 2018). کودهای آلی علاوه بر افزایش جمعیت میکروبی که برای قارچ‌های میکوریزا مفید هستند، باعث بهبود خواص مختلف خاک شده (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021) که می‌تواند باعث افزایش نفوذ و توزیع ریشه‌ها و رشد هیف‌های میکوریزا شود. کودهای آلی جدا از اینکه منبعی از مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر هستند، تکثیر هیف‌ها را به واسطه تجزیه مواد آلی تحریک می‌کند، که به عملکرد جامعه میکروبی خاک

در بررسی اثر گونه‌های مختلف میکوریزا بر بهبود عملکرد کنجد تحت شرایط تنش خشکی، گزارش شد که گونه *F. mosseae* نسبت به *R. intraradices* مؤثرتر بوده اما هر دو گونه نسبت به عدم تلقیح، موجب افزایش عملکرد کنجد شدند (Askari *et al.*, 2019). نتایج مشابه از اثر بهبود دهندگی میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) بر عملکرد و بهره‌وری کنجد گزارش شده است (Gholinezhad *et al.*, 2020; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021; Yadav *et al.*, 2021). به طور مشابه، گزارش شده تلقیح میکوریزا گونه *Gigaspora albida* و کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش تولید گیاه *Passiflora alata* شده است (Oliveira

اجزای عملکرد (تعداد غلاف، وزن، طول، وزن دانه، تعداد دانه، عملکرد دانه) کنجد شد (Vasanth Pandiyan *et al.*, 2020). در همین ارتباط گزارش شده که رشد قابل توجه گیاه در شرایط کاربرد ورمی کمپوست به دلیل ترکیب عناصر غذایی آن نسبت به سایر کودها بود. در تایید این نتایج، در مطالعه‌ای (Ganjineh *et al.*, 2019)، بیشترین عملکرد کنجد از تلفیق ورمی کمپوست با کاربرد همزمان *Azospirillum* و *Azotobacter* حاصل شد.

و رشد گیاه کمک می‌کند، همانطور که در مطالعه‌ای دیگر (Oliveira *et al.*, 2015) مشاهده شد. نتایج بررسی برخی ویژگی‌های کیفی خاک نشان داد که تخلخل، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصر درشت مغذی به طور معنی‌داری در اثر کاربرد ورمی کمپوست افزایش یافته است. به دنبال این اثرات بهبود دهنده، ورمی کمپوست و ترکیب آن با کودهای شیمیایی منجر به افزایش اجزای رشد گیاه (ریشه، اندام هوایی، شاخص سطح برگ، شاخه، تولید ماده خشک) و

جدول ۳- کارایی مصرف عناصر کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست و تلفیق با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلفیق و EM1: تلفیق) و میکوریزا

Table 3- Nutrients use efficiency of sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza

سطوح ورمی کمپوست Vermicompost levels	میکروارگانیزم‌های مؤثر Effective microorganisms (EMs)	کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency (g. g ⁻¹)		کارایی مصرف فسفر P use efficiency (g. g ⁻¹)		کارایی مصرف پتاسیم K use efficiency (g. g ⁻¹)	
		عدم تلفیق با میکوریزا Non-inoculation	تلفیق با میکوریزا AM-inoculation	عدم تلفیق با میکوریزا Non-inoculation	تلفیق با میکوریزا AM-inoculation	عدم تلفیق با میکوریزا Non-inoculation	تلفیق با میکوریزا AM-inoculation
		EM0	EM1	EM0	EM1	EM0	EM1
عدم کاربرد No application	EM0	0.66 ^e	0.74 ^{de}	4.55 ^{de}	5.15 ^{cde}	0.267 ^d	0.302 ^{cd}
	EM1	0.65 ^e	0.74 ^{de}	4.53 ^e	5.16 ^{cde}	0.266 ^d	0.302 ^{cd}
۵ تن در هکتار 5 t ha ⁻¹	EM0	0.73 ^{de}	0.87 ^{cd}	4.62 ^{de}	5.48 ^{cd}	0.303 ^{cd}	0.360 ^{bc}
	EM1	0.86 ^{cd}	0.95 ^{bc}	5.40 ^{cde}	6.02 ^{bc}	0.354 ^{bc}	0.395 ^b
۱۰ تن در هکتار 10 t ha ⁻¹	EM0	0.86 ^{cd}	1.16 ^a	5.00 ^{de}	6.71 ^{ab}	0.363 ^{bc}	0.487 ^a
	EM1	1.20 ^a	1.11 ^{ab}	6.98 ^a	6.44 ^{ab}	0.506 ^a	0.467 ^a

برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD هستند.

For each trait, means with similar letter(s) show no statistically significant difference based on the LSD test.

در مورد اثر EM بر خصوصیات مختلف رشد و عملکرد در گیاهان مختلف، گزارشات متفاوتی در دسترس است که براساس شرایط اعمال آن در تلفیق با منبع کودی خاص و زمان مورد بررسی پس از اعمال تیمار، نتایج متفاوتی در پی داشته است. به عنوان مثال، نتایج مطالعه‌ای از کاربرد کود مرغی و EM در انواع مختلف خاک نشان داد که نوع خاک و کوددهی بر عملکرد و ویژگی‌های شیمیایی و میکروبی خاک اثر معنی‌داری داشت درحالی‌که تأثیری از EM مشاهده نشد (Priyadi *et al.*, 2005). در پژوهشی چهار ساله روی گیاهان مختلف، اثر میکروارگانیزم‌های مؤثر تنها در شرایط تلفیق با کودهای آلی و تنها بر محصول گندم در سال چهارم آزمایش مثبت گزارش شده و کاربرد EM به تنهایی، رشد گیاه و پارامترهای مختلف خاک را به خصوص در سه سال اول آزمایش تحت تأثیر قرار نداد

(Mayer *et al.*, 2010). هم‌چنین، گزارش شده است که تأثیر افزودن EM بر حاصلخیزی خاک و رشد گیاه مشهود نیست (Mayer *et al.*, 2010). با این حال، در بررسی اثرات تلفیقی کاربرد EM با منابع تغذیه آلی و شیمیایی بر عملکرد پنبه گزارش شد که کاربرد منفرد مواد آلی و EM عملکرد و اجزای عملکرد پنبه را به طور قابل توجهی افزایش ندادند اما استفاده تلفیقی آن‌ها منجر به افزایش ۴۴ درصدی عملکرد نسبت به شاهد شد (Khaliq *et al.*, 2006). به طور کلی، اثرگذاری بهتر کاربرد EM در شرایط کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند تا حد زیادی با اثر مثبت تلفیق با EM بر جمعیت میکروبی خاک و میکروارگانیزم‌های مفید در شرایط کاربرد کودهای آلی باشد (Mayer *et al.*, 2010). گزارش شده که کاربرد کودهای آلی از نظر افزایش تعداد باکتری‌های تثبیت کننده N در ریزوسفر از

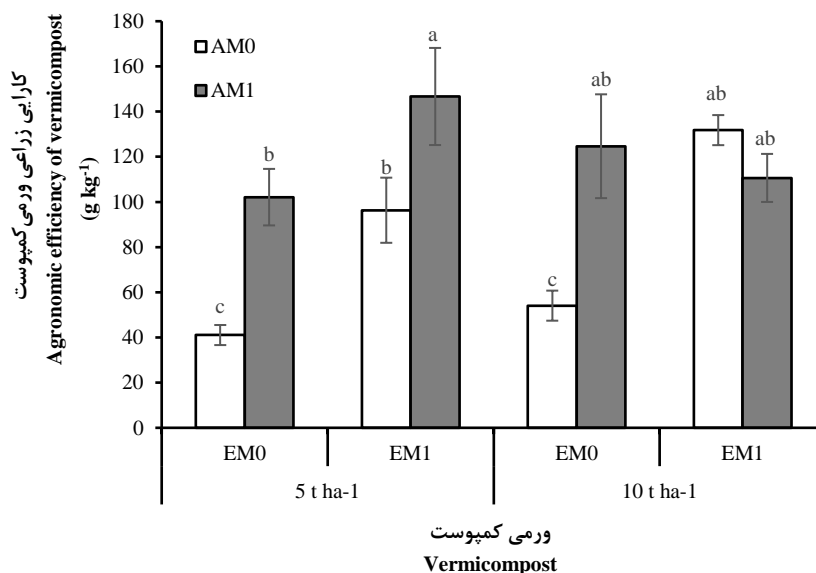
عناصر نسبت به عدم تلقیح در این شرایط شد اما تفاوت معنی داری بین تلقیح میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر و تلقیح تلفیقی آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۳).

نتایج نشان داد که کارایی زراعی ورمی کمپوست تحت تأثیر اثر متقابل سطوح کاربرد ورمی کمپوست، میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، تلقیح با میکوریزا کارایی زراعی ورمی کمپوست را در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر به ترتیب ۱۴۹ و ۵۸ درصد افزایش داد به طوری که بیشترین کارایی از تیمار تلفیقی میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا حاصل شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، تلقیح با میکوریزا، میکروارگانیزم‌های مؤثر و تلفیق آن‌ها به ترتیب ۱۳۱، ۱۴۴ و ۱۰۶ درصد کارایی زراعی ورمی کمپوست را نسبت به عدم تلقیح افزایش در این شرایط داد. با این وجود، نتایج نشان داد که تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا به طور معنی داری کارایی زراعی ورمی کمپوست را در هر دو سطح کاربرد ورمی کمپوست بهبود داد (شکل ۶).

کود شیمیایی مؤثرتر بود. این نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از مواد آلی می‌توان جمعیت میکروبی خاک را افزایش داد و با تلقیح با کود زیستی، اثربخشی آن‌ها را افزایش داد. به این ترتیب می‌توان قابلیت دسترسی عناصر غذایی را برای گیاه افزایش داد و حداکثر عملکرد را به دست آورد (Jilani *et al.*, 2007).

کارایی مصرف عناصر و کارایی زراعی ورمی کمپوست

کارایی مصرف عناصر شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم تحت تأثیر کاربرد ورمی کمپوست، تلقیح با میکوریزا و اثر متقابل ورمی کمپوست با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که کارایی مصرف عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست تحت تأثیر تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا قرار نگرفت. مشابه با نتایج قبل، در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، تلقیح تلفیقی میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا منجر به افزایش معنی دار کارایی مصرف عناصر نسبت به عدم تلقیح شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد سطح بالای ورمی کمپوست، کاربرد منفرد و تلفیقی میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا نیز منجر به افزایش معنی دار کارایی مصرف این



شکل ۶- کارایی زراعی ورمی کمپوست تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح)

Figure 6- Agronomic efficiency of vermicompost affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)

فسفر و پتاسیم و همچنین کارایی زراعی کاربرد ورمی کمپوست

اثرات مشابه در افزایش کارایی مصرف عناصر نیتروژن،

مشاهده شده که در شرایط کاربرد تلفیقی بهترین نتایج را در پی داشته است. در بررسی برهمکنش بین اجزای میکروبی برای بهره‌وری بهتر از کودهای مختلف، هم‌افزایی محتمل است (Adesemoye and Kloepper, 2009) که تایید می‌کند با استفاده از میکروارگانیزم‌های مختلف، از طریق دستیابی به افزایش کارایی مصرف کودهای مصرفی، امکان استفاده از مقادیر کمتر کود وجود خواهد داشت. نتایج نشان داده است که تلفیح مشترک مایه تلفیح تجاری حاوی سویه‌های متعدد میکروبی توانسته است با افزایش کارایی مصرف عناصر و منابع کاربردی کودی موجب افزایش بهره‌وری و عملکرد شود (Adesemoye and Kloepper, 2009; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021, 2022). نتایج مطالعه دیگری (Rezvani moghaddam et al., 2015) نشان داد که کاربرد تلفیقی میکوریزا و ورمی کمپوست نسبت به کاربرد هر کدام به تنهایی عملکرد دانه کنگد را به طور معنی‌داری افزایش داده است. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که تلفیح بذر با قارچ‌های میکوریزا همراه با میزان کاهش یافته کاربرد کودها می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش کارایی زیست محیطی و سودآوری در تولید علوفه باشد (Uzun et al., 2018). تلفیق نصف مقدار کود NP با EM می‌تواند عملکردی مشابه با میزان کامل کود NP را به همراه داشته باشد و از طریق کاهش مصرف کود، ضمن کاهش هزینه، کارایی مصرف کودها را به حداکثر رساند (Jilani et al., 2007).

علاوه بر این، نتایج نشان داد که شرایط کاربرد ۵۰ درصد ورمی کمپوست و کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌ها تفاوت معنی‌داری با شرایط کاربرد ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست بدون کاربرد میکروارگانیزم‌ها نشان نداد. این می‌تواند به دلیل افزایش کارایی زراعی کاربرد ورمی کمپوست با کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌های کاربردی باشد (شکل ۶). امکان کاهش ۵۰ درصد کود شیمیایی در تولید فلفل (*Capsicum annuum* L.) با استفاده از کاربرد تلفیقی قارچ‌های میکوریزا (*F. mosseae*) و *Bacillus sonorensis* در شرایط مزرعه ارزیابی و قابلیت این میکروارگانیزم‌ها در کاهش میزان مصرف کودهای NPK به نصف مقدار، بدون تأثیر منفی بر رشد، تغذیه و عملکرد گزارش شده است (Thilagar et al., 2016). نتایج مشابه در افزایش کارایی در شرایط کاربرد ۵۰ درصد کودهای آلی و NP در مطالعه دیگر در گیاه ذرت گزارش شده است (Jilani et al., 2007).

کارایی تلفیح میکروبی

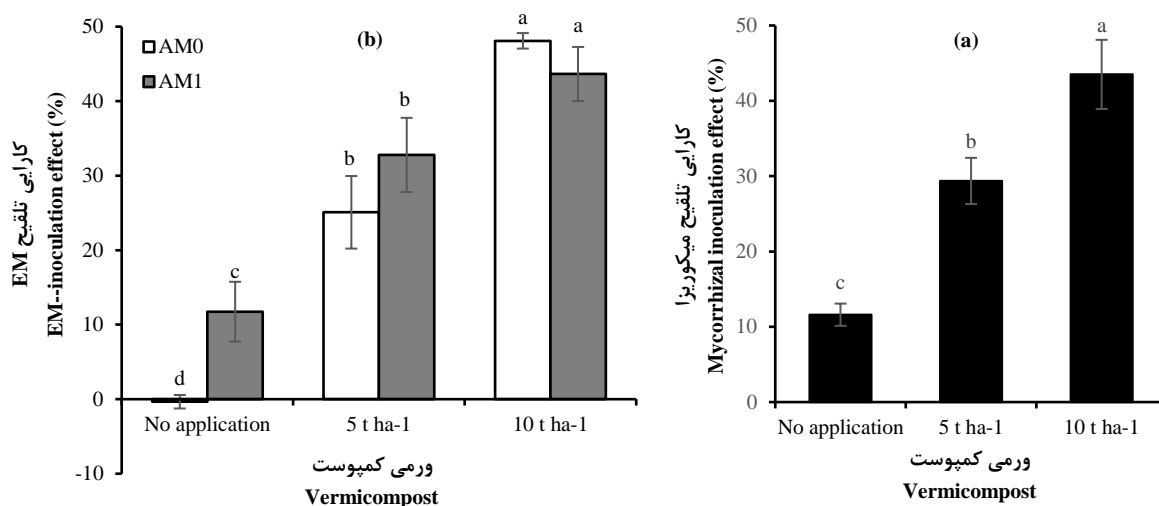
نتایج نشان داد که کارایی تلفیح میکوریزا تحت تأثیر سطوح کاربرد ورمی کمپوست قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست نسبت به عدم کاربرد به طور معنی‌داری کارایی تلفیح میکوریزا را بهبود داد. کارایی تلفیح در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست ۱۵۳ درصد و در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، ۲۷۵ درصد نسبت به عدم کاربرد (شاهد) بهبود یافت (شکل ۷-ا).

کارایی تلفیح EM تحت تأثیر کاربرد ورمی کمپوست و اثر متقابل ورمی کمپوست و میکوریزا قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین کارایی تلفیح EM از کاربرد سطح ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست حاصل شد. در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست و عدم تلفیح با میکوریزا، کارایی تلفیح EM منفی بود، اما تلفیح با میکوریزا کارایی تلفیح EM را به طور معنی‌داری به حدود ۱۲ درصد در این شرایط افزایش داد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد سطوح مختلف ورمی کمپوست، تلفیح میکوریزایی اثر معنی‌داری بر کارایی تلفیح EM نداشت (شکل ۷-ب).

کاربرد میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست اثر معنی‌داری بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف عناصر نداشت. این ممکن است به دلیل کمبود مواد مغذی خاک و در نتیجه ناکارآمدی تلفیح میکوریزایی و میکروارگانیزم‌های مؤثر باشد. در تأیید این مطلب، نتایج نشان داد که کارایی تلفیح میکروارگانیزم‌های کاربردی در شرایط عدم کاربرد ورمی کمپوست به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در مقابل، در شرایط مقادیر بالای کاربرد ورمی کمپوست، بیشترین عملکرد از تلفیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و هم‌چنین تلفیح با میکوریزا حاصل شد (شکل ۵ و جدول ۳) که نتیجه افزایش کارایی تلفیح با افزایش میزان کاربرد ورمی کمپوست بود (شکل ۷). در تایید نتایج حاصله، گزارش شد که تلفیح EM به خصوص در شرایط کاربرد مقادیر بالای کودهای آلی باعث افزایش عملکرد برنج و بهره‌وری مزرعه شد (Iwaishi, 2001).

در مقایسه با کاربرد آن همراه با کودهای معدنی، بر رشد گیاه مؤثرتر واقع شد (Khaliq *et al.*, 2006). در واقع، به نظر می‌رسد کاربرد این میکروارگانیزم‌ها در بستر غنی از مواد آلی می‌تواند مؤثرتر واقع شود که در برنامه‌های تحقیقاتی می‌تواند مد نظر قرار گیرد. از طرف دیگر خاک محل مورد آزمایش محتوای ماده آلی پایینی داشته (جدول ۱) و به نظر می‌رسد کاربرد مقادیر کافی مواد آلی و تلفیق آن با میکروارگانیزم‌ها در چنین خاکی می‌تواند اثرات مثبت قابل توجهی را در پی داشته باشد. اثر افزایش ماده آلی و میکروارگانیزم‌ها می‌تولند با تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش فعالیت میکروبی را به همراه داشته باشد که منجر به بهبود محیط رشد گیاه می‌شود (Cui *et al.*, 2021).

با توجه به اثر مثبت مشاهده شده برای کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌ها با کودهای آلی در این مطالعه، به نظر می‌رسد کاربرد همزمان می‌تواند کارایی استفاده از ورمی‌کمپوست و همچنین کارایی تلفیق میکروبی را به طور معنی‌داری بهبود بخشد و بر رشد و عملکرد گیاه اثر بهتری بر جا گذارد. همان‌طور که نتایج سایر مطالعات تأیید کننده این است که خاک‌هایی که مقادیر کافی کود در آن‌ها اعمال شده بود، کارایی تلفیق میکروبی را بهبود بخشیده است (Silva and Silva, 2020). همچنین، عدم پاسخ مناسب EM به شرایط کاربرد میزان پایین عناصر مختلف به این دلیل است که EM مخلوطی از میکروارگانیزم‌های مختلف است که تنها در حضور مقادیر کافی مواد آلی می‌تواند به خوبی عمل کند (Khaliq *et al.*, 2006). در گزارشی عنوان شد که کاربرد EM در شرایط کاربرد مواد آلی



شکل ۷- کارایی تلفیق میکوریزا در سطوح کاربرد ورمی کمپوست (a) و کارایی تلفیق میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM) تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست و تلفیق با میکوریزا (AM0: عدم تلفیق و AM1: تلفیق) (b)

Figure 7- Mycorrhizal inoculation effect affected by different levels of vermicompost application (a), and effective microorganisms (EM) inoculation effect affected by different levels of vermicompost application and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation) (b)

کاربرد میزان ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست حاصل شد، اما کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌های مورد بررسی همراه با میزان ۵۰ درصد کاربرد ورمی کمپوست نیز تفاوت معنی‌داری با شرایط کاربرد ۱۰۰ درصد و عدم تلفیق میکروبی نشان نداد. در واقع، کاربرد این ترکیب تیماری منجر به حصول بیشترین کارایی زراعی کاربرد ورمی کمپوست شد که می‌تواند در مدیریت منابع کودی به خصوص در شرایط محدودیت دسترسی عناصر در مزرعه مد نظر قرار گیرد. البته باید توجه داشت که کاهش

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان از اثر مثبت کاربرد ورمی کمپوست و تلفیق آن با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر در جهت افزایش عملکرد و کارایی مصرف عناصر گیاه کنجد داشت. بهترین نتایج از کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست و تلفیق با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر حاصل شد. تلفیق این تیمارها با اثر بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر را بهبود داد. با وجود اینکه بیشترین عملکرد و کارایی مصرف عناصر از

شیمیایی جهت تولید محصول نیز می‌تواند برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار مد نظر قرار گیرد.

میزان کودهای آلی در شرایط تلفیق با میکروارگانیزم‌ها بتواند تأمین کننده نیاز گیاه باشد. همچنین، تلفیق میکروارگانیزم‌های مفید و کودهای زیستی به منظور کاهش استفاده از کودهای

References

- Adesemoye, A.O. and Kloepper, J.W., 2009. Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), pp.1-12. doi: **10.1007/s00253-009-2196-0**
- Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F. and Bawa, A.S., 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds-an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 75(4), pp.159-168.
- Askari, A., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Hosseini, Y., 2019. Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*, 257, 108749. doi: **10.1016/j.scienta.2019.108749**
- Babakhani, V., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2023. Biomass Production and Nitrogen Use Efficiency in Dill-Fenugreek Intercropping in Response to Biofertilizers and Manure. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), pp.1-18. [In Persian]. doi: **10.22034/saps.2022.48673.2759**.
- Bardi, L. and Malusà, E., 2012. Drought and nutritional stresses in plant: alleviating role of rhizospheric microorganisms. In *Abiotic stress: New research*. Nova Science Publishers Inc, Hauppauge. pp. 1–57.
- Cui, Q., Xia, J., Yang, H., Liu, J. and Shao, P., 2021. Biochar and effective microorganisms promote Sesbania cannabina growth and soil quality in the coastal saline-alkali soil of the Yellow River Delta, China. *Science of the Total Environment*, 756, 143801. doi: **10.1016/j.scitotenv.2020.143801**
- Dossa, K., Diouf, D., Wang, L., Wei, X., Zhang, Y., Niang, M., Fonceka, D., Yu, J., Mmadi, M.A., Yehouessi, L.W. and Liao, B., 2017. The emerging oilseed crop *Sesamum indicum* enters the “Omics” era. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1154. doi: **10.3389/fpls.2017.01154**
- Ganjineh, E., Babaii, F., Mozafari, A., Heydari, M.M. and Naseri, R., 2019. Effect of urea, compost, manure and bio-fertilizers on yield, percentage and composition of fatty acids of sesame seed oil (*Sesamum indicum* L.). *Cellular and Molecular Biology*, 65(5), pp.64-72. doi: **10.14715/cmb/2019.65.5.11**
- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2021. Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops and Products*, 166, pp.113447. doi: **10.1016/j.indcrop.2021.113447**
- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2022. Relationships between growth indices, dry matter production, and nutrient use efficiency in saffron: Integrative effect of mycorrhizal inoculation and nutrient resources. *Journal of Plant Nutrition*, 45(14), pp.2077-2095. doi: **10.1080/01904167.2022.2063138**
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Van Ruth, S.M. and Aghighi, S., 2019. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, pp.301-310. doi:

10.1016/j.indcrop.2019.04.064

Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R., 2021. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Field Crops Research*, 262, 108035. doi:

10.1016/j.fcr.2020.108035

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S.S. and Popović-Djordjević, J., 2020. Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiological traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, 238, 106234. doi:

10.1016/j.agwat.2020.106234

Iwaishi, S., 2001. Effect of organic fertilizer and effective microorganisms on growth, yield and quality of paddy-rice varieties. *Journal of Crop Production*, 3(1), pp.269-273. doi: **10.1300/j144v03n01_22**

Jahanban, L. and Lotfifar, O., 2012. Study of the effective organism (EM) application effect on efficacy of chemical and organic fertilizers in corn cultivation (*Zea mays* s. C704). *Plant Products Technology (Agricultural Research)*, 11(2), pp.43-52. [In Persian].

Jilani, G., Akram, A., Ali, R.M., Hafeez, F.Y., Shamsi, I.H., Chaudhry, A.N. and Chaudhry, A.G., 2007. Enhancing crop growth, nutrients availability, economics and beneficial rhizosphere microflora through organic and biofertilizers. *Annals of Microbiology*, 57, pp.177-184. doi: **10.1007/bf03175204**

Khaliq, A., Abbasi, M.K. and Hussain, T., 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology*, 97(8), pp.967-972. doi: **10.1016/j.biortech.2005.05.002**

Khanamani, A., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2022. Evaluation of efficiency in fenugreek-black cumin intercropping under application of growth-promoting bacteria and nitrogen fertilizer amounts. *Journal of Crops Improvement*, 25(1), pp.159-175. [In Persian]. doi: **10.22059/jci.2022.336635.2661**.

Mayer, J., Scheid, S., Widmer, F., Fließbach, A. and Oberholzer, H.R., 2010. How effective are 'Effective microorganisms®(EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*, 46(2), pp.230-239. doi: **10.1016/j.apsoil.2010.08.007**

Moon, Y.H., Lee, K.B., Kim, Y.J. and Koo, Y.M., 2011. Current status of EM (effective microorganisms) utilization. *KSBB Journal*, 26(5), pp.365-373.

Oliveira, M.S., Campos, M.A. and Silva, F.S., 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost to maximize the production of foliar biomolecules in *Passiflora alata* Curtis seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), pp.522-528. doi: **10.1002/jsfa.6767**

Pathak, N., Rai, A.K., Kumari, R. and Bhat, K.V., 2014. Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy Reviews*, 8(16), pp.147. doi: **10.4103/0973-7847.134249**

Priyadi, K., Hadi, A., Siagian, T.H., Nisa, C., Azizah, A., Raihani, N. and Inubushi, K., 2005. Effect of soil type, applications of chicken manure and effective microorganisms on corn yield and microbial properties of acidic

- wetland soils in Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51(5), pp.689-691. doi: **10.1111/j.1747-0765.2005.tb00092.x**
- Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M.B. and Ehyae, H.R., 2014. Effect of simultaneous application of mycorrhiza with compost, vermicompost and sulfur geranole on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) in a low input cropping system. *Journal of Agroecology*, 7(4), pp.563-577. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v7i4.51326**.
- Silva, F.S.B. and Silva, F.A., 2020. A low cost alternative, using mycorrhiza and organic fertilizer, to optimize the production of foliar bioactive compounds in pomegranates. *Journal of Applied Microbiology*, 128(2), pp.513-517. doi: **10.1111/jam.14477**
- Thilagar, G., Bagyaraj, D.J. and Rao, M.S., 2016. Selected microbial consortia developed for chilly reduces application of chemical fertilizers by 50% under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 198, pp.27-35. doi: **10.1016/j.scienta.2015.11.021**
- Tilman, D., 1998. The greening of the green revolution. *Nature*, 396, pp.211–212. doi: **10.1126/science.252.5002.26**
- Uzun, P., Masucci, F., Serrapica, F., Varricchio, M.L., Pacelli, C., Claps, S. and Di Francia, A., 2018. Use of mycorrhizal inoculum under low fertilizer application: Effects on forage yield, milk production, and energetic and economic efficiency. *The Journal of Agricultural Science*, 156(1), pp.127-135. doi: **10.1017/s0021859618000072**
- Vasanth Pandiyan, C., Balaji, K., Saravanan, S., Gunasekaran, S., Srinivasan, G.R., Kiresee Saghana, P.R. and Manivel, G., 2020. Effect of Vermicompost Application on Soil and Growth of the Plant *Sesamum indicum* L. Preprints, 2020020080. doi: **10.20944/preprints202002.0080.v1**
- Xu, G., Fan, X. and Miller, A.J., 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, pp.153–182. doi: **10.1146/annurev-arplant-042811-105532**
- Yadav, A., Saini, I., Kaushik, P., Ansari, M.A., Khan, M.R. and Haq, N., 2021. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and P-solubilizing *Pseudomonas fluorescens* (ATCC-17400) on morphological traits and mineral content of sesame. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), pp.2649-2654. doi: **10.1016/j.sjbs.2021.03.024**

Influence of mycorrhiza, vermicompost, and effective microorganisms (EMs) on nutrient use efficiency and yield of sesame

Malihe Saeidi¹, Gholamreza Khajoei –Nejad^{2*}, Enayatollah Tohidi –Nejad², Jalal Ghanbari^{2,3}

¹ M.Sc Student in Agronomy- Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³ Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: khajoei@uk.ac.ir

Received: 3 January 2023

Accepted: 31 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.379518.1308

Abstract

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oldest oilseed crops widely grown in Africa and Asia and well adapted to harsh environments. Among the oilseed crops in the world, sesame is one of the most important because of its high-quality nutritional seeds and oil. Different soil additives including fertilizers and microorganisms are extensively applied in agricultural systems to enhance soil fertility and crop productivity. Recently, the application of effective microorganisms (EM) and arbuscular mycorrhiza fungi (AM) have been considered an eco-friendly way in increasing nutrient and fertilizer use efficiencies and minimizing the harmful environmental effects of fertilizers. However, findings are inadequate regarding the effects of adding vermicompost alone or in combination with AM and EM on the sesame plants. Therefore, this study aimed to investigate the effect of their integrated application on the agronomic efficiency of vermicompost (AEV), AM and EM inoculation effect (AMIE and EMIE), yield and yield components, and nutrient use efficiency (NUE) of sesame.

Materials and Methods: A field experiment with the aim of evaluating the effect of different vermicompost levels (no application, application of 50% of the recommended amount; 5 t ha⁻¹, and 100% of the recommended amount; 10 t ha⁻¹), EM application (without EM inoculation, and EM inoculation) and AM inoculation (no-inoculation and inoculation with *Funneliformis mosseae*) was conducted as split-split plot experiment at Rudbar-e Jonoub region, Jiroft, Iran, during the growing season of 2021-2022. Sesame seeds were procured from the local farmers and sown on August 11, 2021. When the plants were established, the plants were thinned and a final density of 20 plants per m² was obtained. At the end of the growing season (November 21, 2021), plants were harvested and various traits including plant height, number of branches, number of capsules per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, and seed yield were measured. NUE, AEV, AMIE, and EMIE were also calculated.

Results and Discussion: The results showed that vermicompost application, EM, and AM inoculation interaction effect significantly affected yield components, seed yield, and NUE of sesame and AEV. While the use of microorganisms in no application of vermicompost showed no significant effect on the mentioned characteristics, combined application of AM and EM in the application of 5 t ha⁻¹ vermicompost, and individual application in the application of 10 t ha⁻¹ vermicompost, led to a significant increase in the number of capsules per plant, the number of seeds per plant, seed yield (2124, 2637, and 2741 kg ha⁻¹, respectively), and nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiencies (between 49 to 95 percent compared with the control). The highest AEV was also obtained from the reduced level of application (5 t ha⁻¹) and integrated inoculation of AM and EM. In general, the application of microorganisms in both vermicompost application levels led to an increase in vermicompost use efficiency. On the other hand, the use of different vermicompost levels increased the efficiency of microbial inoculation and the highest inoculation efficiency was obtained at the

highest application level. Even though the highest yield and NUE were obtained from the application of 100% vermicompost, the integrated application of microorganisms with 50% of vermicompost did not show a significant difference with the 100% application and no microbial inoculation. In fact, this treatment combination led to achieving the highest agronomic efficiency of vermicompost, which can be considered in the management of fertilizer resources, especially in the limited availability of nutrient resources.

Conclusion: Overall, the integrated application of vermicompost and inoculation with AM and EM could be considered as an effective strategy to improve the growth, yield, nutrient use efficiency, and sesame productivity. Furthermore, the use of microbial inoculants improved the agronomic efficiency of vermicompost. Such information might help in decision-making to improve nutrient management in the fields.

Keywords: Fertilizer use efficiency, Microbial inoculation, Organic amendment, Yield components of sesame

بررسی تنوع صفات ریختی برگ و میوه در ژنوتیپ‌های کنار جنوب ایران

ناصر میرزایی^۱، لیلا فهمیده^۲، بهمن فاضلی‌نسب^{۳*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد اصلاح گیاهان باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: bfazeli@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.226926.1068

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶

چکیده

کنار (*Ziziphus mauritiana* L.) از جمله درختان میوه مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری و مقاوم نسبت به شرایط سخت محیطی به‌ویژه شرایط خشکی، کم‌آبی، شوری و دمای بالا است. در این پژوهش صفات مربوط به برگ، میوه و هسته ۱۴ ژنوتیپ کنار (جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جنوب ایران) در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز طول میوه و وزن تر هسته اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. نتایج ضرایب همبستگی ساده نشان داد که بیشترین همبستگی بین صفات عرض هسته با ضخامت هسته (+۰/۸۷)، طول برگ با عرض برگ (+۰/۸) و وزن تر برگ با وزن میوه (-۰/۴۳) وجود داشته است. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های کنار منطقه میناب (۲۲/۰۸) دارای بالاترین میزان تنوع در صفات مورد ارزیابی بوده و در منطقه میناب نیز ژنوتیپ تالار (۱۸/۸۱) بیشترین تنوع در خصوصیات مورد ارزیابی را داشت، پیشنهاد می‌گردد که جهت ایجاد لاین و یا رقم برتر کنار از ژنوتیپ تالار به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: صفات کمی، عملکرد میوه، لاین برتر، همبستگی مورفولوژیکی

مقدمه

نیز مورد استفاده قرار داد (Singh et al., 2016). برگ، میوه و هسته کنار در برخی از کشورهای آسیای شرقی به‌عنوان گیاه دارویی استفاده می‌شود (Fazeli-Nasab et al., 2017). میوه نارس آن قابض و باعث ایجاد نفخ و رسیده آن بازکننده گرفتگی‌های مجاری گوارشی است. مصرف شیره هسته این گیاه دردهای آبله، سرخجه، و سرخک را تسکین می‌دهد. ضماد برگ کنار در شستشو و استحمام، درمان زخم‌های عفونی، تقویت ریشه مو و همچنین تقویت اعصاب کاربرد فراوان دارد؛ همچنین در برخی مناطق از این گیاه به‌عنوان علفه استفاده می‌کنند (Dafni et al., 2005; Van Wyk and Wink, 2017).

از بین رفتن منابع ژنتیکی و ذخایر توارثی به‌عنوان فرسایش ژنتیکی مطرح است و تحت تأثیر عواملی از جمله استفاده از واریته‌های پرمحصول و اصلاح‌شده به‌جای واریته‌های بومی و تبدیل محیط‌های دست‌نخورده طبیعت به چراگاه‌ها و مزارع به وقوع پیوسته است. این امر باعث افزایش نگرانی‌ها در دهه‌های اخیر شده است (Cheema, 2018; Fazeli-Nasab et al., 2010). یکی از دغدغه‌های مهم جوامع گیاهی حفظ تنوع

کنار، گیاهی چندساله، همیشه‌سبز، از خانواده *Rhamnaceae* دارای $2n=2X=48$ کروموزوم است (Tahergorabi et al., 2015). کنار از جمله گیاهان مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌حساب می‌آید و محدوده انتشار جغرافیایی آن شامل حبشه، افریقای شمالی، عربستان، قسمت‌های گرم ایران و هندوستان است. گسترش این گیاه در ایران بیشتر در نواحی غربی و جنوبی، شامل استان‌های لرستان، خوزستان، کرمان و سیستان و بلوچستان می‌باشد (Fazeli-Nasab et al., 2017). کنار از جمله مقاوم‌ترین درختان میوه به شرایط سخت محیطی به‌ویژه شرایط خشکی، کم‌آبی، شوری و دمای بالا است. این گیاه سازگاری خوبی با شرایط محیطی مختلف داشته و از زمین‌های پست گرفته، تا ارتفاعات هزار متر بالاتر از سطح دریا رشد می‌کند (Fazeli-Nasab and Mirzaei, 2018; Mozafarian, 2010).

کنار گیاهی چندمنظور بوده چرا که علاوه بر مصرف تازه‌خوری، می‌توان آن را در مصارف دارویی، علفه‌ای و زراعی

کنار جنوب ایران بر اساس شاخص‌های مورفولوژیک بوده تا ضمن شناسایی بهترین ژنوتیپ کنار و مهم‌ترین صفات و همچنین منطقه یا مناطقی که دارای کنارهایی با بیشترین تنوع باشند، بتوان از نتایج این تحقیق در برنامه‌های اصلاحی کنار در ایران استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش، برگ، میوه و هسته، ۱۴ ژنوتیپ کنار که در سال ۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات کشاورزی میناب (واقع در استان هرمزگان)، در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۳ تکرار به عنوان درختان مادری تأمین‌کننده پیوندک، به اجرا درآمد، جمع‌آوری و در سال ۱۳۹۶ در دانشگاه زابل مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌برداری در دو مرحله جهت اندازه‌گیری صفات کمی انجام گردید. مرحله اول، اوایل بهمن‌ماه ۹۶ جهت اندازه‌گیری صفات مربوط به برگ و مرحله دوم بعد از رسیدن میوه، در اواخر اسفند همان سال، جهت اندازه‌گیری صفات مربوط به میوه و هسته صورت گرفت. ژنوتیپ‌هایی که در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند، بر اساس نام هر شهر یا روستایی که از آن جمع‌آوری شده بودند نام‌گذاری شدند (جدول ۱؛ شکل ۱ و شکل ۲).

زیستی موجود است (Fazeli-Nasab *et al.*, 2013; Van der Veen, 2014). از این‌رو لازم است که میزان تنوع ژنتیکی گونه‌های موجود مورد بررسی قرار گیرد. کاهش تنوع موجب افزایش آسیب‌پذیری ژنتیکی شده و تهدید جدی برای توده‌های بومی به شمار می‌رود؛ چراکه این تنوع مورفولوژیک یک پشتوانه ژنتیکی گسترده‌ای را دربر می‌گیرد و توده‌های بومی به دلیل داشتن این تنوع ژنتیکی و ژن‌های مفید، نظیر ژن‌های مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Bally and Dillon, 2018).

وجود تنوع ژنتیکی از عوامل مهم بقاء سازگاری موجودات با شرایط محیطی است. تنوع جمعیتی به موجودات زنده کمک می‌کند تا با شرایط محیطی و با تغییرات محیطی مقابله کنند (Ellegren and Galtier, 2016; Fazeli-Nasab *et al.*, 2019). می‌توان گفت ارزیابی و بررسی تنوع ژنتیکی بر اساس فنوتیپ یا صفات قابل اندازه‌گیری، به میزان زیادی متأثر از عوامل محیطی است. به عبارتی این عوامل محیطی هستند که بر بروز صفات مورفولوژیک تأثیر می‌گذارند (Aavik and Helm, 2018; Jahantigh-Haghighi *et al.*, 2017; kermani *et al.*, 2010).

هدف از تحقیق حاضر مطالعه و ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف

جدول ۱- اسامی محل‌های جمع‌آوری ژنوتیپ‌های کنار

Table 1- The names of collecting *Ziziphus mauritiana* L. genotypes

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	محل جمع‌آوری Gathering location	ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	محل جمع‌آوری Gathering location
1	چلو ۱ Chloe-1	میناب روستای چلو Minab chloe village	8	جاسک Jask	جاسک Jask city
2	تالار Talar	میناب روستای تالار Minab talar village	9	جیرفت Jiroft	جیرفت Jiroft city
3	رودان ۱ Roodan-1	رودان Roodan city	10	هشتبندی ۱ Hashtbandi-4	رودان Roodan city
4	رودان ۲ Roodan-2	رودان Roodan city	11	هشتبندی ۱ Hashtbandi-5	رودان Roodan city
5	هشتبندی ۱ Hashtbandi-1	رودان Roodan city	12	کریان Karian	میناب Minab city
6	هشتبندی ۱ Hashtbandi-2	رودان Roodan city	13	چلو ۲ Chloe-2	میناب روستای چلو Minab chloe village
7	هشتبندی ۱ Hashtbandi-3	رودان Roodan city	14	بدون هسته No Core	میناب Minab city



شکل ۱- شکل میوه، برگ و اندازه هسته ژنوتیپ کنار رودان ۱

Figure 1- Fruit and Leaf shap and core size of Rodan 1 *Ziziphus mauritiana* L. genotype



شکل ۲- میوه و برگ ژنوتیپ کنار بدون هسته میناب

Figure 2- Fruit and Leaf shape of *Ziziphus mauritiana* L. genotype of no Core of Minab

اواخر فروردین (میوه‌های دیررس)، نمونه‌ها به‌طور تصادفی در سه گروه ۱۰ تایی از میوه‌های سالم که از قسمت‌های مختلف درخت برداشت شده، جمع‌آوری گردیدند و طی آن صفاتی مانند طول میوه (سانتی‌متر)، عرض میوه (سانتی‌متر)، وزن میوه (گرم)، طول هسته (سانتی‌متر)، عرض هسته (سانتی‌متر)، ضخامت هسته (سانتی‌متر)، وزن تر هسته (گرم)، وزن خشک هسته (گرم)، وزن گوشت میوه (گرم) و میزان تولید (کیلوگرم) هر درخت اندازه‌گیری شدند. صفات بر اساس دستورالعمل توصیف نامه IBPGR موسسه بین‌المللی ذخایر توارث مورد

صفات کمی مورد بررسی

در اوایل بهمن‌ماه که انتهای مرحله گل‌دهی درختان و اوایل شروع بستن میوه‌ها است، نمونه‌هایی از برگ‌های تازه درختان از قسمت‌های میانی به‌طور تصادفی، در سه تکرار و هر تکرار شامل ۲۰ نمونه (از ۴ پایه و هر پایه ۵ برگ)، جمع‌آوری شدند و در طی آن صفاتی مانند طول برگ (سانتی‌متر)، عرض برگ (سانتی‌متر)، طول دم برگ (سانتی‌متر)، وزن تر (گرم) و وزن خشک برگ (گرم) اندازه‌گیری و ثبت گردیدند. پس از رسیدن فیزیولوژیک میوه‌ها، در اواخر اسفندماه (میوه‌های زودرس) تا

در تحقیقی که به منظور بررسی تنوع مورفولوژیکی درختان انبه جنوب ایران انجام شد، برخی خصوصیات شامل: طول برگ، عرض برگ، طول دم برگ، وزن تر برگ و وزن خشک برگ مورد ارزیابی قرار گرفتند و تنوع قابل قبولی از خود نشان دادند (Omranipour *et al.*, 2015).

مشخصات مورفولوژیک برگ و بررسی میزان تغییرات آن در شرایط محیطی مختلف از جمله صفاتی است که از دیرباز مورد توجه متخصصان رده بندی گیاهی بوده است. اگرچه صفات مورفولوژیک تحت شرایط اقلیمی متفاوت، تنوع از خود نشان می دهند (Ahmad *et al.*, 2016)، اما برخی از صفات مورفولوژیک کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفته و کمتر دست خوش تغییرات می شوند. شناسایی و به کارگیری چنین صفاتی در رده بندی زیستی گیاهان و تفکیک گونه های مختلف از یکدیگر از اهداف اصلی متخصصان سیستماتیک گیاهی است. در راستای اهداف فوق، نتایج حاضر نشان داد که تمامی صفات مورد مطالعه در بین ژنوتیپها از خود تفاوت نشان داده اند. محققان قسمتی از تنوع صفات مورفولوژیک برگ را ناشی از تفاوت در شرایط اقلیمی رویش گاه از جمله میانگین رطوبت و دمای سالیانه، ارتفاع از سطح دریا، طول دوره فصل خشک و میزان حاصلخیزی خاک (Bally and Dillon, 2006; Chidumayo, 2018) و قسمتی دیگر را ناشی از وجود تنوع ژنتیکی بین جمعیت ها می دانند.

ارزیابی قرار گرفتند (Thormann *et al.*, 2015).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده شامل تجزیه واریانس بر پایه طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار، مقایسه میانگینها به روش HSD در سطح احتمال ۵ درصد و بررسی همبستگی بین صفات با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. تجزیه خوشه ای و رسم دندروگرام نیز به وسیله نرم افزار NTSYS انجام و بر اساس تجزیه خوشه ای حاصل از ماتریس تشابه، دندروگرام توسط روش UPGMA ترسیم گردید.

نتایج و بحث

صفات مربوط به برگ

آنالیز واریانس نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی مربوط به برگ بین ژنوتیپها اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد داشته اند (جدول ۲). صفاتی چون طول برگ، عرض برگ و طول دم برگ به دلیل پایین بودن ضریب تغییرات تنوع زیادی از خود نشان دادند (جدول ۳).

در مطالعه ای که به منظور بررسی تنوع مورفولوژیکی درختان کنار سه استان خوزستان، هرمزگان و لرستان انجام شد، از نظر نتایج میانگین طول و عرض برگ ژنوتیپهای مورد بررسی در گروه های مختلف قرار گرفتند که نشان دهنده تنوع معنی دار بین ژنوتیپها است (Bina *et al.*, 2012). همچنین

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مربوط به برگ درخت کنار

Table 2- Analysis of the variance of traits related to the leaf of the jujube tree

منابع تغییر	درجه آزادی	طول برگ	طول برگ	طول دم برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ
SOV	df	Leaf length	Leaf width	Petiole length	Fresh leaf weight	Dry leaf weight
بافت مورد بررسی	2	0.021	0.02	0.03	0.04	0.0002
Tissue ژنوتیپ	13	7.04**	1.38**	0.62**	0.24**	0.089**
Genotype خطا	26	0.031	0.053	0.0089	0.02935	0.001
Error						
CV		2.3	5	5.09	14.1	9.3

** معنی دار در سطح یک درصد

** significant at one percent

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات رویشی مربوط به برگ درخت کنار برای تمام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 3- Mean comparison of vegetative traits of the adjacent Leaf of jujube to study all genotypes studied

	طول برگ	طول برگ	طول دم‌برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ
	Leaf length(cm)	Leaf width(cm)	Petiole length(cm)	Fresh leaf weight(g)	Leaf Dry weight(g)
چلوا	8.03cd	4.60de	1.63fg	0.81efg	0.34ef
Chloe-1					
تالار	7.10e	4.23ef	1.56g	0.62fg	0.30fg
Talar					
رودان ۱	9.60a	5.56a	2.10d	1.45a	0.87a
Roodan-1					
رودان ۲	8.83b	5.53a	1.76f	1.40ab	0.59b
Roodan-2					
هشتبندی ۱	6.46f	4.06f	2.63a	0.88def	0.41de
Hashtbandi-1					
هشتبندی ۱	9.63a	5.06b	2.35bc	1.03cde	0.51c
Hashtbandi-2					
هشتبندی ۱	5.60g	4.53de	1.76f	0.53g	0.25g
Hashtbandi-3					
جاسک	6.20f	3.36g	1.03i	0.65fg	0.296fg
Jask					
جیرفت	8.26c	5bc	1.73f	1.03cde	0.63b
Jiroft					
هشتبندی ۱	6.23f	4.23ef	1.50g	0.64fg	0.31fg
Hashtbandi-4					
هشتبندی ۱	8.90b	4.53de	2.23cd	1.03cde	0.48cd
Hashtbandi-5					
کریان	7.80d	4.63cd	2.43b	1.13bcd	0.62b
Karian					
چلوا ۲	7.83d	4.76bcd	1.93e	0.95cde	0.44cd
Chloe-2					
بدون هسته	4.56h	3.26g	1.26h	1.20abc	0.35ef
No Core					
میانگین کل	7.56	4.52	1.85	0.96	0.45
Total mean					

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری است

Similarity letters indicate no significant differences

صفات مربوط به میوه

رودان-۲ و شهر هشتبندی-۲ با میانگین‌های ۳۹ و ۳۹/۳ کیلوگرم کمترین باردهی، در گروه هشتم قرار گرفتند. در ادامه کلیه ژنوتیپ‌ها برای صفات وزن گوشت و عرض میوه مورد بررسی قرار گرفته و به هفت دسته گروه‌بندی شدند که در این بین ژنوتیپ‌های چلو-۱ و شهر رودان-۱ دارای بیشترین وزن گوشت میوه و عرض میوه و در گروه اول و ژنوتیپ بدون هسته میناب دارای کمترین وزن گوشت میوه و عرض میوه، در گروه آخر قرار گرفتند. همچنین برای صفت طول میوه ژنوتیپ‌های شهر هشتبندی ۵ و بدون هسته میناب به ترتیب بیشترین و کمترین طول میوه با میانگین (با میانگین ۴/۷۳ و ۱/۹۳ سانتی‌متر) را نشان دادند و در نهایت صفت وزن میوه، کلیه

نتایج تجزیه واریانس نشان دادند که ژنوتیپ‌های مورد بررسی کنار در مورد اغلب صفات مربوط به میوه به جز صفت طول میوه، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با یکدیگر داشتند (جدول ۴). در این بین صفات وزن میوه، عرض میوه و میزان باردهی هر درخت به دلیل پایین بودن ضریب تغییرات، تنوع زیادی از خود بین ژنوتیپ‌ها نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص کردند که برای صفت میزان تولید هر درخت (عملکرد)، کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی به هشت گروه تقسیم شدند که در این بین ژنوتیپ چلو-۱ با میانگین ۱۲۹/۶ کیلوگرم دارای بیشترین میزان تولید، در گروه اول و ژنوتیپ‌های شهر

تغییرات را دارا بودند که حاکی از تنوع زیاد این صفات است. نتایج مقایسه میانگین در جدول ۷ نشان دادند که برای صفت طول هسته کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی به شش گروه تقسیم می‌شوند که در این میان ژنوتیپ شهر هشتمندی-۵ با بیشترین طول هسته با میانگین ۲/۸۶ سانتی‌متر در گروه اول و ژنوتیپ روستای کریان با کمترین طول هسته با میانگین ۱/۴۳ سانتی‌متر در گروه ششم قرار گرفتند. برای صفت عرض هسته، ژنوتیپ‌های مورد بررسی به چهار گروه تقسیم شدند که در این بین ژنوتیپ‌های روستای کریان، چلو-۱، شهر هشتمندی-۴ و چلو-۲ با بیشترین عرض هسته به ترتیب با میانگین‌های ۰/۷۷، ۰/۷۳ و ۰/۷۳ سانتی‌متر در گروه اول و ژنوتیپ‌های شهر هشتمندی-۲ و شهر تالار با کمترین عرض هسته به ترتیب با میانگین‌های ۰/۵۳ و ۰/۵۳ سانتی‌متر در گروه چهارم قرار گرفتند. همچنین کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی برای صفت ضخامت هسته به پنج گروه تقسیم شدند که بیشترین کم‌ترین ضخامت هسته به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های روستای کریان و شهر هشتمندی-۲ با میانگین‌های ۰/۶۷ و ۰/۴۳ سانتی‌متر تعلق گرفت. در انتها این روش برای صفت وزن خشک هسته، کلیه ژنوتیپ‌ها را به چهار دسته گروه‌بندی کرده است و در این میان ژنوتیپ‌های شهر رودان-۱ و چلو-۱ دارای بیشترین وزن خشک هسته با میانگین ۱/۰۵ و ۱/۰۳ گرم در گروه اول و ژنوتیپ شهر هشتمندی-۳ دارای کمترین وزن خشک با میانگین ۰/۵۵ گرم در گروه آخر می‌باشند. وجود تنوع ژنتیکی از عوامل مهم سازگاری موجودات با شرایط محیطی است. تنوع جمعیتی به موجودات زنده کمک می‌کند تا با شرایط محیطی مقابله کنند. می‌توان گفت ارزیابی و بررسی تنوع ژنتیکی بر اساس فنوتیپ یا صفات قابل اندازه‌گیری، به میزان زیادی متأثر از عوامل محیطی است به عبارتی این عوامل محیطی هستند که بر بروز صفات فیزیولوژیکی تأثیر می‌گذارند (Jani pour et al., 2018). در تحقیقی که بر روی ژنوتیپ‌های درختان انبه جنوب ایران انجام شده بود نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر طول، عرض، ضخامت، وزن تر و وزن خشک هسته در گروه‌های مختلف قرار گرفتند (Omranipour et al., 2015). صفاتی مانند طول میوه (۳۰)، وزن خشک هسته (۱۹/۶)، وزن تر هسته (۱۷/۷)، وزن تر برگ (۱۴/۱) و ضخامت هسته (۱۲/۲) دارای بیشترین تغییرپذیری بودند.

ژنوتیپ‌ها را به هشت گروه جداگانه تقسیم کرد که در این میان ژنوتیپ روستای چلو-۲ با میانگین ۳۵/۲۶ سانتی‌متر دارای بیشترین وزن و ژنوتیپ بدون هسته میناب با میانگین ۵/۴۳ سانتی‌متر دارای کمترین وزن بودند. این مدل گروه‌بندی جداگانه برای هر یک از ژنوتیپ‌ها، در مورد صفت اخیر حاکی از تمایز هر یک از آن‌ها برای صفت وزن میوه می‌باشد (جدول ۵). در مطالعه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات وزن میوه، وزن گوشت و طول میوه در گروه‌های مختلف قرار گرفته اند (Bina et al., 2012). همچنین در تحقیقی که بر روی ژنوتیپ‌های درختان انبه جنوب ایران انجام شد، نتایج نشان داد ژنوتیپ‌ها از نظر وزن گوشت میوه، طول میوه، عرض میوه و میزان باردهی هر درخت در گروه‌های متفاوت قرار گرفتند (Omranipour et al., 2015).

مشخصات مورفولوژیک میوه و بررسی میزان تغییرات آن در شرایط محیطی مختلف از جمله صفاتی است که مورد توجه متخصصان رده‌بندی گیاهی است. همچنین در بازار پسندی و کیفیت میوه نقش بسزایی دارد. گرچه صفات مورفولوژیک تحت شرایط اقلیمی متفاوت، تنوع از خود نشان می‌دهند (Fazeli-Nasab et al., 2016; Soltis et al., 2015)؛ اما برخی از صفات مورفولوژیک مانند میزان باردهی، بافت و عرض میوه کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند. یکی از اهداف اصلی متخصصان سیستماتیک گیاهی تشخیص این‌گونه صفات در رده‌بندی گیاهان و تفکیک گونه‌های مختلف است. لذا نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تمامی صفات مورد مطالعه به جز طول میوه در بین ژنوتیپ‌ها از خود تفاوت معنی‌داری نشان دادند. محققان بخشی از تنوع صفات مورفولوژیک میوه را ناشی از تفاوت در شرایط اقلیمی محیط و قسمتی دیگر را ناشی از وجود تنوع ژنتیکی بین جمعیت‌ها می‌دانند (Chidumayo, 2006).

صفات مربوط به هسته

کلیه صفات (شامل: طول هسته، عرض هسته، ضخامت هسته و وزن خشک هسته) به جز وزن تر هسته در بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۶). کمتر بودن طول و عرض هسته از اهداف اصلاحی این درخت با ارزش است. در این پژوهش صفاتی همچون طول، عرض و ضخامت هسته کمترین میزان ضریب

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مربوط به میوه درخت کنار

Table 4- Analysis of variance of Fruit of jujube

منابع تغییر	درجه آزادی	میزان تولید	وزن گیاه	عرض میوه	طول میوه	وزن میوه
SOV	df	Fruity rate	Tissue weight	Fruit width	Fruit length	Fruit weight
تکرار	2	21.08	17.210.9	0.094	2132.25	0.94
Replication						
تیمار	13	4293.8**	128.17**	0.70**	2107.42 ^{ns}	191.4**
Treat						
خطا	26	4.3	2.8	0.017	2110.77	0.884
Error						
ضریب						
تغییرات		2.31	9.5	5.26	30	4.8
CV						

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و غیر معنی‌دار

Ns and **, Non-significant and significant at one percent, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مربوط به میوه درخت کنار برای تمام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 5- Comparison of the average traits related to the fruit of the jujube tree for all studied genotypes

	میزان تولید	وزن گیاه	عرض میوه	طول میوه	وزن میوه
	Fruity rate(Ton)	Tissue Weight(g)	Fruit width(cm)	Fruit length(cm)	Fruit weight(g)
چلو ۱	129.67a	15.3e	3.07bc	3.23cd	21.43e
Chloe-1					
تالار	82.67e	10.91f	2.23gh	3.1cd	14.03g
Talar					
رودان ۱	59f	26.54a	3.50a	4.07b	30.78b
Roodan-1					
رودان ۲	39h	10.20f	2.36fg	3d	13.53g
Roodan-2					
هشتبندی ۱	129ab	17.96dc	2.96cd	3.1d	21.63e
Hashtbandi-1					
هشتبندی ۱	39.33h	9.92f	2.26gh	3.06d	13.47g
Hashtbandi-2					
هشتبندی ۱	125.67b	11.49f	2.23gh	3.36cd	16.08f
Hashtbandi-3					
جاسک	117.67c	14.71e	2.56ef	3.23cd	16.43f
Jask					
جیرفت	89d	11.53f	2.40fg	3.20cd	13.31g
Jiroft					
هشتبندی ۱	59.33f	16.64ed	2.87cd	3.16cd	24.1d
Hashtbandi-4					
هشتبندی ۱	89d	20.91b	2.80de	4.73a	27.2c
Hashtbandi-5					
کریان	128.67ab	18.73b	3.27ab	3.17cd	21.9e
Karian					
چلو ۲	129ab	27.3a	3.47a	3.50c	35.26a
Chloe-2					
بدون هسته	48.33g	4.03g	2.06h	1.93e	5.43h
No Core					
میانگین کل	98.38	15.46	2.6	3.9	19.47
Total mean					

حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری است

Similarity letters indicate no significant differences

جدول ۶- تجزیه واریانس صفات مربوط به هسته درخت کنار

Table 6- Analysis of variance of core of jujube

منابع تغییر	درجه آزادی	طول هسته	عرض هسته	ضخامت هسته	وزن تر هسته	وزن خشک هسته
SOV	df	Core length	Core width	Core thickness	Fresh weight of core	Dry weight of core
تکرار	2	0.027	0.012	0.005	0.007	0.11
Replication						
تیمار	13	0.349**	0.022**	0.015**	0.108 ^{ns}	0.86**
Treat						
خطا	26	0.019	0.032	0.0042	0.4	0.18
Error						
ضریب تغییرات		7.7	9.6	12.2	17.7	19.6
CV						

** و ns به ترتیب معنی دار در سطح یک درصد و غیر معنی دار

Ns and **, Non-significant and significant at one percent, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات مربوط به هسته درخت کنار

Table 7- Mean comparison of attributes of the core of jujube

	طول هسته	عرض هسته	ضخامت هسته	وزن تر هسته	وزن خشک هسته
	Core length(cm)	Core width(cm)	Core thickness(cm)	Fresh weight of core(g)	Dry weight of core(g)
چلو ۱	1.73cde	0.77a	0.53bcde	1.37ab	1.03a
Chloe-1					
تالار	1.6fe	0.53d	0.48ced	1.15abc	0.81abcd
Talar					
رودان ۱	1.93bc	0.60cbd	0.50ced	1.4a	1.05a
Roodan-1					
رودان ۲	1.63dfe	0.57cd	0.47ed	0.82d	0.58cd
Roodan-2					
هشتبندی ۱	1.63dfe	0.70ab	0.60abc	1.14abcd	0.88abc
Hashtbandi-1					
هشتبندی ۱	1.7dec	0.53d	0.43e	0.82d	0.58cd
Hashtbandi-2					
هشتبندی ۱	1.7dec	0.67abc	0.57abcd	0.92cd	0.55d
Hashtbandi-3					
جاسک	1.9bcd	0.57cd	0.53bcde	1.00cd	0.60cd
Jask					
جیرفت	2b	0.60cd	0.50cde	1.02abcd	0.77abcd
Jiroft					
هشتبندی ۱	1.83dbec	0.73a	0.63ab	1.03bcd	0.94ab
Hashtbandi-4					
هشتبندی ۱	2.86a	0.57cd	0.47ab	1.2abcd	0.93ab
Hashtbandi-5					
کریان	1.43f	0.77a	0.67a	1.13abcd	0.78abcd
Karian					
چلو ۲	1.67dfe	0.73a	0.63ab	1.25abc	0.88abc
Chloe-2					
بدون هسته	1.6fe	0.60cd	0.50cde	1.30cde	0.70bcd
No Core					
میانگین کل	1.8	0.64	0.54	1.3	0.79
Total mean					

حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری است

Similarity letters indicate no significant differences

همبستگی بین صفات مورفولوژیک

همبستگی صفات مورفولوژیک در برنامه‌های به‌نژادی اهمیت خاصی دارد، زیرا وقتی گزینش برای صفتی انجام می‌گیرد، دانستن چگونگی تأثیر آن بر دیگر صفات بسیار اهمیت دارد (Norouzi et al., 2017). ضرایب همبستگی ساده صفات مورفولوژیک نشان داد بین برخی از صفات اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌داری وجود دارد (جدول ۸). نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین طول برگ با عرض برگ ($r=0/8$) و وزن خشک برگ ($r=0/51$)، بین عرض هسته با ضخامت هسته ($r=0/87$)، بین وزن خشک با میزان تولید ($r=0/84$) و همچنین بین طول برگ با عرض میوه ($r=0/8$) در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد با افزایش طول برگ، عرض برگ و همچنین وزن تر برگ نیز افزایش می‌یابد.

همچنین بین وزن برگ و عرض برگ همبستگی مثبت ($r=0/66$) و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. طول برگ با وزن خشک ($r=0/71$) و میزان تولید ($r=0/38$) همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند.

این نتایج نشان داد در پی افزایش طول برگ، صفت عرض برگ نیز افزایش می‌یابد و هرچه میزان عرض برگ بیشتر شود در نتیجه میوه بیضوی‌تر می‌شود. عرض برگ با وزن میوه ($r=0/66$)، وزن خشک برگ ($r=0/32$) و طول دم‌برگ ($r=0/45$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. طول دم‌برگ با وزن میوه ($r=0/39$) و وزن گوشت میوه ($r=0/41$) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی منفی معنی‌داری بین وزن تر برگ با وزن میوه ($r=-0/43$) مشاهده شد یعنی درخت‌های که برگ‌های بزرگ‌تر داشتند وزن میوه کمتری داشته‌لند. اکثر ژنوتیپ‌های کنار مورد مطالعه دارای برگ‌های بیضوی و نسبتاً کشیده و همچنین دارای میوه‌هایی به شکل بیضوی و گرد بودند. این تفاوت بارز و مشخص می‌تواند در تفکیک ژنوتیپ‌ها از یکدیگر مؤثر باشد.

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها برای صفات کمی

برای موفقیت در برنامه‌های اصلاحی که بر پایه انجام تلاقی طراحی شده‌اند، دانستن میزان قرابت ژنتیکی والدین اهمیت

بسیار زیادی دارد. این دسته‌بندی یاری خواهد کرد که به‌جای صرف وقت و هزینه زیاد جهت انجام تلاقی‌های تصادفی برای رسیدن به ژنوتیپ‌های مطلوب، والدین تلاقی‌ها از گروه‌ها و ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که دارای حداکثر فاصله ژنتیکی و کمترین میزان تشابه باشند. در پروژه‌های اصلاحی هر چه فاصله ژنتیکی والدین بیشتر باشد، در نسل‌های تفکیک بعد از دورگ‌گیری نیز تنوع بیشتری ایجاد می‌شود. همچنین تلاقی بین اینبرد لاین‌های دور نتایج مطلوب‌تری را در بر خواهد داشت و نتایج حاصل دارای هتروزیس بیشتری نسبت به دو ژنوتیپی هستند که در یک خوشه قرار دارند. به این ترتیب امکان جمع‌آوری ژن‌های مطلوب‌تر در نتایج فراهم می‌شود (Safaei and Gasriani, 2015).

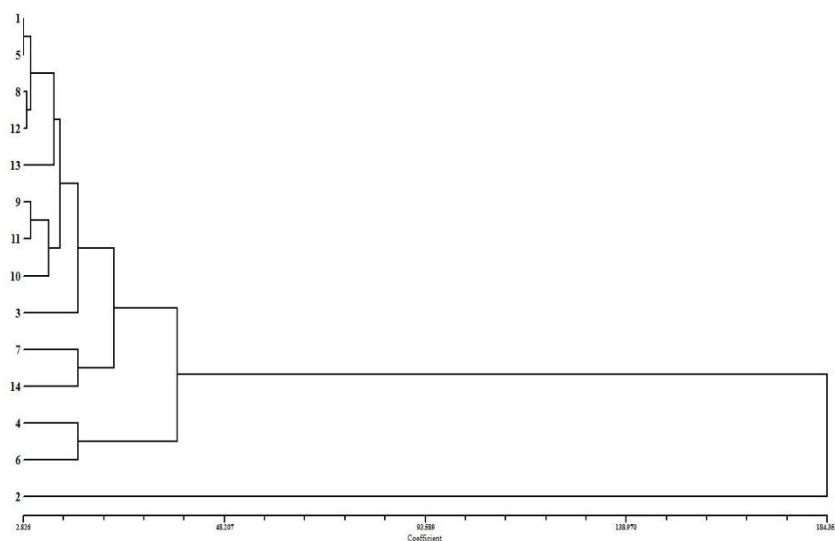
تجزیه خوشه‌ای صفات کمی، ۱۴ ژنوتیپ کنار را در ۳ خوشه طبقه‌بندی کرد. خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های چلو-یک، هشتبندی-یک، جاسک، کریان، چلو-دو، جیرفت، هشتبندی-پنج، هشتبندی-چهار، بدون هسته میناب، خوشه دوم شامل ژنوتیپ‌های رودان-دو، هشتبندی-چهار، کریان، چلو-یک و هشتبندی پنج و خوشه سوم شامل ژنوتیپ تالار بود. بیشترین تشابه بین ژنوتیپ چلو-یک و هشتبندی-یک و کمترین تشابه مربوط به ژنوتیپ تالار نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر مشاهده شد (شکل ۳).

ساختار تنوع درون گروهی، بین گروهی و درون منطقه‌ای ژنوتیپ‌های کنار بر اساس صفات کمی

تنوع درون گروهی، بین گروهی و درون منطقه‌ای ژنوتیپ‌های کنار با استفاده از نرم‌افزار Mega6 محاسبه شد. بیشترین و کمترین تنوع درون گروهی بین شهرها، به ترتیب مربوط به ژنوتیپ میناب (۲۲/۰۸) و ژنوتیپ جیرفت (۲/۳۳) مشاهده شده است (جدول ۹). همچنین برای تنوع بین گروهی، بیشترین تنوع بین ژنوتیپ‌های شهرهای رودان و میناب (۲۶/۲۹) و کمترین تنوع بین گروهی مربوط به ژنوتیپ شهرهای جیرفت و جاسک (۱۱/۱۶) مشاهده شده است (جدول ۱۰). بیشترین تنوع درون منطقه‌ای را ژنوتیپ شهر تالار میناب (۱۸/۸۱) و کمترین آن را ژنوتیپ بدون هسته میناب (۰/۹۹) به خود اختصاص داد (جدول ۱۱).

جدول ۸- ضریب همبستگی صفات کمی و کیفی

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
طول برگ	1												
Leaf length (1)													
وزن برگ	0.81**	1											
Leaf width (2)													
زول دمبرگ	0.51**	0.45**	1										
Petiole length (3)													
وزن تر برگ	0.46**	0.4**	0.27 ^{ns}	1									
Leaf fresh weight (4)													
وزن خشک	0.71**	0.66**	0.47**	0.76**	1								
Leaf dry weight (5)													
وزن میوه	0.38*	0.32*	0.39**	0.04 ^{ns}	0.29 ^{ns}	1							
Fruit weight (6)													
زول میوه	-0.01 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	1						
Fruit length (7)													
عرض میوه	0.34*	0.27 ^{ns}	0.4**	0.18 ^{ns}	0.04**	0.87**	-0.12 ^{ns}	1					
Fruit width (8)													
زول هسته	0.31*	0.08 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.27 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.07 ^{ns}	1				
Core length (9)													
عرض هسته	-0.17 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.18 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.41**	-0.06 ^{ns}	0.55**	-0.18 ^{ns}	1			
Core width (10)													
ضخامت هسته	-0.29 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.29 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	0.38*	-0.06 ^{ns}	0.46**	-0.18 ^{ns}	0.87**	1		
thickness(11)													
مزن تر هسته	0.9 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.37*	0.13 ^{ns}	0.49**	0.25 ^{ns}	0.48**	0.42**	1	
Fresh weight core(12)													
وزن خشک هسته	0.2 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.53**	0.31*	0.62**	0.29*	0.48*	0.34**	0.84**	1
Dry weight core (13)													
میزان تولید	-0.24 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.43**	-0.21 ^{ns}	0.37*	-0.04 ^{ns}	0.4**	-0.08 ^{ns}	0.51**	0.48**	0.1 ^{ns}	0.13 ^{ns}
Fruity rate (14)													

*،** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار*،** and ^{ns}, significant at the level of five and one percent and non-significant, respectively

شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه کلاستر بر اساس صفات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های کنار

Figure 3- Dendrograms derived from cluster analysis of quantitative and qualitative traits of jujube genotypes

جدول ۹- فاصله درون گروهی ژنوتیپ‌ها کنار بر اساس صفات کمی و کیفی

Table 9- Intragroup distance within jujube genotypes based on quantitative and qualitative traits

ردیف Row	محل جمع آوری Gathering location	تنوع درون گروهی Intragroup variation
1	میناب Minab	22.8
2	رودان Roodan	18.2
3	جاسک Jask	8.5
4	جیرفت Jiroft	2.3

جدول ۱۰- فاصله بین گروهی ژنوتیپ بر اساس شهرها

Table 10- Intergroup genotype based on cities

ردیف Row	محل جمع آوری Gathering location	واریانس داخل گروهی Intergroup variation
1	رودان Roodan	26.29
2	جاسک Jask	20.8

جدول ۱۱- تنوع درون اکوتیپی ژنوتیپ‌های مختلف کنار

Table 11- Genetic diversity within ecotypes of jujube

ردیف Row	محل جمع آوری Gathering location	واریانس داخل گروهی Intergroup variation
1	تالار Talar	18.81
2	رودان ۲ Roodan-2	13.04
3	هشتبندی ۱ Hashtbandi-1	9.26
4	جاسک Jask	8.58
5	هشتبندی ۲ Hashtbandi-2	6.27
6	رودان ۱ Roodan-1	5.74
7	هشتبندی ۵ Hashtbandi-5	5.81
8	هشتبندی ۳ Hashtbandi-3	2.92
9	چلو ۲ Chloe-2	2.64
10	چلو ۱ Chloe-1	2.51
11	جیرفت Jiroft	2.32
12	هشتبندی ۴ Hashtbandi-4	2.11
13	کریان Karian	2.10
14	بدون هسته No Core	0.96

نتیجه‌گیری کلی

بوده و بالاترین درصد تنوع در بین کلیه صفات مورد بررسی را به خود اختصاص داده‌اند را ارزیابی کرده و در نهایت درک چنین تنوع بالایی در مدیریت و حفظ ژرم پلاسما این گیاه مفید و مؤثر خواهد بود و با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های کنار منطقه میناب (۲۲/۰۸) دارای بالاترین میزان تنوع در صفات مورد ارزیابی بوده و در منطقه میناب نیز ژنوتیپ تالار (۱۸/۸۱) بیشترین تنوع در خصوصیات مورد ارزیابی داشته لذا پیشنهاد می‌گردد که جهت ایجاد لاین و یا رقم برتر کنار از ژنوتیپ تالار به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی مورد استفاده قرار گیرد.

در این مطالعه ۱۴ ژنوتیپ کنار از شهرهای مختلف استان‌های جنوبی کشور، در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها و اینکه هدف اصلی از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی شناسایی ژنوتیپ و یا ژنوتیپ‌های برتر به منظور استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی بوده لذا برخی صفات کلیدی از جمله طول و عرض برگ، شکل میوه، وزن گوشت میوه و میزان تولید درخت در سال که دارای بیشترین تنوع در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

References

- Aavik, T. and Helm, A., 2018. Restoration of plant species and genetic diversity depends on landscape-scale dispersal. *Restoration Ecology*, 26, pp.S92-S102. doi: 10.1111/rec.12634
- Ahmad, I., Nafees, M., Ashraf, I., Al-Khayri, J.M., Yousaf, M.M., Ahmad, B. and Qureshi, R., 2016. Fruit morphological attributes to assess genetic diversity in jujube (*Ziziphus mauritiana* L.) germplasm of Bahawalpur. *Pure and Applied Biology*, 5(4), pp.1. doi: 10.19045/bspab.2016.50116
- Bally, I.S. and Dillon, N.L., 2018. *Mango (Mangifera indica L.) Breeding*. In: Al-Khayri J., Jain S., Johnson D. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits* (Springer, Cham). doi: 10.1007/978-3-319-91944-7_20
- Bina, F., Zamani, Z. and Nazeri, V., 2012. Morph-based Genetic variation in Christ's thorn (*Ziziphus spina-christi*(L.) Wild.). *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(2), pp.274-288. doi: 10.22092/ijrfpbgr.2012.6699 [In Persian].
- Cheema, A.K., 2018. Plant Breeding its Applications and Future Prospects. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 5(3), pp.88-94.
- Chidumayo, E.N., 2006. Fitness implications of clonal integration and leaf dynamics in a stoloniferous herb, *Nelsonia canescens* (Lam.) Spreng (Nelsoniaceae). *Evolutionary Ecology*, 20(1), pp.59-73. doi: 10.1007/s10682-005-3873-9
- Dafni, A., Levy, S. and Lev, E., 2005. The ethnobotany of Christ's Thorn Jujube (*Ziziphus spina-christi*) in Israel. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 1(1), pp.8. doi: 10.1186/1746-4269-1-8
- Ellegren, H. and Galtier, N., 2016. Determinants of genetic diversity. *Nature Reviews Genetics*, 17(7), pp.422-433. doi: 10.1038/nrg.2016.58
- Fazeli-Nasab, B. and Mirzaei, N., 2018. Evaluation of total phenol and flavonoid content in a wide range of local and imported plants. *Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 26(2), pp.141-154. [In Persian]. doi: 10.29252/sjimu.26.2.141
- Fazeli-Nasab, B., Davari, A. and Nikoei, M., 2016. The effect of Kinetin on seed germination and seedling growth under salt stress in Sistan *C. copticum*. In Second International & Fourteenth National Iranian Crop Science Congress, University of Guilan, Rasht, Iran.

- Fazeli-Nasab, B., Mehrabi, A.A. and Eizadi-Drabandi, A., 2010. Genetic diversity of different wheat genotypes using seed storage proteins and SSRs markers. *Modern Genetics Journal*, 5(2), pp.83-91 [In Persian].
- Fazeli-Nasab, B., Naghavi, M.R. and Mehrabi, A.A., 2013. Allelic Variation of Microsatellite Markers from Linkage Group A Genome in Wild Populations of Einkorn and Hexaploid Wheat. *Agricultural Biotechnology*, 4(1), pp.53-62. [In Persian]. doi: **10.13140/RG.2.1.1434.4164**
- Fazeli-Nasab, B., Sayyed, R.Z., Farsi, M., Ansari, S. and El-Enshasy, H.A., 2019. Genetic assessment of the internal transcribed spacer region (ITS1.2) in *Mangifera indica* L. landraces. *Physiol Mol Biol Pla*, 26, pp.107-117. [In Persian]. doi: **10.1007/s12298-019-00732-x**
- Fazeli-Nasab, B., Sirousmehr, A., Mirzaei, N. and Solimani, M., 2017. Evaluation of total phenolic, flavenoid content and antioxidant activity of Leaf and Fruit in 14 different genotypes of *Ziziphus mauritiana* L. in south of Iran. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 4(4), pp.1-14 [In Persian]
- Jahantigh-Haghighi, Z., Fahmideh, L. and Fazeli-Nasab, B., 2020. Genetic diversity in plant medicinal of Tomato Genotypes using RAPD and ISSR markers. *Agricultural Biotechnology*, 10(2), pp.29-41. [In Persian]. doi: **10.22084/ab.2019.17227.1386**
- Jani pour, L., Fahmideh, L. and Fazeli-Nasab, B., 2018. Genetic assessment of some populations of the medicinal plant Caraway (*Carum carvi*) using RAPD and ISSR markers. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 12(48), pp.78-91 [In Persian].
- Kermani, M., Maraashi, S.S. and Melati, F., 2010. Study of genetic variation of *Juniperus polycarpus* from Tandure National Park of Iran using RAPD markers. *Scientific Journal Management System*, 18(1), pp.115-124.
- Mozafarian, V., 2010. Classification of plant morphology and taxonomy. Amir Kabir Publications: 512 [In Persian].
- Norouzi, E., Erfani-Moghadam, J., Fazeli, A. and Khadivi, A., 2017. Morphological variability within and among three species of *Ziziphus* genus using multivariate analysis. *Scientia Horticulturae*, 222, pp.180-186. doi: **10.1016/j.scienta.2017.05.016**
- Omranipour, S., Fahmide, L. and Fakheri, B., 2015. Evaluation of variation of some *Mangifera indica* L. genotypes using morphological, physiological markers. In Second National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran [In Persian].
- Safaei, L. and Gasriani, F., 2015. Genetic variation of vegetative and reproductive characteristics in *Stipa barbata* var. arabica genotypes in Isfahan province. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 23(2), pp.299-313.
- Singh, V.K., Shanker, K., Tiwari, N. and Rao, O., 2016. Effect of Certain Nutrients on Fruit Set, Fruit Retention, Physical Characters and Yield of Ber Fruit (*Zizyphus mauritiana* Lamk). cv. Banarasi Karaka. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management*, 7, pp.648-652.
- Soltis, P.S., Marchant, D.B., Van de Peer, Y. and Soltis, D.E., 2015. Polyploidy and genome evolution in plants. *Current Opinion in Genetics & Development*, 35, pp.119-125. doi: **10.1016/j.gde.2015.11.003**
- Tahergorabi, Z., Abedini, M.R., Mitra, M., Fard, M.H. and Beydokhti, H., 2015. "Ziziphus jujuba": A red fruit

- with promising anticancer activities. *Pharmacognosy Reviews*, 9(18), pp.99-106. doi: **10.4103/0973-7847.162108**
- Thormann, I., Fiorino, E., Halewood, M. and Engels, J., 2015. Plant genetic resources collections and associated information as a baseline resource for genetic diversity studies: an assessment of the IBPGR-supported collections. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62(8), pp.1279-1293. doi: **10.1007/s10722-015-0231-9**
- Van der Veen, M., 2014. The materiality of plants: plant–people entanglements. *World Archaeology*, 46(5), pp.799-812. doi: **10.1080/00438243.2014.953710**
- Van Wyk, B.-E. and Wink, M., 2017. Medicinal plants of the world (Wallingford, UK: CABI). doi: **10.1079/9781786393258.0000**

Evaluation of morphological traits of leaf and fruit in *Ziziphus mauritiana* L. genotypes in southern Iran

Naser Mirzaei¹, Leila Fahmide², Bahman Fazeli-Nasab^{3*}

¹ M.Sc Graduate in Horticultural Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

² Department of Plant Breeding and Biotechnology, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³ Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: bfazeli@uoz.ac.ir

Received: 15 February 2022

Accepted: 16 April 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2021.226926.1068

Abstract

Introduction: *Ziziphus mauritiana* L., a perennial, evergreen plant from the Rhamnaceae family has $2n=2X=48$ chromosomes. It is considered among the plants of tropical and semi-tropical regions, and its geographical distribution includes Abyssinia, North Africa, Arabia, warm parts of Iran and India. The spread of this plant in Iran is mostly in the western and southern regions, including the provinces of Lorestan, Khuzestan, Kerman and Sistan and Baluchistan. *Ziziphus mauritiana* L., is one of the most resistant fruit trees to harsh environmental conditions, especially drought, dehydration, salinity and high temperature. This plant is well adapted to different environmental conditions and grows from lowlands to heights of a thousand meters above sea level. Jujube (*Ziziphus mauritiana* L.) is one of the tropical and subtropical fruit trees resistant to rigorous environmental conditions, especially drought, dehydration, salinity and high temperature.

Materials and Methods: In order to carry out this research, the leaves, fruits and kernels of 14 *Ziziphus mauritiana* L., genotypes, which were implemented in Minab Agricultural Research Center (located in Hormozgan province) in 2012, in the form of a completely randomized block design with 3 replications, as mother trees supplying grafts were collected and evaluated in University of Zabol in 2016. Sampling was done in two stages to measure quantitative traits. The first stage took place in the beginning of February 2016 to measure the traits related to the leaves and the second stage after the ripening of the fruit, in late March of the same year, to measure the traits related to the fruit and kernel. The genotypes that were examined in this experiment were named according to the name of each city or village from which they were collected.

At the beginning of Bahman, which is the end of the flowering stage of the trees and the beginning of the beginning of closing the fruits, samples of fresh leaves of the trees were randomly taken from the middle parts, in three repetitions and each repetition included 20 samples (from 4 bases and 5 leaves per base). , were collected and during that traits such as leaf length (centimeters), leaf width (centimeters), leaf tail length (centimeters), fresh weight (grams) and leaf dry weight (grams) were measured and recorded. After the physiological ripening of the fruits, in late March (early fruits) to late April (late fruits), the samples were randomly collected in three groups of 10 healthy fruits that were harvested from different parts of the tree, and traits such as Fruit length (cm), fruit width (cm), fruit weight (grams), kernel length (cm), kernel width (cm), kernel thickness (cm), kernel fresh weight (grams), kernel dry weight (grams) , fruit flesh weight (grams) and production rate (kilograms) of each tree were measured.

In this research, the morphological traits of leaf, fruit and core of 14 genotypes of jujube (available in south of Iran) has been evaluated using in a Completely random blockdesign with three replications.

Results and Discussion: Analysis of Variance showed that all the examined traits related to leaves between genotypes had a significant difference at the 1% probability level. Traits such as leaf length, leaf width and leaf tail length showed great variation due to the low coefficient of variation. Simple correlation coefficients revealed that there is a significant correlation between some of the measured traits. Therefore, there is a high correlation between leaf length and leaf width (+0.8), core width with

core thickness (+0.87) and fresh leaf weight with fruit rate (-0.43). Considering that the genotypes along the Minab area (22.08) have the highest diversity in the traits, and in among the Minab area, the Talar genotype (18.81) has the highest diversity in the characteristics.

In this study, 14 genotypes from different cities of the southern provinces of the country were investigated in the form of a completely randomized block design. After analyzing the data and that the main purpose of measuring the morphological traits was to identify the superior genotype or genotypes in order to use them in breeding programs, therefore some key traits such as leaf length and width, fruit shape, fruit flesh weight and the amount of tree production in Sal, which has the most diversity among the studied genotypes and has the highest percentage of diversity among all the examined traits, and finally understanding such a high diversity will be useful and effective in managing and preserving the germplasm of this plant and with Paying attention to the fact that the genotypes near the Minab region (22.08) have the highest diversity in the evaluated traits and in the Minab region, the Talar genotype (18.81) has the highest diversity in the evaluated characteristics, so it is suggested that in order to create a line or variety To be used in addition to Talar genotype as one of the main bases.

Conclusion: It is suggested that for the creation of the new or top line of jujube have to use the Talar genotype as one of the main foundations.

Keywords: Fruit yield, Morphological correlation, Quantitative traits, Top line

ارزیابی پایداری دو نظام تولید پسته تحت آبیاری بارانی و غرقابی با استفاده از روش تحلیل امرژی در استان قم

شهرام ریاحی نیا^{۱*}، محمدرضا اصغری پور^۲

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

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

* مسئول مکاتبه: riahinia@pnu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.316751.1160

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

چکیده

استفاده از رهیافت امرژی در ارزیابی پایداری نظام‌های کشاورزی، منجر به اعمال مدیریت صحیح در راستای افزایش پایداری تولید در این نظام‌ها است. در تحقیق حاضر، دو نظام تولید پسته در استان قم تحت آبیاری غرقابی و آبیاری بارانی با استفاده از روش امرژی بررسی شدند. نتایج نشان داد که ورودی امرژی کل برای نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $10^{16} \times 4/05$ و $10^{16} \times 2/72$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. بر خلاف نظام آبیاری غرقابی، در نظام آبیاری بارانی وابستگی به جریان‌های خریداری شده امرژی بیشتر از جریان‌های محیطی امرژی بود. بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در نظام آبیاری غرقابی مربوط به مصرف آب زیرزمینی با سهم ۲۷/۰ درصدی و در نظام آبیاری بارانی مربوط به کودهای آلی با سهم ۲۶/۱۴ درصدی بود. در نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب، ضریب تبدیل $10^5 \times 9/05$ و $10^5 \times 5/46$ امژول خورشیدی بر ژول، تجدیدپذیری امرژی $2/43$ و $3/45$ درصد، نسبت عملکرد امرژی $2/157$ و $1/571$ ، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی $0/186$ و $1/75$ ، نسبت بارگذاری محیطی $62/67$ و $41/74$ و شاخص پایداری امرژی $0/34$ و $0/38$ بود. علی‌رغم سهم بالاتر جریان‌های محیطی نسبت به بازاری در نظام آبیاری غرقابی، مصرف زیاد آب زیرزمینی به عنوان یک جریان تجدیدناپذیر موجب تشدید فشار محیطی این نظام گردید. استفاده از روش آبیاری بارانی موجب مصرف بهینه آب و در نتیجه کاهش فشار نظام روی محیط خواهد شد. در تحقیق حاضر، نظام آبیاری بارانی از نظر عملکرد، بهره‌وری از منابع، تجدیدپذیری نهاده‌ها و پایداری محیطی مطلوب‌تر از نظام آبیاری غرقابی بود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، شاخص پایداری امرژی، نسبت بارگذاری محیطی، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی

مقدمه

برای حصول کشاورزی پایدار تاکنون راه‌کارهای متفاوتی مانند کشاورزی سنتی، کشاورزی کم‌نهاده، کشاورزی حفاظتی و کشاورزی بوم‌شناختی مطرح شده است (Zhang et al., 2018). توجه به تعاملات انرژی و محیط زیست از رهیافت‌های توسعه کشاورزی و پایداری است. روش‌های بیوترمودینامیک مانند تحلیل امرژی از روش‌های نوین در ارزیابی پایداری بر اساس برآورد کمی و کیفی انرژی است (Odum, 2007). در نظام‌های کشاورزی متداول مقادیر زیادی منابع طبیعی تجدیدناپذیر به شکل انرژی‌های صنعتی برای ثابت نگه داشتن میزان تولید استفاده شده است (Sha et al., 2015). استفاده زیاد از نهاده‌های صنعتی و مواد شیمیایی باعث فرسایش خاک، آلودگی ناشی از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، تخلیه شدید و گسترده آب‌های زیرزمینی، کاهش باروری خاک، از بین رفتن تنوع زیستی و گرم شدن کره زمین شده است که می‌تواند تولید

آبی نظام‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (Hole et al., 2005).

بوم‌نظام‌های کشاورزی به جریان‌های محیطی رایگان مانند آب، باد، نور خورشید، خاک و مواد آلی خاک و جریان‌های غیر رایگان مانند کود، آفت‌کش‌ها، برق، سوخت، تجهیزات مکانیکی و سایر محصولات صنعتی وابسته هستند (Cheng et al., 2017). در این زمینه، استفاده از راه‌کارهای بیوفیزیکی مبنی بر قوانین ترمودینامیکی مانند تحلیل انرژی، تحلیل امرژی، ارزیابی انرژی و ارزیابی چرخه حیات با توجه به سهم خدمات محیطی و نهاده‌ها در نظام تولیدی بر مبنای واحد معادل مفید است (Lu et al., 2010). در این راستا، روش برآورد امرژی لبداع شده توسط ادوم (Odum, 2000) روشی مفید برای بررسی سهم جریان‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محیطی و جریان‌های خارجی غیر رایگان است که در تولید یک محصول استفاده می‌شود (Brown et al., 2000). امرژی، انرژی یا

ناپایداری نظام‌های مکانیزه گزارش گردید (Amiri et al., 2020). در تحقیقی دیگر، نظام‌های تولید پیاز، سیر و گندم در منطقه سیستان با استفاده از تحلیل تلفیقی امرژی و اقتصادی مقایسه گردیدند. نتایج این تحقیق نشان داد که در یک نظام تولیدی، عملکرد محیط زیستی بهتر با عملکرد اقتصادی بدتر همراه است (Yasini et al., 2020). در تحقیق دیگری، نظام‌های تولید سنتی، مکانیزه و روش حفاظتی تولید موسیر در منطقه ورتختان استان لرستان مقایسه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که نظام حفاظتی تولید موسیر پایدارترین بود (Amiri et al., 2021).

در ایران و حتی دنیا مطالعات معدودی بر مبنای شاخص‌های بیومودپننامیکی برای ارزیابی پایداری نظام‌های تولیدی کشاورزی انجام شده است. مزیت روش آبیاری بارانی نسبت به آبیاری غرقابی، آسانی استفاده و توزیع یکنواخت آب است اما نیاز به هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی در مقایسه با آبیاری غرقابی دارد (Qureshi et al., 2001).

در این راستا با ارزیابی و مقایسه دو نظام آبیاری غرقابی و بارانی در تولید پسته با استفاده از تلفیق شاخص‌های امرژی و اقتصادی، می‌توان تصویر دقیقی از وضعیت پایداری دو نظام آبیاری پسته در شهر قم ارائه کرد تا بر اساس نتایج آن، راهکارهایی برای توسعه کشت و پایدارسازی تولید پسته و حضور بهینه این گیاه در الگوی کشت منطقه ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

توصیف نظام‌های مورد مطالعه

این پژوهش در دو نظام آبیاری غرقابی و بارانی تولید پسته در باغ موسسه زائر کریمه در استان قم در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۳۷ متر از سطح دریا انجام شد. به طور کلی قم دارای تابستان گرم و زمستانی معتدل است. نظام تجاری پسته با مساحت ۲۵ هکتار و نظام تولید سنتی با مساحت ۱۰ هکتار در روستای کوه سفید واقع شده است. آبیاری در نظام تجاری و سنتی به ترتیب به صورت تحت فشار (روش بارانی) و سنتی (روش غرقابی) انجام می‌شود و منبع آب جهت آبیاری در هر دو نظام آب زیرزمینی است.

اگرژی در دسترس است که برای تولید یک کالا یا خدمت به طور مستقیم و غیر مستقیم مورد نیاز است (Odum, 2000). در تحلیل امرژی، جریان انرژی و ماده در ضرایب تبدیل مناسب ضرب شده و بر مبنای واحد معادل (ام ژول خورشیدی یا seJ) بیان شده است (Wu et al., 2013). برخی محققان، امرژی را پلی میان محیط‌زیست و اقتصاد در نظر گرفته‌اند (Lan et al., 2010; Copeland et al., 2002).

در تحقیقی در برزیل به کمک تحلیل امرژی، در مطالعه ۳ مزرعه با مدیریت‌های مختلف از نظر نوع و میزان جریان‌ها، نظامی که از جریان‌های خریداری شده و شیمیایی کمتر استفاده کرده و تعامل بهتری با محیط داشت، پایدارتر گزارش شد (Agostinho et al., 2008). در تحقیقی در چین به منظور ارائه مناسب‌ترین نسبت سطح زیر کشت برنج و سبزیجات با استفاده از تحلیل‌های امرژی، انرژی و اقتصادی بیشترین سوددهی اقتصادی برای نظام تولید سبزیجات و پایداری در درآمدت برای نظام تولید برنج و سپس نظام چرخشی برنج - سبزیجات گزارش شد (Lu et al., 2010). محققان پس از بررسی تالاب‌های احیاء شده در چین گزارش کردند که تحلیل امرژی و ارزیابی اقتصادی، درک کاملی از وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی نظام‌ها را در بعد مکان و زمان بیان می‌کند و روش تولید و خصوصیات نظام‌های کشاورزی، موجب اثرات زیست‌محیطی و پایداری در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف خواهد شد (Lu et al., 2017). در تحقیقی دیگر در شهرستان نهبندان، در مورد دلایل تغییر کاربری اراضی از خرما به پسته با استفاده از تحلیل‌های انرژی، امرژی و اقتصادی، نتایج بررسی اقتصادی نشان داد که انگیزه اصلی باغ‌داران در تغییر باغ از خرما به پسته، سود اقتصادی بیشتر حاصل از تولید در باغ‌های پسته بود. با این حال، ارزیابی انرژی و امرژی نشان داد که تولید خرما در دراز مدت پایدارتر است (Jafari et al., 2018).

در تحقیقی پایداری چهار نظام تولید محصولات گلخانه‌ای در ایران بررسی گردید. بر اساس شاخص‌های امرژی، گیاهی که از انرژی‌های رایگان محیطی استفاده بیشتری برده بود و طول دوره رشد طولانی‌تری داشت پایداری بیشتری نشان داد (Asgharipour et al., 2020). در تحقیقی دیگر، نظام‌های مکانیزه و سنتی تولید کلزا در خرم آباد با استفاده از تحلیل امرژی مقایسه شدند و کاهش شدید مواد آلی خاک دلیل اصلی

جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش به منظور محاسبه شاخص‌های انرژی و تحلیل اقتصادی دو نظام بارانی و غرقابی تولید پسته، ابتدا جریان‌های محیطی رایگان تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر و جریان‌های غیر رایگان در سال ۱۳۹۸ برای هر دو نظام اندازه‌گیری و برآورد گردید. جریان‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر شامل نور خورشید، باران، باد، تبخیر و تعرق و آب رودخانه؛ جریان‌های رایگان محیطی تجدیدنپذیر شامل فرسایش و تلفات مواد آلی خاک؛ جریان‌های غیر رایگان شامل کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، ماشین‌آلات، سوخت، کود آلی، نیروی کارگری و الکتریسیته که از خارج نظام نشأت گرفته‌اند. خروجی نظام‌ها محصول پسته بود.

روش تحلیل انرژی

جزئیات فرآیند محاسبه انرژی توسط محققین مختلف ارائه شده است (Uligati et al., 1993; Odum, 1996; Brown and Uligati, 1997; Odum et al., 2000). اولین گام برای تحلیل انرژی تعیین مرزهای مکانی و زمانی نظام مورد بررسی و ترسیم دیاگرام انرژی برای طبقه‌بندی جریان نظام‌های مورد بررسی به منابع تجدیدپذیر یا تجدیدنپذیر، محلی یا وارداتی است. این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرآیندهای سودآور نظام ضروری است و هم‌چنین پایه‌های زیست‌محیطی بوم‌نظام و ارتباط آن‌ها را نمایش می‌دهد. نمودار زبان مفهومی نظام‌های انرژی در نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. زبان نظام‌های انرژی یک زبان نمادین برای مدل‌سازی است، این زبان خصوصیات شبکه نظام‌ها را نشان می‌دهد (Odum, 1996). دومین گام برای تحلیل انرژی، ترسیم جداول ارزیابی انرژی است.

برای تجزیه و تحلیل نظام‌های تولید، منابع به چهار دسته تقسیم شدند (Lu et al., 2010): منابع محیطی تجدیدپذیر (R^1)، شامل: نورخورشید، باد، باران، آب رودخانه و تبخیر و تعرق؛ منابع محیطی تجدیدنپذیر (N^2)، شامل: فرسایش و

تلفات ماده آلی خاک؛ منابع خریداری شده تجدیدپذیر (FR^3)، شامل: ۸۰ درصد کود آلی، ۴۳ درصد انرژی مصرفی در تولید نهال، ۱۰ درصد نیروی کارگری و ۱ درصد الکتریسیته؛ منابع خریداری شده تجدیدنپذیر (FN^4)، شامل: ماشین‌آلات کشاورزی، سوخت فسیلی، کودها و سموم شیمیایی، ۹۹ درصد الکتریسیته، ۹۰ درصد نیروی کارگری، ۵۷ درصد انرژی مصرفی در تولید نشا و ۲۰ درصد کود آلی تجدیدنپذیر فرض شد (Asgharipour et al., 2019). با توجه به چگونگی پراکنش و تطابق بارش‌ها طی فصل رشد گیاه و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاهان از بارش‌های مربوطه، مقدار انرژی هر نوع منبع تأمین‌کننده نیاز آبی گیاه (باران و آب‌های زیرزمینی)، محاسبه گردید. انرژی ماشین‌آلات با توجه به وزن فولاد به کار رفته، عمر اقتصادی ماشین و ساعات کار ماشین‌آلات در سال در نظر گرفته شد (Campbell et al., 2005). برای محاسبه انرژی نهال پسته و استقرار نظام آبیاری تحت فشار از ضریب انرژی به ازای واحد پول استفاده شد (Asgharipour et al., 2019). محتوای انرژی محصول تازه پسته، با سوزاندن در بمب کالری‌متر (Parr-6200 Calorimeter) محاسبه گردید. پس از محاسبه همه جریان‌های ورودی (U) و خروجی (Y)، اطلاعات خام برای هر کدام از نظام‌های تولید، بر حسب ژول، گرم یا دلار در ارزش واحد انرژی^۵ آن‌ها ضرب شد (Odum et al., 2000; Campbell et al., 2005; Bastianoni et al., 2007; Lu et al., 2010). ضرایب تبدیل برای الکتریسیته و پول، با توجه به شرایط ایران، توسط Asgharipour et al. (2019) در نظر گرفته شد.

در تحلیل انرژی برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی از شاخص‌های مبتنی بر انرژی استفاده می‌شود (Lu et al., 2010 and 2018). در این مطالعه از شاخص‌های ضریب تبدیل انرژی (TR^6)، درصد انرژی تجدیدپذیر ($R\%^7$)، نسبت سرمایه‌گذاری انرژی (EIR^8)، نسبت عملکرد انرژی (EYR^9)، نسبت بار محیط زیستی (ELR^{10}) و نسخه اصلاح شده آن (ELR^*)، شاخص پایداری انرژی (ESI^{11}) و نسخه اصلاح شده آن

⁷ Renewable energy ratio

⁸ Energy investment ratio

⁹ Energy yield ratio

¹⁰ Environmental loading ratio

¹¹ Energy sustainability index

¹ Renewable environmental inputs

² Non-renewable environmental inputs

³ Renewable purchased inputs

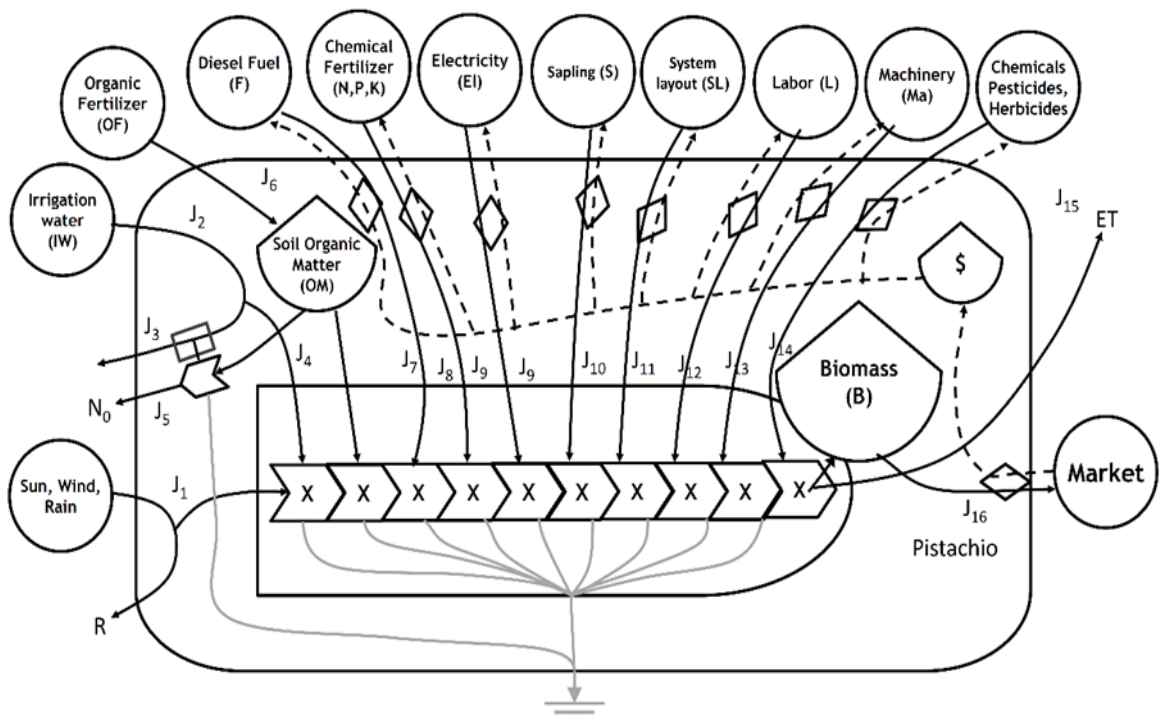
⁴ Non-renewable purchased inputs

⁵ Unit emery value

⁶ Transformity

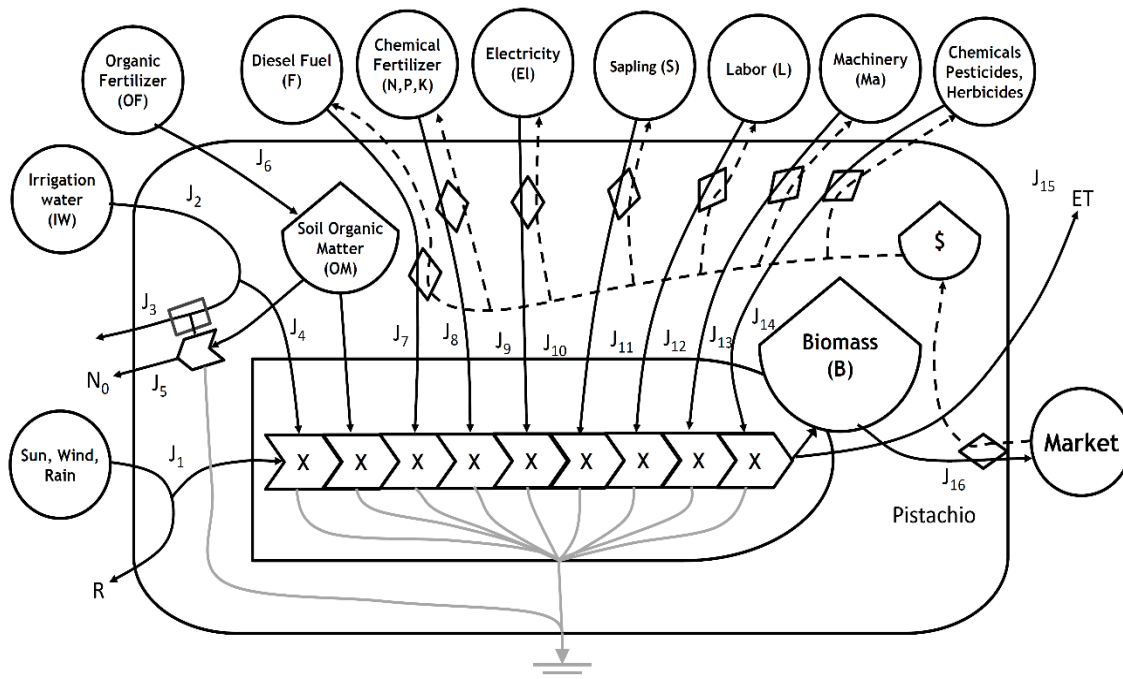
استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

(ESI*) برای مقایسه دو نظام تجاری و سنتی تولید پسته استفاده شد. مشخصات و فرمول شاخص‌های امرژی مورد



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی برای نظام تحت آبیاری بارانی پسته

Figure 1- Diagram of the energy flows for drip irrigation pistachio system



شکل ۲- دیاگرام جریان امرژی برای نظام تحت آبیاری غرقابی پسته

Figure 2- Diagram of the energy flows for flood irrigation pistachio system

جدول ۱- مشخصات و فرمول شاخص‌های مبتنی بر انرژی مورد استفاده در ارزیابی نظام‌های تولید پسته در قم

Table 1- Specifications and formulae of the energy-based indices used in the evaluation pistachio fields of Qom

شاخص Indices	فرمول Formula	خصوصیات Specifications
جریان‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs	R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان Renewable flows from free local resources
جریان‌های محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs	N ₀	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع محلی رایگان Local potentially renewable flows from free local resources that used in a non-renewable manner
جریان‌های بازاری تجدید پذیر Renewable purchased inputs	F _R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع غیر رایگان Renewable flows from purchased resources
جریان‌های بازاری تجدید ناپذیر Non-renewable purchased inputs	F _N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع غیر رایگان Nonrenewable flows from purchased resources
کل انرژی مورد استفاده Total energy input	U= R+ N +F _R + F _N	کل منابع انرژی مورد نیاز برای پشتیبانی نظام تولید Total energy resources required to support the production system
انرژی خروجی Total energy output	Y=R+N ₀ +F	مجموع انرژی محصولات نظام Total energy of system products
ضریب تبدیل Transformity	Tr=U/AE	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول، یک مقیاس بهره‌وری نظام. AE انرژی در دسترس محصول است. Amount of energy required to produce an output unit in joules, a measure of system efficiency. AE is the accessible energy of the product.
انرژی ویژه Specific energy	SE= U/W	مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم، W وزن در دسترس محصول است. Amount of energy required to produce an output unit measured in grams. W is the accessible weight of the product.
تجدید پذیری انرژی Energy renewability	%R= (R+ F _R)/U	درصد انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده نظام Percentage of renewable energy used by the system
نسبت عملکرد انرژی Energy yield ratio	EYR=Y/F _R +F _N	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیطی در صورت سرمایه‌گذاری منابع اقتصادی خارج از نظام به عنوان ورودی سرمایه. Ability of a process to use local renewable and nonrenewable resources when economic resources from outside are invested in the system as a capital input.
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی Energy investment ratio	EIR=(F _N +F _R)/(R+N ₀)	نسبت خریداری شده برای انرژی رایگان نشان دهنده شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و تطابق آن با منابع رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر محیط محلی است. The ratio purchased to free energy indicates the intensity of economic investment and its matching to the free renewable and nonrenewable resources of the local environment.
نسبت بارگذاری محیطی Energy loading ratio	ELR=(N ₀ +F _R +F _N)/R	نسبت انرژی خریداری شده و تجدیدناپذیر به ورودی‌های تجدیدپذیر از محیط محلی. این شاخص اندازه‌گیری بار بر روی محیط محلی است. The ratio of purchased and non-renewable energy to the renewable inputs from the local environment. This index is a measure of loading on the local environment.
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده Energy loading ratio*	ELR*=(N ₀ +F _N)/(R+F _R)	نسبت انرژی تجدیدناپذیر به انرژی تجدیدپذیر که توسط نظام مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ELR* یک معیار معکوس از پایداری نظام است. The ratio of nonrenewable energy to renewable energy used by the system. This ELR* is an inverse measure of the sustainability of the system.
شاخص پایداری انرژی Energy sustainability index	ESI=EYR/ELR	نسبت عملکرد نظام در واحد ورودی خریداری شده به کل بار در نظام محلی. نظام‌هایی با عملکرد بیشتر و بار کمتر پایدارترند. The ratio of system yield per unit of purchased input to the total loading on the local system. Systems with higher yields and lower loadings are more sustainable.
شاخص پایداری انرژی اصلاح شده Energy sustainability index*	ESI* =EYR/ELR*	این شاخص عملکرد نظام را در مقایسه با معیار معکوس پایداری نظام نشان می‌دهد. نظامی با ESI* بالاتر پایدارترند. This index shows the system yield in relation to an inverse measure of system sustainability, ELR*. A system with a higher ESI* is more sustainable.

تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی

ورودی‌ها و خروجی‌های نظام‌های تولید پسته تحت آبیاری بارانی و غرقابی با استفاده از روش‌های تحلیل اقتصادی متعارف از تحقیقات میدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل اینکه یک سال به عنوان مقیاس زمانی برای ارزیابی نظام‌ها در نظر گرفته شد، ورودی‌ها و خروجی‌ها در این نظام‌ها به شکل سالیانه بیان شد. جریان سالانه ورودی‌ها و خروجی‌ها بر مبنای قیمت‌های بازار محلی محاسبه شد. به منظور تحلیل شرایط اقتصادی مزارع در منطقه مورد مطالعه، برخی از شاخص‌های اقتصادی شامل درآمد ناخالص، ارزش ناخالص تولید، درآمد خالص، هزینه کل تولید، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری محاسبه شد (Asgharipour *et al.*, 2021).

$$NR = GVP - TCP \quad (1)$$

$$GVP = CY \times CP \quad (2)$$

$$TCP = VCP + FCP \quad (3)$$

$$B \text{ to } C = \frac{GVP}{TRD} \quad (4)$$

$$Productivity = \frac{CY}{TRD} \quad (5)$$

که NR، درآمد خالص (هزار ریال در هکتار)، GVP، ارزش ناخالص تولید (هزار ریال در هکتار)، TCP، هزینه کل تولید (هزار ریال در هکتار)، CY، عملکرد محصول زراعی (کیلوگرم در هکتار)، CP، قیمت محصول (هزار ریال در هکتار)، B to C، نسبت سود به هزینه و Productivity، بهره‌وری است.

نتایج و بحث

ساختار استفاده از امرژی

در جدول ۲ جریان ورودی‌های محیطی رایگان، خریداری شده و خروجی‌ها بر اساس واحدهای فیزیکی برای دو نظام مختلف تولید پسته نشان داده شده است. جریان‌های ورودی برحسب تجدیدپذیری به دو بخش جریان‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شدند. در این مطالعه، ورودی امرژی کل نظام آبیاری غرقابی و بارانی تولید پسته به ترتیب $۴/۰۵ \times ۱۰^{۱۶}$

و $۲/۷۲ \times ۱۰^{۱۶}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال تخمین زده شد (جدول ۳). مقایسه مقادیر امرژی ورودی نظام‌های مورد مطالعه نشان داد که امرژی کل ورودی در آبیاری غرقابی، حدوداً ۴۹ درصد بیشتر از آبیاری بارانی بود. علت بالا بودن مقدار امرژی نظام آبیاری غرقابی، نیاز بیشتر این نظام به جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر شامل آب‌های زیرزمینی، تبخیر و تعرق و فرسایش خاک و سهم بیشتر جریان‌های خریداری شده شامل نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت فسیلی و روغن، و کودهای نیتروژن، فسفر و میکرو بود.

در تحقیقی، کل امرژی تولید انگور یاقوتی سیستان را $۱۰^{۱۶} \times ۱/۹۴$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش نمودند که بیشترین میزان امرژی به ترتیب مربوط به نیروی کارگری، آب آبیاری و کود نیتروژن با $۱۰^{۱۵} \times ۸/۰۵$ ، $۱۰^{۱۵} \times ۴/۵$ و $۱۰^{۱۵} \times ۲/۲$ امژول خورشیدی در هکتار در سال و کمترین مقدار مصرف امرژی در بین منابع خریداری شده مربوط به کود حیوانی با $۱۰^{۱۱} \times ۲/۶۳$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود (Kohkan *et al.*, 2017). در بررسی اثر کشاورزی حفاظتی در پایداری مزارع در منطقه نیمه‌خشک کانادا مقدار امرژی ورودی در نظام زراعی با تناوب آیش-کلزا-گندم دوروم در دو روش کشت بدون شخم و شخم در کانادا حداقل به ترتیب $۱۰^{۱۵} \times ۲/۴۹$ و $۱۰^{۱۵} \times ۲/۷۷$ امژول خورشیدی در هکتار در سال گزارش شد (Fan *et al.*, 2018). مقدار امرژی کل ورودی برای نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان در خراسان جنوبی به ترتیب $۱۰^{۱۶} \times ۲/۹۷$ و $۱۰^{۱۶} \times ۲/۲۶$ (Jafari *et al.*, 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب $۱۰^{۱۶} \times ۴/۱۳$ و $۱۰^{۱۶} \times ۴/۴۷$ (Amiri *et al.*, 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب $۱۰^{۱۶} \times ۱/۷۱$ و $۱۰^{۱۶} \times ۱/۷۶$ (Shahhoseini *et al.*, 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان (در استان سیستان و بلوچستان) به ترتیب $۱۰^{۱۶} \times ۲/۴۵$ ، $۱۰^{۱۶} \times ۳/۱۲$ و $۱۰^{۱۶} \times ۴/۷۳$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini *et al.*, 2020) گزارش شده است.

جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم در واحد هکتار

Table 2- Natural and economic flows for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom per hectare

متغیرهای امرژی Energy Variables	واحد Unit	جریان یک ساله خام Raw annual flow		ضریب تبدیل خورشیدی Solar transformity	منبع ضریب تبدیل Reference for transformity
		بارانی Drip	غرقابی Flood		
جریان‌های محیطی تجدید پذیر Renewable environmental inputs					
انرژی خورشیدی Solar energy	J	4.63E+13	4.63E+13	1.00E+00	Odum, 1996
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	J	1.33E+09	1.33E+09	1.25E+03	Campbell and Erban, 2016
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	J	2.62E+10	2.62E+10	2.25E+04	Campbell and Erban, 2016
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	1.19E+09	1.19E+09	2.88E+04	Campbell, 2003
جریان‌های محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs					
آب‌های زیرزمینی Ground water	J	2.66E+10	5.70E+10	1.92E+05	Buenfil, 2001
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	J	2.52E+10	4.92E+10	2.88E+04	Campbell, 2003
تلفات ماده آلی خاک SOM reduction	J	0.00E+00	0.00E+00	9.36E+04	Brandt-Williams, 2002
فرسایش خاک Soil erosion	g	2.68E+06	6.89E+06	1.27E+09	Brown and Bardi, 2001
جریان‌های خریداری شده Purchased inputs					
نیروی کار Human labor	J	2.35E+08	7.84E+08	2.22E+06	Lu and Campbell, 2009
ماشین‌آلات Machinery	g	5.26E+03	8.00E+03	1.01E+10	Campbell et al., 2005
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	g	5.60E+08	2.99E+09	8.60E+04	Bastianoni et al., 2009
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	1.18E+05	1.84E+05	3.09E+10	Brandt-Williams, 2002
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	9.00E+04	1.00E+05	2.82E+10	Brandt-Williams, 2002
کود پتاسیم Potash fertilizer	g	1.00E+05	1.00E+05	2.23E+09	Brandt-Williams, 2002
کود میکرو Micro fertilizer	g	6.10E+04	8.10E+04	3.91E+09	Lan et al., 2002
کود آلی Organic fertilizer	g	2.40E+07	2.40E+07	2.96E+08	Brandt-Williams, 2002
آفت کش Pesticide	g	7.50E+03	7.50E+03	1.89E+10	Maccanti et al. (man)
علف کش Herbicide	g	2.20E+04	2.20E+04	1.89E+10	Maccanti et al. (man)
الکتریسیته Electricity	J	2.70E+08	5.40E+07	2.31E+05	Amiri et al., 2019
نظام آبیاری Irrigation system	sej	2.31E+15	0.00E+00	6.76E+07	Asgharipour et al. 2019
نهل Sapling	Rial	5.33E+05	5.33E+05	1.00E+00	Asgharipour et al. 2020

ادامه جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم در واحد هکتار

Table 2 Continued- Natural and economic flows for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom per hectare

خروجی Output			
عملکرد اقتصادی Economic yield	g	2.00E+06	1.80E+06
عملکرد اقتصادی Economic yield	J	4.98E+10	4.48E+10
افزایش ماده آلی Organic matter addition	g	3.E+07	7.E+07
افزایش ماده آلی Organic matter addition	J	7.60E+11	1.52E+12
کل Subtotal		1.73E+16	1.88E+16
جمع کل Total		2.72E+16	4.05E+16

سیستان به ترتیب $1/0.9 \times 10^{15}$ ، $1/0.36 \times 10^{15}$ و $1/0.37 \times 10^{15}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر (N)

مصرف منابع آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق، تلفات ماده آلی خاک و فرسایش خاک اجزای اصلی جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر را تشکیل دادند که سهم آن‌ها از کل امرژی‌های ورودی برای نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $52/06$ و $33/99$ درصد بود. بیشترین بخش جریان ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر در هر دو نظام مربوط به آب زیرزمینی بود. به طور کلی، میزان مصرف آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق و فرسایش خاک در نظام آبیاری غرقابی بیشتر از بارانی بود (جدول ۳).

جریان‌های محیطی تجدیدناپذیر در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب $9/01 \times 10^{15}$ و $10^{15} \times 6/26$ (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب $2/14 \times 10^{16}$ و $6/74 \times 10^{15}$ (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب $4/63 \times 10^{15}$ و $10^{15} \times 8/51$ (Shahhoseini et al., 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب $9/68 \times 10^{15}$ ، $1/32 \times 10^{16}$ و $1/50 \times 10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر (R)

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر شامل نور خورشید، باد، باران و تبخیر و تعرق بودند. جریان‌های محیطی تجدیدپذیر مستقیماً از انرژی نور خورشید منشعب شدند. بنابراین، به منظور اجتناب از ارزیابی مضاعف، بزرگ‌ترین آن‌ها به اضافه انرژی خورشیدی که در فتوسنتز استفاده می‌گردد، به عنوان امرژی جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2019). بزرگ‌ترین ورودی رایگان محیطی در هر دو نظام، انرژی شیمیایی باران ($5/90 \times 10^{14}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال) بود (جدول ۳). جریان‌های محیطی تجدیدپذیر برای هر دو نظام در این مطالعه $10^{14} \times 6/36$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. این دسته از منابع ورودی برای نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $1/57$ و $2/34$ درصد از کل امرژی‌های ورودی به هر نظام را تشکیل داد.

جریان‌های محیطی تجدیدپذیر در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان در استان خراسان جنوبی $10^{15} \times 3/13$ (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب $1/99 \times 10^{15}$ و $1/80 \times 10^{15}$ (Amiri et al., 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان $5/68 \times 10^{14}$ (Shahhoseini et al., 2020)، نظام تولید برنج در چین $1/82 \times 10^{15}$ (Su et al., 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه

جدول ۳- تحلیل انرژی، ساختار ورودی و سهم جریان‌ها برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته

Table 3- Energy synthesis, input structure and share of energy inputs for flood and drip irrigation pistachio fields

متغیرهای انرژی Energy Variables	بارانی Drip		غرقابی Flood	
	انرژی خورشیدی Solar energy (sej ha ⁻¹ yr ⁻¹)	انرژی خورشیدی Solar energy (%)	انرژی خورشیدی Solar energy (sej ha ⁻¹ yr ⁻¹)	انرژی خورشیدی Solar energy (%)
	جریان‌های محیطی تجدید پذیر Renewable environmental inputs		جریان‌های محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable environmental inputs	
انرژی خورشیدی Solar energy	4.63E+13	0.17%	4.63E+13	0.11%
انرژی جنبشی باد Wind, kinetic energy	1.66E+12		1.66E+12	
انرژی شیمیایی باران Rain, chemical	5.90E+14	2.17%	5.90E+14	1.45%
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	3.43E+13		3.43E+13	
کل Subtotal	6.36E+14	2.34%	6.36E+14	1.57%
آب‌های زیرزمینی Ground water	5.11E+15	18.79%	1.09E+16	27.00%
تبخیر و تعرق Evapotranspiration	7.26E+14	2.67%	1.42E+15	3.50%
تلفات مواد آلی خاک SOM reduction	0.00E+00	0.00%	0.00E+00	0.00%
فرسایش خاک Soil erosion	3.40E+15	12.52%	8.75E+15	21.57%
کل Subtotal	9.24E+15	33.99%	2.11E+16	52.06%
نیروی کار Human labor	5.22E+14	1.92%	1.74E+15	4.29%
ماشین‌آلات Machinery	5.31E+13	0.20%	8.08E+13	0.20%
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	4.82E+13	0.18%	2.57E+14	0.63%
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3.65E+15	13.42%	5.69E+15	14.02%
کود فسفر Phosphorus fertilizer	2.54E+15	9.34%	2.82E+15	6.96%
کود پتاسیم Potash fertilizer	2.23E+14	0.82%	2.23E+14	0.55%
کود میکرو Micro fertilizer	2.39E+14	0.88%	3.17E+14	0.78%
کود آلی Organic fertilizer	7.10E+15	26.14%	7.10E+15	17.52%
آفت کش Pesticide	1.42E+14	0.52%	1.42E+14	0.35%
علف کش Herbicide	4.16E+14	1.53%	4.16E+14	1.03%
الکتریسیته				

ادامه جدول ۳- تحلیل انرژی، ساختار ورودی و سهم جریان‌ها برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته

Table 3 Continued - Emery synthesis, input structure and share of emery inputs for flood and drip irrigation pistachio fields

Electricity نظام آبیاری	6.24E+13	0.23%	1.25E+13	0.03%
Irrigation system نهال	2.31E+15	8.50%	0.00E+00	0.00%
Sapling	5.33E+05	0.00%	5.33E+05	0.00%
کل				
Subtotal جمع کل	1.73E+16	63.67%	1.88E+16	46.37%
Total	2.72E+16	100.00%	4.05E+16	100.00%

$10^{15} \times 1/54$ (Shahhoseini *et al.*, 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب $10^{16} \times 2/45$ ، $10^{16} \times 3/12$ و $10^{16} \times 4/73$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini *et al.*, 2020) گزارش شده است.

عملکرد و جریان کل انرژی (U)

نظامی پایدارتر و کارآمدتر خواهد بود که انرژی ورودی (برحسب امژول خورشیدی یا sej^1) پایین‌تری در مقدار مشابه از محصول تولیدی (برحسب ژول (J) یا گرم (g)) داشته باشد. به عبارت دیگر در مقدار مشابه انرژی ورودی، محصول بیشتری تولید شود (Odum 1996; Brown *et al.*, 2000). عملکرد اقتصادی در نظام آبیاری غرقابی و بارانی بر حسب انرژی به ترتیب $10^{10} \times 4/48$ و $10^{10} \times 4/98$ ژول و بر حسب گرم به ترتیب $10^6 \times 1/80$ و $10^6 \times 2/00$ گرم بود. کل انرژی ورودی در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $10^{16} \times 4/05$ و $10^{16} \times 2/72$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود؛ بنابراین نظام آبیاری بارانی کارآمدتر از نظام آبیاری غرقابی تعیین شد، چون هر واحد محصول تولید شده در نظام بارانی، توسط مقدار کمتری از انرژی در مقایسه با نظام غرقابی پشتیبانی شده است (جدول ۳).

جریان کل انرژی در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب $10^{16} \times 2/97$ و $10^{16} \times 2/26$ (Jafari *et al.*, 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد به ترتیب $10^{16} \times 4/13$ و $10^{16} \times 2/47$ (Amiri *et al.*, 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب $10^{16} \times 1/71$ و $10^{16} \times 1/76$

جریان‌های خریداری شده

مقدار جریان‌های خریداری شده در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $10^{16} \times 1/88$ و $10^{16} \times 1/73$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود که به ترتیب $46/37$ و $63/67$ درصد از کل جریان‌های ورودی به نظام‌ها را به خود اختصاص دادند. مقایسه جریان‌های خریداری شده دو نظام نشان داد که ساختار این جریان‌ها بین دو نظام دارای تفاوت زیادی بودند. به عنوان مثال انرژی ورودی سوخت فسیلی و روغن، نیروی کارگری، کود نیتروژن، ماشین‌آلات، و کودهای میکرو و فسفر در نظام غرقابی به ترتیب $5/33$ ، $2/33$ ، $1/56$ ، $1/52$ ، $1/33$ و $1/11$ برابر نظام بارانی بود. در مقابل انرژی ورودی الکتروسیته در نظام آبیاری بارانی $4/99$ برابر نظام آبیاری غرقابی بود. هزینه استقرار نظام آبیاری در آبیاری بارانی معادل $10^{15} \times 2/31$ امژول خورشیدی در هکتار در سال و در نظام غرقابی صفر بود. تفاوت زیاد در نوع جریان‌های خریداری شده به دلیل شیوه متفاوت مدیریت بود و الگوهای متفاوت تولید، منجر به تفاوت در ساختار جریان‌های خریداری شده دو نظام شده است. ماشین‌آلات، سوخت فسیلی و روغن، کودهای پتاسیم و کود میکرو، آفت‌کش، الکتروسیته و خرید نهال در هر دو نظام سهم بسیار کمی (کمتر از یک درصد) در میان ورودی‌های خریداری شده داشتند (جدول ۳).

جریان‌های خریداری شده در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب $10^{16} \times 1/76$ و $10^{16} \times 1/32$ (Jafari *et al.*, 2018)، نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد به ترتیب $10^{16} \times 1/80$ و $10^{16} \times 1/61$ (Amiri *et al.*, 2019)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب $10^{16} \times 1/19$ و

¹ solar emjoules

ماده آلی (SpE)، کسر تجدیدپذیری انرژی (R%)، نسبت عملکرد انرژی (EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری انرژی (EIR)، نسبت بارگذاری محیطی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR*) و شاخص پایداری انرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI*) بررسی شد. مقایسه شاخص‌های انرژی انعکاسی از روش مدیریت آبیاری و چگونگی اعمال شیوه‌های تولید در دو نظام مورد بررسی است. روابط ریاضی و تعاریف شاخص‌های مورد بحث در جدول ۱ و مقادیر شاخص‌های مبتنی بر انرژی در جدول ۴ ارائه شده است.

(Shahhoseini *et al.*, 2020) و برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب $10^{16} \times 2/45$ ، $10^{16} \times 3/12$ و $10^{16} \times 4/73$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (Yasini *et al.*, 2020) گزارش شده است.

شاخص‌های انرژی

با استفاده از شاخص‌های انرژی میزان تفاوت بین دو نظام آبیاری بارانی و غرقابی، از لحاظ ویژگی‌های کارکردی شامل ضریب تبدیل انرژی (Tr)، انرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی و

جدول ۴- شاخص‌های مبتنی بر انرژی و شاخص‌های اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم

Table 4- Energy-based indices and economic indices for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom

شاخص Indice	بارانی Drip	غرقابی Flood
ضریب تبدیل انرژی برای عملکرد اقتصادی Transformity for EY	5.46E+05	9.05E+05
ضریب تبدیل انرژی برای ماده آلی Transformity for OM	3.58E+04	2.67E+04
انرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی Specific energy for EY	1.36E+10	2.25E+10
انرژی ویژه برای ماده آلی Specific energy for OM	8.09E+08	6.03E+08
تجدید پذیری انرژی (%) R%	3.45	2.43
نسبت عملکرد انرژی EYR	1.571	2.157
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی EIR	1.753	0.865
نسبت سرمایه‌گذاری انرژی اصلاح شده EIR*	27.214	29.566
نسبت بارگذاری محیطی ELR	41.74	62.76
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده ELR*	27.964	40.236
شاخص پایداری انرژی ESI	0.038	0.034
شاخص پایداری انرژی اصلاح شده ESI*	0.056	0.054
درآمد ناخالص Gross income	1700	1530
درآمد خالص Net income	1584.05	1413.61
نسبت ورودی به خروجی Input/Output ratio	14.66	13.14

ضریب تبدیل (Tr)

ضریب تبدیل (Tr) شاخصی مفید برای بررسی بازده امرژی تولید محصول است (Brown and Ulgiati, 2004). مقدار بیشتر Tr به ازای تولید یکسان، اثربخشی پایین امرژی از جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی را نشان می‌دهد (Odum, 1996; Lu et al., 2010). در نظام آبیاری غرقابی و بارانی، ضریب تبدیل امرژی برای عملکرد اقتصادی به ترتیب $10^5 \times 9/05$ و $10^5 \times 5/46$ امژول خورشیدی در ژول و برای ماده آلی به ترتیب $10^4 \times 2/67$ و $10^4 \times 3/58$ امژول خورشیدی در ژول بود. ضریب تبدیل بزرگتر در نظام آبیاری غرقابی به دلیل مصرف بالاتر امرژی به ویژه آب زیرزمینی و در عین حال تولید پایین‌تر این نظام بود که بیانگر کارایی کمتر آن در مقایسه با نظام آبیاری بارانی بود. اگرچه مصرف امرژی در نظام آبیاری بارانی کمتر از نظام آبیاری غرقابی بود ولی تولید آن بیشتر بود؛ بنابراین کارایی نظام آبیاری بارانی در تبدیل امرژی ورودی به عملکرد از آبیاری غرقابی بیشتر بود. به این معنی که در نظام آبیاری بارانی به ازای هر واحد از محصول تولیدی، امرژی کمتری اختصاص یافته بود؛ بنابراین دلیل اصلی بازده بهتر امرژی ورودی نظام آبیاری بارانی، میزان بیشتر تولید محصول اقتصادی ($10^6 \times 2/00$ امژول خورشیدی در ژول) در واحد سطح نسبت به امرژی ورودی به نظام، در مقایسه با آبیاری غرقابی ($10^6 \times 1/80$ امژول خورشیدی در ژول) بود.

مقدار این شاخص برای نظام‌های چند کشتی سنتی و تولید مکانیزه ذرت در ایالات متحده به ترتیب $10^5 \times 2/32$ و $10^4 \times 9/30$ (Martin et al., 2006)، در تولید چرخشی ذرت-گندم در شمال چین $10^4 \times 6/05$ (Hu et al., 2010)، تولید گندم در شمال چین $10^5 \times 1/63$ (Wang et al., 2014)، تولید زراعی گندم و ذرت در جهرم به ترتیب $10^5 \times 4/05$ و $10^8 \times 4/23$ (Houshyar et al., 2018)، تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب $10^9 \times 1/71$ و $10^9 \times 1/47$ (Jafari et al., 2018)، نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب $10^5 \times 1/5$ و $10^5 \times 2/54$ (Shahhoseini et al., 2020) و در نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در سیستان به ترتیب $10^8 \times 6/73$ ، $10^6 \times 4/19$ و $10^6 \times 7/12$ امژول خورشیدی در ژول (Yasini et al., 2020) گزارش شده است.

شاخص امرژی مخصوص (SpE)

شاخص امرژی مخصوص (SpE)، مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد جرم خروجی است. این شاخص عاملی برای ارزیابی امرژی واحد زیست‌توده تولیدی در نظام است و مقدار امرژی پشتیبان کننده هر واحد بیوماس تولیدی را بر حسب واحد جرم (گرم یا کیلوگرم) بیان می‌کند (Odum, 2000; Zhang et al., 2012). هر چه زیست‌توده تولیدی در یک نظام، نیاز کمتری به جریان امرژی پشتیبان کننده در واحد سطح داشته باشد، شاخص امرژی مخصوص در آن نظام کمتر است (Pizzigallo et al., 2008). در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی، امرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی به ترتیب $10^{10} \times 2/25$ و $10^{10} \times 1/36$ امژول خورشیدی در گرم و برای ماده آلی به ترتیب $10^8 \times 6/03$ و $10^8 \times 8/09$ امژول خورشیدی در گرم بود. امرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی در نظام آبیاری بارانی کمتر از آبیاری غرقابی بود که بیانگر مقدار امرژی مورد نیاز کمتر برای تولید یک واحد خروجی در آن در مقایسه با آبیاری غرقابی بود اما امرژی ویژه برای ماده آلی در نظام آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی بود.

کسر تجدیدپذیری امرژی (%R)

کسر تجدیدپذیری امرژی (%R) نشان‌دهنده درصد تجدیدپذیری ورودی‌های امرژی است (Zhang and Long, 2010). نظام‌های تولیدی که منابع تجدیدپذیر تأمین‌کننده کسر بیشتری از امرژی ورودی است، احتمالاً پایدارترند. نظامی در بلندمدت در رقابت اقتصادی موفق‌تر است که از منابع تجدیدناپذیر به میزان کمتری نسبت به منابع تجدیدپذیر استفاده نماید (Brown and Ulgiati, 2004; Lefroy and Rydberg, 2003). درصد تجدیدپذیری امرژی نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $2/43$ و $3/45$ درصد بود. ورودی امرژی از منابع تجدیدپذیر محیطی در هر دو نظام آبیاری $10^{14} \times 6/36$ امژول خورشیدی در هکتار در سال و میزان کل امرژی ورودی در آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب $10^{16} \times 4/05$ و $10^{16} \times 2/72$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. در این تحقیق، مقدار کمتر درصد تجدیدپذیری امرژی در آبیاری غرقابی نشان‌دهنده این است که این نظام درصد بیشتری از امرژی مورد استفاده خود را به منابع تجدیدناپذیر به

به عبارت دیگر، توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیطی در صورت سرمایه‌گذاری منابع اقتصادی خارج از نظام به عنوان ورودی سرمایه است. هر چه نسبت عملکرد امرژی بالاتر باشد نشان‌دهنده استفاده بیشتر از منابع رایگان امرژی است (Odum, 2000; Brown and Ulgiati, 2004). حداقل مقدار نسبت عملکرد امرژی یک است که نشان‌دهنده سهم صفر برای جریان‌های رایگان در فرآیند تولید و وابستگی کامل به جریان‌های خریداری شده از بازار است. میزان بیشتر این شاخص، بیانگر بازگشت بیشتر امرژی به ازای هر واحد از جریان‌های خریداری شده و مصرف کارآمدتر جریان‌ها و در نتیجه کارایی بیشتر نظام در مصرف امرژی به ازای هر واحد از جریان‌های خریداری شده است (Ghaley et al., 2018).

مقدار این شاخص برای آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۲/۱۵۷ و ۱/۵۷۱ بود. در آبیاری غرقابی به دلیل استفاده بیشتر از جریان‌های تجدیدناپذیر رایگان مقدار EYR بالاتری داشت. این موضوع نشان می‌دهد که بهره‌برداری یک نظام از منابع رایگان بیانگر کارآمدی نظام نیست. در واقع، در مقایسه با نظام بارانی، آبیاری غرقابی توانایی خوبی برای بهره‌برداری از منابع رایگان محلی داشت اما نسبت ورودی به خروجی در آبیاری غرقابی (۱۳/۱۴) کمتر از بارانی (۱۴/۶۶) بود.

در تحقیقی، مقدار EYR برای نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان را به ترتیب ۱/۶۹ و ۱/۷۱ گزارش نمودند که بیانگر وابستگی این دو نظام به جریان‌های خریداری شده بود (Jafari et al., 2018). در تحقیق دیگری، مقدار EYR برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر را به ترتیب ۱/۷۹، ۱/۸۷ و ۱/۵۳ گزارش نمودند که بیانگر مقدار وابستگی پایین این سه نظام به جریان‌های رایگان محیطی بود و نظام‌های تولید پیاز و گندم در منطقه سیستان به دلیل مصرف کمتر جریان‌های بازاری مقدار EYR بالاتری داشتند (Yasini et al., 2020). در تحقیق دیگری، مقدار این شاخص برای نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهار در شهرستان گرگان را به ترتیب ۱/۴۴ و ۲/۰۶ درصد گزارش کردند که بیانگر وابستگی زیادتر تولید به جریان‌های خریداری شده در نظام پاییزه بود (Shahhoseini et al., 2020).

ویژه مصرف بیشتر آب زیرزمینی و فرسایش بیشتر خاک وابسته است. بنابراین نظام آبیاری بارانی در مقایسه با نظام آبیاری غرقابی در بلندمدت پایداری بیشتری دارد. جریان‌های غیر رایگان معمولاً از خارج نظام وارد می‌شوند و سهم زیاد آن‌ها نشان می‌دهد که این نظام‌ها باز هستند و به شدت تحت تأثیر جریان‌های خریداری شده از اقتصاد قرار می‌گیرند (Yasini et al., 2020).

این شاخص در نظام‌های تولید پسته و خرما در شهرستان نهبندان به ترتیب ۳۵/۴ و ۴۳/۲ درصد گزارش شد. نظام تولید خرما به دلیل سهم کوچک‌تری از جریان‌های خریداری شده و وابستگی بیشتر آن به فرآیندهای بوم‌شناختی و منابع تجدیدپذیر محلی دارای نسبت تجدیدپذیری بالاتری بود (Jafari et al., 2018). این شاخص در نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد به ترتیب ۵/۳۰ و ۱۹/۹۰ درصد گزارش شد. عمده‌ترین دلیل کوچکی این شاخص در نظام تجاری، تلفات بالای مواد آلی خاک از منبع تجدیدناپذیر در اثر خاک‌ورزی و شیوه تولید بود (Amiri et al., 2019). در تحقیقی، نسبت تجدیدپذیری امرژی برای نظام‌های تولید پاییزه و بهار سیب‌زمینی در شهرستان گرگان را به ترتیب ۲۲/۸۵ و ۱۲/۷۸ درصد گزارش کردند. آن‌ها علت تجدیدپذیری بیشتر در نظام پاییزه نسبت به نظام بهار را سهم بیشتر منابع تجدیدپذیر از ورودی‌های بازاری در نظام پاییزه و وابستگی بیشتر به منابع تجدیدناپذیر به ویژه آب زیرزمینی در نظام بهار گزارش کردند؛ لذا پایداری بیشتر نظام پاییزه نسبت به نظام بهار را در بلندمدت گزارش کردند (Shahhoseini et al., 2020). در تحقیق دیگری، مقدار این شاخص را در نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر را در منطقه سیستان به ترتیب ۴/۸، ۱۱/۶ و ۱۲/۵ درصد گزارش نمودند. نظام‌های تولید پیاز و سیر به دلیل مصرف میزان زیاد کودهای آلی برای تأمین نیازهای غذایی و وابستگی کمتری به جریان‌های امرژی تجدیدناپذیر داشتند و نظام تولید گندم با مصرف کمتر جریان‌های امرژی تجدیدپذیر ناپایدارتر بود (Yasini et al., 2020).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

نسبت عملکرد امرژی (EYR) نسبت کل امرژی خروجی به امرژی خریداری شده از بازار تعریف می‌شود (Odum, 2000).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR)

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR) نسبت امرژی‌های خریداری شده به امرژی‌های رایگان است و نشان‌دهنده شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و تطابق آن با منابع رایگان تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر از منابع محیطی محلی است. به عبارت دیگر، شاخص EIR نشان‌دهنده درجه وابستگی نظام کشاورزی به محیط‌زیست و سطح توسعه اقتصادی است (Odum, 2000). بنابراین دو شاخص EIR و EYR شاخص‌های مشابهی هستند که میزان بهره‌برداری از جریان‌های رایگان را به روش‌های مختلفی تعریف می‌کنند. میزان کمتر EIR نشان‌دهنده وابستگی شدید نظام به جریان‌های رایگان و سطح کم هزینه‌های اقتصادی است (Odum, 2000; Lan et al., 2002). مقدار EIR برای نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۸۶۵ و ۱/۷۵۳ بود. مقادیر به دست آمده بیانگر مقدار بیشتر وابستگی به جریان‌های غیر رایگان بازاری در آبیاری بارانی به ویژه هزینه استقرار نظام آبیاری بود.

این شاخص در نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم آباد به ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۸۶ گزارش شد. عمده‌ترین دلیل کوچکی این شاخص در نظام تجاری، تلفات بالای مواد آلی خاک بود (Amiri et al., 2019).

در تحقیق دیگری، مقدار EIR برای نظام‌های تولید پسته و خرما را به ترتیب ۱/۴۵ و ۱/۴۱ گزارش نمودند (Jafari et al., 2018). در تحقیق دیگری، مقدار این شاخص برای نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب ۲/۲۹ و ۰/۹۴ بود که بیانگر وابستگی زیاد تولید به جریان‌های خریداری شده در نظام پاییزه بود. علت بیشتر بودن این شاخص در نظام پاییزه سرمایه‌گذاری اقتصادی بیشتر جریان‌های اقتصادی در آن و بیانگر سطح بالای توسعه اقتصادی آن بود. مصرف بیشتر جریان‌های بازاری مانند بذر، کود دامی و سوخت فسیلی در نظام پاییزه و مصرف بیشتر آب زیرزمینی به عنوان یک ورودی محیطی در نظام بهاره باعث بیشتر شدن این شاخص در نظام پاییزه نسبت به نظام بهاره شد (Shahhoseini et al., 2020).

در تحقیق دیگری، مقدار EIR را برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به ترتیب ۱/۲۷، ۱/۱۵ و ۱/۹۰ گزارش نمودند که بیانگر وابستگی بیشتر به جریان‌های

غیر رایگان بازاری در نظام تولید پیاز و گندم و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید سیر از جریان‌های رایگان است (Yasini et al., 2020).

نسبت بارگذاری محیطی استاندارد (ELR) و اصلاح شده (ELR*)

شاخص ELR نسبت امرژی‌های خریداری شده و تجدیدنپذیر محلی به جریان‌های تجدیدپذیر محلی است. ELR شاخصی از فشار محیطی ایجاد شده از فعالیت‌های تولید اقتصادی است و به عنوان معیاری از فشار بالقوه انسانی از یک فرآیند به محیط اطرافش در نظر گرفته شده است (Odum, 2000). میزان بالاتر ELR نشان‌دهنده فشار محیطی بیشتر بر بوم‌نظام‌های محلی به دلیل استفاده از جریان‌های تجدیدنپذیر است (Odum, 1996).

میزان شاخص ELR مستقیماً با جریان‌های تجدیدپذیر ارتباط دارد و به عنوان معیاری از فشار محیطی وارد شده بر نظام در اثر تولید در نظر گرفته شده است (Ulgiati and Brown, 1998). به طور کلی، مقدار ELR کمتر از ۲ بیانگر فشار محیطی کم، مقادیر بین ۲ تا ۱۰ بیانگر فشار محیطی متوسط و مقدار ELR بیشتر از ۱۰ بیانگر فشار محیطی زیاد است (Brown and Ulgiati, 2004). ELR* نسبت امرژی تجدیدنپذیر به امرژی تجدیدپذیر است که توسط نظام مورد استفاده قرار می‌گیرد. به بیان دیگر ELR* معیار معکوس از پایداری نظام است و بیانگر مقدار استفاده نظام از خدمات محیط‌زیست است (Campbell and Garmestani, 2012).

مقدار شاخص ELR برای نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۶۲/۶۷ و ۴۱/۴۷ و ELR* در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۴۰/۲۴ و ۲۷/۹۶ بود. مقدار بالای ELR در نظام‌های این مطالعه به دلیل مصرف بیشتر جریان‌های امرژی تجدیدنپذیر و خریداری شده بود که نشان‌دهنده فشار زیادی بر محیط‌زیست است. دلیل بالاتر بودن ELR و ELR* در نظام آبیاری غرقابی در مقایسه با نظام آبیاری بارانی میزان مصرف بیشتر جریان‌های امرژی تجدیدنپذیر به ویژه میزان مصرف آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق و فرسایش خاک و جریان‌های خریداری شده مانند سوخت فسیلی و روغن، نیروی کارگر، کود نیتروژن، ماشین‌آلات، و کودهای میکرو و فسفر بود. در این

زیاد انرژی نیاز دارد (Ulgiate and Brown, 1998). شاخص ESI مزایای ایجاد شده از یک نظام در واحد سطح را می‌سنجد (Brown and Ulgiate, 1997).

به عبارت دیگر، شاخص ESI مزیت نظام را نسبت به هزینه‌های آن اندازه‌گیری می‌کند؛ بنابراین، شاخص ESI هر دو جنبه محیط‌زیست و اقتصاد را در نظر می‌گیرد. شاخص ESI می‌تواند به عنوان معیاری از پایداری نظام‌های کشاورزی استفاده گردد. این شاخص باعث شناسایی نظام‌هایی می‌گردد که نیاز کمتری به محیط‌زیست دارند و برای تولید وابسته به جریان‌های تجدیدپذیر محلی هستند (Jafari et al., 2018).

به‌طور کلی دو شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI*) به طور هم‌زمان استفاده از منابع و فشار وارد شده بر محیط‌زیست را بررسی می‌کنند (Odum, 1996). شاخص‌های ESI و ESI* از دیدگاه‌های مختلف میزان سازگاری در محیط‌زیست و اقتصاد را در محاسبات در نظر گرفته‌اند و میزان بالاتر این شاخص‌ها بیانگر میزان بیشتر جریان‌های تجدیدپذیر محیطی و کاهش جریان‌های خریداری شده است و بیانگر پایداری بیشتر نظام است (Asgharipour et al., 2018). مقادیر ESI در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۰۳۴ و ۰/۰۳۸ و مقادیر ESI* در نظام‌های آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۰/۰۵۴ و ۰/۰۵۶ بود که نشان‌دهنده این است که نظام‌ها از سطح پایداری مطلوبی برخوردار نیستند و فشار محیطی زیادی اعمال می‌کنند. با توجه به مقادیر ESI و ESI* نظام آبیاری غرقابی نسبت به نظام آبیاری بارانی ناپایدارتر بود.

در مقایسه پایداری پنج نظام مختلف لوبیا در خمین در استان مرکزی، مقدار ESI را بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ و ESI* را بین ۰/۰۴ تا ۱/۴۸ گزارش نمودند. در تحقیق آن‌ها همه ESI‌ها کمتر از یک بودند که بیانگر فشار بالا به محیط‌زیست توسط نظام‌های مختلف کشاورزی بود. در این مطالعه محققین توانستند با کمک ESI* تفکیک بهتری از فشار نظام‌ها بر محیط‌زیست ایجاد کرده و نظام بوم‌شناختی با ESI* ۱/۴۸ را به عنوان پایدارترین و نظام با ورودی بالا با ESI* ۰/۰۴ را ناپایدارترین نظام در مقایسه با نظام‌های دیگر گزارش نمودند (Asgharipour et al., 2018). مقدار شاخص ESI برای نظام‌های تولید خرما و پسته در نهبندان به ترتیب ۱/۳۰ و ۰/۹۳

مطالعه نظام آبیاری بارانی به دلیل ELR و ESI* کمتر نسبت به نظام آبیاری غرقابی پایداری بیشتری داشت.

در تحقیقی، میزان ESI* برای سه نظام تولید لوتوس خالص، لوتوس-میگو و لوتوس-ماهی در چین را به ترتیب ۲/۳، ۲/۸ و ۲/۴ گزارش نمودند (Ul et al., 2017). آن‌ها با توجه به میزان ESI* پایداری بیشتر نظام تولید لوتوس خالص نسبت به دو نظام دیگر را گزارش نمودند. مقدار شاخص ESI* برای نظام‌های تولید خرما و پسته نهبندان به ترتیب ۱/۳۱ و ۱/۸۲ گزارش شده است (Jafari et al., 2018).

مقدار ELR برای نظام‌های تولید کلزا تجاری و سنتی در خرم آباد به ترتیب ۱۹/۷۵ و ۱۲/۶۸ و ESI* در نظام‌های تجاری و سنتی به ترتیب ۱۷/۸۵ و ۴/۰۰ گزارش شده است. در نظام تجاری، فقط ۰/۵ درصد از کل انرژی ورودی به نظام از جریان‌های بازاری تجدیدپذیر بود و این باعث شد مقادیر ELR و ESI* شبیه یکدیگر شوند ولی در نظام سنتی، نسبت جریان‌های بازاری تجدیدپذیر به کل جریان‌های انرژی حدود ۱۳ درصد بود که منجر به تفاوت قابل توجهی بین مقادیر ELR و ESI* شد (Amiri et al., 2019).

در تحقیق دیگری، مقدار ELR برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان را به ترتیب ۲۱/۴۲، ۲۱/۹۳ و ۳۳/۴۲ گزارش نمودند. نظام تولید سیر درصد ESI* بیشتری در مقایسه با تولید گندم و پیاز داشت که به دلیل مصرف بیشتر جریان‌های امرژی تجدیدناپذیر به ویژه تلفات مواد آلی خاک، سیرچه و نیروی انسانی در مقایسه با تولید گندم و پیاز بود (Yasini et al., 2020).

شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI*)

شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و اصلاح شده (ESI*) نسبت عملکرد نظام در واحد جریان‌های خریداری شده به کل بار در نظام است. نظام‌هایی با عملکرد بیشتر و بار کمتر پایدارتر هستند. مقدار این شاخص بین صفر تا بی نهایت تغییر می‌کند. مقادیر شاخص‌های پایداری امرژی بیشتر از ۱۰ نظام‌های پایدار با حداقل فشار، مقادیر بین ۱ و ۱۰ پتانسیل خوب و مقادیر کمتر از ۱ بیانگر نظام پرمصرف است که منابع نظام را تخلیه کرده و اثر محیطی زیاد دارد و بقای آن به مصرف

هزینه آن و پایداری اقتصادی در نظام بهاره بیشتر از نظام پاییزه بود. علت کمتر بودن این شاخص در نظام پاییزه مصرف بسیار بیشتر جریان‌های اقتصادی در آن بود (Shahhoseini *et al.*, 2020).

گزارش شده است که بیانگر عدم پایداری نظام و فشار محیطی بالا بود (Jafari *et al.*, 2018). مقدار این شاخص برای نظام‌های تولید سیب‌زمینی پاییزه و بهاره در شهرستان گرگان به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۷ بود؛ بنابراین مزایای نظام نسبت به

جدول ۵- تحلیل اقتصادی برای آبیاری غرقابی و بارانی زمین‌های پسته قم (میلیون ریال)

Table 5- Economic analysis for flood and drip irrigation pistachio fields of Qom (million Rials)

متغیر Variable	بارانی	غرقابی
جریان‌های خریداری شده Purchased inputs	Drip	Flood
نیروی کار Human labor	7.5	28.125
ماشین‌آلات Machinery	14.25	21.68
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	1.05	5.6
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	1.27	1.99
کود فسفر Phosphorus fertilizer	7.52	8.36
کود پتاسیم Potash fertilizer	10	10
کود میکرو Micro fertilizer	12.81	17.01
کود آلی Organic fertilizer	7.44	7.44
آفت کش Pesticide	2.96	2.96
علف‌کش Herbicide	11.22	11.22
الکترسیته Electricity	7.4	1.48
نظام آبیاری Irrigation system	32	0
نهال Sapling	0.53	0.53
کل Total	115.95	116.395
خروجی Output		
عملکرد اقتصادی Economic yield	1700	1530

پایین در تمام نظام‌ها و تقاضای نسبتاً بالا برای جریان‌های تجدیدناپذیر بود (Yasini *et al.*, 2020).

مقدار ESI برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان را کمتر از یک گزارش نمودند که بیانگر امری خروجی

تحلیل اقتصادی

در نظام آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب هزینه کار نیروی انسانی و استقرار نظام آبیاری بیشترین هزینه‌ها را به خود اختصاص دادند. با توجه به جدول ۵، هزینه کل تولید برای آبیاری غرقابی و بارانی به ترتیب ۱۱۶/۳۹۵ و ۱۱۵/۹۵ میلیون ریال در هکتار در سال بود. برای آبیاری غرقابی و بارانی درآمد ناخالص به ترتیب ۱۵۳۰ و ۱۷۰۰ میلیون ریال در هکتار در سال برای هر هکتار و درآمد خالص به ترتیب ۱۴۱۳/۶۱ و ۱۵۸۴/۰۵ میلیون ریال برای هر هکتار در سال و نسبت ورودی به خروجی به ترتیب ۱۳/۱۴ و ۱۴/۶۶ بود. با توجه به این نتایج، درآمد خالص به دست آمده در آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی بود.

در تحقیقی در منطقه سیستان، در نظام تولید گندم هزینه‌های بذر، ماشین آلات و سوخت و در نظام تولید پیاز هزینه‌های کود آلی، نیروی انسانی و الکتریسیته و در نظام تولید سیر بذر، کود دامی و نیروی انسانی بیشترین هزینه را به خود اختصاص دادند. برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر هزینه کل تولید به ترتیب ۱۲/۵۷، ۳۰/۵۴ و ۷۱/۴۲، درآمد خالص به ترتیب ۵۵/۷۸، ۱۱۳/۶۱ و ۳۳۱/۱۳ و نسبت سود به هزینه به ترتیب ۴/۴۴، ۳/۷۲ و ۴/۶۴ میلیون ریال در هکتار گزارش گردید (Yasini et al., 2020).

نتیجه‌گیری کلی

محاسبه شاخص‌های مختلف، برای مقایسه دو نظام آبیاری نشان داد، شاخص‌های ضریب تبدیل برای ماده آلی، امرژی ویژه برای ماده آلی، %R، EIR، ESI، *ESI، درآمد ناخالص، درآمد خالص و نسبت ورودی به خروجی در نظام آبیاری بارانی بیشتر از آبیاری غرقابی و شاخص‌های ضریب تبدیل برای عملکرد

اقتصادی، امرژی ویژه برای عملکرد اقتصادی، EYR، ELR و *ELR در نظام آبیاری غرقابی بیشتر از آبیاری بارانی بود. ارزیابی شاخص ضریب تبدیل نشان داد که نظام آبیاری بارانی به دلیل ورود امرژی کمتر و عملکرد بیشتر، از سودمندی و کارایی تولید بیشتری نسبت به آبیاری غرقابی برخوردار است. ارزیابی شاخص‌های اقتصادی نسبت عملکرد امرژی و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان داد که سطح توسعه اقتصادی در نظام آبیاری بارانی از غرقابی بیشتر است. با این وجود، کارایی استفاده از منابع اقتصادی در نظام آبیاری غرقابی بیشتر است. ارزیابی شاخص تجدیدپذیری امرژی نشان داد که وابستگی نظام آبیاری غرقابی به منابع تجدیدناپذیر به ویژه مصرف آب زیرزمینی و فرسایش خاک، بیشتر بوده و بنابراین نظام‌های آبیاری بارانی در مقایسه با غرقابی در بلندمدت پایداری بیشتری دارد.

ارزیابی شاخص نسبت بار محیطی نشان داد که وابستگی محیطی در نظام آبیاری غرقابی نسبت به بارانی بیشتر بود و سهم زیاد مصرف آب زیرزمینی (به عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر) باعث افزایش فشار محیطی و کاهش پایداری محیطی در نظام آبیاری غرقابی نسبت به نظام بارانی شد. استفاده از آبیاری بارانی موجب کاهش مصرف آب زیرزمینی و در نتیجه کاهش فشار محیطی خواهد شد. ارزیابی شاخص پایداری امرژی نشان داد که پایداری اقتصادی نظام آبیاری غرقابی کمی از آبیاری بارانی کمتر است که دلیل آن وابستگی بیشتر نظام آبیاری غرقابی به ورودی‌های اقتصادی به ویژه مصرف کود نیتروژن و استفاده از نیروی انسانی بود. به عنوان نتیجه نهایی، نظام آبیاری بارانی از لحاظ عملکرد، سودمندی تولید، نسبت درآمد به هزینه و درآمد خالص و پایداری محیطی از نظام آبیاری غرقابی مطلوب‌تر است.

References

- Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R. and Ortega, E., 2008. The use of emergy assessment and the geographical information system in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210, pp.37-57. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.007
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and AghapourSabaghi, M., 2020. Comparison of the sustainability of mechanized and traditional rapeseed production systems using an emergy-based production function: A case study in Lorestan Province, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 258(120891), pp.1-11. doi:

10.1016/j.jclepro.2020.120891

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M., 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226, pp.1051-1066. doi: **10.1016/j.jclepro.2019.04.091**

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., Azizi, Kh., Kakolvand, E. and Hassani Moghadam, E., 2021. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant. *Journal of Cleaner Production*, 292(126000), pp.1-19. doi: **10.1016/j.jclepro.2021.126000**

Asgharipour, M.R., Amiri, Z., Asgharipour, M.R. and Campbell, D.E., 2020. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling*, 424, pp.109021.

doi: **10.1016/j.ecolmodel.2020.109021**

Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I. and Ghadiri, A., 2019. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(1), pp.1-21. doi: **10.1007/s10661-018-7123-3**

Bastianoni, S., Vassallo, P., Beiso, I., Ridolfi, R. and Fabiano, M., 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators*, 7(2), pp.290-298. doi: **10.1016/j.ecolind.2006.02.003**

Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios. Center for Environmental Policy Environmental Engineering Science. University of Florida, Gainesville.

Brown, M.T. and Ulgiati, S., 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9(1-2), pp.51-69. doi: **10.1016/s0925-8574(97)00033-5**

Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178(1-2), pp.201-213. doi: **10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002**

Brown, M.T., Brandt-Williams, S., Tilley, D. and Ulgiati, S., 2000. Applications of the Emergy Methodology. *In First Biennial Emergy Analysis Research Conference*. Centre for Environmental Policy, Gainesville, FL, pp.1-14.

Buenfil, A.A., 2001. Emergy evaluation of water. University of Florida.

Campbell, D.E., Bastianoni, S., Ridolfi, R. and Pulselli, F.M., 2005. The solar transformity of petroleum fuels. *Ecological Modelling*, 220, pp.40-50. doi: **10.1016/j.ecolmodel.2008.09.003**

Campbell, D.E. and Garmestani, A.S., 2012. An energy systems view of sustainability: emergy evaluation of the San Luis Basin, Colorado. *Journal of Environmental Management*, 95(1), pp.72-97. doi: **10.1016/j.jenvman.2011.07.028**

- Cheng, H., Chen, C., Wu, S., Mirza, Z.A. and Liu, Z., 2017. Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. *Journal of Cleaner Production*, 144, pp.559-571. doi: **10.1016/j.jclepro.2016.12.053**
- Copeland, J.P., McKelvey, K.S., Landa, A. and Aubry, K.B., 2010. The bioclimatic envelope of the wolverine (*Gulogulo*): do climatic constraints limit its geographic distribution? *Canadian Journal of Zoology*, 88(3), pp.233-246. doi:**10.1139/z09-136**
- Fan, J., Mc Conkey, B.G., Janzen, H.H. and Miller, P.R., 2018. Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: a case study in semi-arid Canadian farmlands. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.428-437. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.10.200**
- Ghaley, B.B., Kehli, N. and Mentler, A., 2018. Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. *Ecological Indicators*, 87, pp.144-151. doi: **10.1016/j.ecolind.2017.12.027**
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V. and Evans, A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122, pp.113-130. doi: **10.1016/j.biocon.2004.07.018**
- Houshyar, E., Wu, X.F. and Chen, G.Q., 2018. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: an emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.2246-2255. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.11.187**
- Hu, S., Mo, X.G., Lin, Z.H. and Qiu, J.X., 2010. Emergy assessment of a wheat-maize rotation system with different water assignments in the North China Plain. *Journal of Environmental Management*, 46, pp.643-657. doi: **10.1007/s00267-010-9543-x**
- Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M. and Hadarbadi, G., 2018. Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, 193, pp.642-651. doi: **10.1016/j.jclepro.2018.05.089**
- Kohkan, Sh.A., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R. and Fakheri, B.A., 2017. Emergy evaluation of Yaghtuti grape of Sistan. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 7(2), pp.73-84. [In Persian]. doi: **10.29252/aridbiom.7.2.73**
- Lan, S.F., Qin, P. and Lu, H.F., 2002. Emergy Assessment of Ecological Systems. *Chemical Industry Press*, Beijing, China, 76, pp.406, 412. doi: **10.1016/j.chnaes.2015.06.007**
- Lefroy, E. and Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling*, 161(3), pp.195-211. doi: **10.1016/s0304-3800(02)00341-1**
- Lu, H., Bai, Y., Ren, H. and Campbell, D.E., 2010. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, 91(12), pp.2727-2735. doi: **10.1016/j.jenvman.2010.07.025**
- Lu, H.F., Cai, C.J., Zeng, X.S., Campbell, D.E., Fan, S.H. and Liu, G.L., 2018. Bamboo vs. crops: an integrated emergy and economic evaluation of using bamboo to replace crops in south Sichuan Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 177, pp.464-473. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.12.193**
- Lu, H.F., Tan, Y.W., Zhang, W.S., Qiao, Y.C., Campbell, D.E., Zhou, L. and Ren, H., 2017. Integrated emergy

- and economic evaluation of lotus-root production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary. *Journal of Cleaner Production*, 158, pp.367-379. doi: **10.1016/j.jclepro.2017.05.016**
- Martin, J.F., Diemont, S.A.W., Powell, E., Stanton, M. and Levy-Tacher, S., 2006. Emery evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 115, pp.128-140. doi: **10.1016/j.agee.2005.12.016**
- Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making. Wiley, New York.
- Odum, H.T., 2000. Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 e Emery of Global Processes. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, p. 28.
- Odum, H.T., 2007. Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century. The Hierarchy of Emery. Columbia University Press, New York.
- Pizzigallo, A.C.I., Granai, C. and Borsa, S., 2008. The joint use of LCA and emery evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management*, 86, pp.396-406. doi : **10.1016/j.jenvman.2006.04.020**
- Qureshi, M.E., Wegener, M.K., Bristow, K.L. and Harrison, S.R., 1970. Economic evaluation of alternative irrigation systems for sugarcane in the Burdekin delta in north Queensland, Australia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 48.
- Sha, Zh., Guan, F., Wang, J., Zhang, Y., Liu, H. and Wang, Ch., 2015. Evaluation of raising geese in cornfields based on emery analysis: A case study in southeastern Tibet, China. *Ecological Engineering*, 84, pp.485-491. doi: **10.1016/j.ecoleng.2015.09.025**
- Shahhoseini, H.R., Ramroudi, M. and Kazemi, H., 2020. Evaluating the resources use efficiency and sustainability indices for two potato production systems using emery analysis (Case study: Gorgan county). *Journal of Agroecology*, 12(1), pp.127-142. [In Persian]. doi: **10.22067/jag.v12i1.81189**
- Su, Y., He, Sh., Wang, K., Shahtahmassebi, A.R., Zhang, L., Zhang, J., Zhang, M. and Gan, M., 2020. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: an emery analysis with the integration of environmental. *Journal of Cleaner Production*, 252, pp.30-58. doi: **10.1016/j.jclepro.2019.119650**
- Ulgianti, S. and Brown, M.T., 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108(1-3), pp.23-36. doi:**10.1016/s0304-3800(98)00016-7**
- Ulgianti, S., Odum, H.T. and Bastianoni, S., 1993. Emery analysis of Italian agricultural system. The role of energy quality and environmental inputs. In: *Trends in ecological physical chemistry*. Elsevier Science Publishers Amsterdam, p. 187-215.
- Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J. and Xia, W., 2014. Emery analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, 128, pp.66-78. doi: **10.1016/j.agsy.2014.03.005**
- Wu, X.H., Wu, F.Q., Tong, X.G. and Jiang, B., 2013. Emery-based sustainability assessment of an integrated production system of cattle, biogas, and greenhouse vegetables: Insight into the comprehensive utilization of

wastes on a large-scale farm in Northwest China. *Ecological Engineering*, 61, pp.335-344.

doi:10.1016/j.ecoleng.2013.09.060

Yasini, H., Ghanbari, A., Asgharipour, M.R. and Seyedabadi, E., 2020. Evaluation of sustainability in wheat, onion and garlic cropping systems by joint use of emergy and economic accounting. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(2), pp.269-288. [In Persian].

Zhang, G. and Long, W., 2010. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. *Energy Policy*, 38(6), pp.2948-2955. **doi: 10.1016/j.enpol.2010.01.032**

Zhang, L.X., Song, B. and Chen, B., 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 28, pp.33-44. **doi: 10.1016/j.jclepro.2011.10.042**

Zhang, Q., Yue, D., Fang, M., Yu, Q., Huang, Y., Su, K., Ma, H. and Wang, Y., 2018. Study on sustainability of land resources in Dengkou County based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 171, pp.580-591. **doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.275**

Appendix A

Items of emergy for drip irrigation layout (sej ha⁻¹)

Initial investment in the pumping station (sej ha⁻¹): (cost, 6.50E+07) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 4.34E+15sej ha⁻¹

Initial investment in irrigation equipment (sej ha⁻¹): (cost, 22.70E+07) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 1.53E+16sej ha⁻¹

Central control system for pumping stations (sej ha⁻¹): (cost, 1.30E+07) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 8.79E+14sej ha⁻¹

Drip irrigation accessories (sej ha⁻¹): [(iron, 5.80E+04 g ha⁻¹) × (specific emergy, 3.56E+10 sej g⁻¹)] + [(Plastic, 5.20E+04 g ha⁻¹) × (specific emergy, 4.19E+09sej g⁻¹)] = 2.28E+15 sejha⁻¹

Drip irrigation tape (sej ha⁻¹): (plastic, 1.20E+05 g ha⁻¹) × (specific emergy, 3.56E+10 sej g⁻¹) = 4.27E+15 sejha⁻¹

Drip irrigation tapeinstallation cost (sej ha⁻¹): (cost, 4.0E+06) × (emRials, 6.67E+07 sej IR Rials) = 2.74E+14sej ha⁻¹

Drip irrigation layout emergy (sej ha⁻¹): ∑emergy item = 2.31E+16sej ha⁻¹

Assume a life span of 10 years, yearly emergy for drip irrigation layout: 2.31E+15 sej ha⁻¹

Appendix B

Drip irrigation system

1-Solar energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (during growth season, 5.79E+09 J m⁻²) × (1-albedo, 0.8) = 4.63E+13 J ha⁻¹

2-Wind, kinetic energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (air density, 1.3 kg m⁻³) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity × 2.9 m s⁻¹)³ × (growth season, 2.048E+7 s) = 1.33E+09 J ha⁻¹

3- Rain, chemical potential energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (rainfall, 0.028 m yr⁻¹) (density, 1,000 kg m⁻³) (Gibbs free energy, 4,740 J kg⁻¹) = 2.62E+10 J ha⁻¹

4- Rain evapotranspiration energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (transpiration, 0.025 m yr⁻¹) × (density, 1,000 kg m⁻³) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg⁻¹) = 1.19E+09 J ha⁻¹

5- Ground water energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (average quantity, 0.750 m³ m⁻²) × (conversion, 1000 kg m⁻³) × (Gibbs free energy, 4,590 J kg⁻¹) = 3.44E+10 J ha⁻¹

6- Groundwater evapotranspiration energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (transpiration, 0.732 m yr⁻¹) × (density, 1,000 kg m⁻³) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg⁻¹) = 3.47E+10 J ha⁻¹

7- SOM change: + 0.80%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg m⁻³, Soil bulk density) × (0.80%) = 33,600 kg ha⁻¹

SOM reduction energy: (33,600 kg ha⁻¹, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg⁻¹) × (4186 J kcal⁻¹) = 7.60E+11 J ha⁻¹

8- Soil erosion (J ha⁻¹):

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model to be 4.675 tones ha⁻²

Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 4.675 tones ha⁻²) × (1.0E+06 g tones⁻¹) = 4.68E+06g ha⁻¹

9- Human labor (J ha⁻¹): (Working hour, 200 h ha⁻¹) × (1.96E+06 J h⁻¹) = 3.92E+08J ha⁻¹

10- Agricultural Machinery steel (gr ha⁻¹):

Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 20 h ha⁻¹) = 7.20E07 g h ha⁻¹

Assume an economic life of 15 years, yearly work hours 540 h).

Agricultural Machinery (g ha⁻¹) = Σ (steel × work hours /economic life/yearly work hours) × hours ha⁻¹ = 5.33E+03 gr ha⁻¹

11- Fuel for machinery (J ha⁻¹): (average quantity, 12.0 kg ha⁻¹) × (conversion, 4.67E+07 J kg⁻¹) = 5.60E+08 J ha⁻¹

12- Electricity (J ha⁻¹): (average quantity, 75 kWh ha⁻¹) × (conversion, 3.6E+06 J kWh⁻¹) = 2.70E+08 J ha⁻¹

Flood irrigation system

1-Solar energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (during growth season, 5.79E+09 J m⁻²) × (1-albedo, 0.8) = 4.63E+13 J ha⁻¹

2-Wind, kinetic energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (air density, 1.3 kg m⁻³) × (drag coefficient, 0.002) × (wind velocity × 2.9 m s⁻¹)³ × (growth season, 2.048E+7 s) = 1.33E+09 J ha⁻¹

3- Rain, chemical potential energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (rainfall, 0.028 m yr⁻¹) (density, 1,000 kg m⁻³) (Gibbs free energy, 4,740 J kg⁻¹) = 2.62E+10 J ha⁻¹

4- Rain evapotranspiration energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (transpiration, 0.025 m yr⁻¹) ×

$$(\text{density, } 1,000 \text{ kg m}^{-3}) \times (\text{Gibbs free energy, } 4,740 \text{ J kg}^{-1}) = 1.19\text{E}+09 \text{ J ha}^{-1}$$

5- Ground water energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (average quantity, 1.050 m³ m⁻²) × (conversion, 1000 kg m⁻³) × (Gibbs free energy, 4,790 J kg⁻¹) = 4.98E+10 J ha⁻¹

6- Ground water evapotranspiration energy (J ha⁻¹): (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (transpiration, 0.927 m yr⁻¹) × (density, 1,000 kg m⁻³) × (Gibbs free energy, 4,740 J kg⁻¹) = 4.51E+10 J ha⁻¹

7- SOM change: +0.8%

SOM reduction weight = (area, 1 ha) × (10,000 m² ha⁻¹) × (0.3 m, soil layer) × (1400 kg m⁻³, Soil bulk density) × (1.60%) = 67,200 kg ha⁻¹

SOM reduction energy: (67,200 kg ha⁻¹, SOM reduction weight) × (5400 kcal kg⁻¹) × (4186 J kcal⁻¹) = 1.52E+12 J ha⁻¹

8- Soil erosion (J ha⁻¹):

Average soil loss from water erosion calculated by USLE model to be 6.886 tones ha⁻²

Soil erosion = (area, 1 ha) × (soil loss rate, 6.886 tones ha⁻²) × (1.0E+06 g tones⁻¹) = 6.886E+06g ha⁻¹

9- Human labor (J ha⁻¹): (Working hour, 400 h ha⁻¹) × (1.96E+06 J h⁻¹) = 7.84E+08J ha⁻¹

10- Agricultural Machinery steel (gr ha⁻¹):

Tractor: (Steel weight, 3.60E+06 g × work hours, 30 h ha⁻¹) = 1.08E08 g h ha⁻¹

Assume an economic life of 15 years, yearly work hours 540 h).

Agricultural Machinery (g ha⁻¹) = Σ (steel × work hours /economic life/yearly work hours) × hours ha⁻¹ = 8.00E+03 gr ha⁻¹

11- Fuel for machinery (J ha⁻¹): (average quantity, 64.0 kg ha⁻¹) × (conversion, 4.67E+07 J kg⁻¹) = 2.99E+09 J ha⁻¹

12- Electricity (J ha⁻¹): (average quantity, 15 kWh ha⁻¹) × (conversion, 3.6E+06 J kWh⁻¹) = 5.40E+07 J ha⁻¹

Evaluation of sustainability of two pistachio production systems under drip and flood irrigation using energy analysis technique in Qom province

Shahram Riahinia^{1*}, Mohammad Reza Asgharipour²

¹ Department of Agricultural Science and Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

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

*Corresponding Author: riahinia@pnu.ac.ir

Received: 24 November 2021

Accepted: 20 July 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.316751.1160

Abstract

Introduction: Agricultural ecosystems depend on free environmental flows such as water, wind, sunlight, soil and soil organic matter and non-free flows such as fertilizers, pesticides, electricity, fuel, mechanical equipment and other industrial products. In this context, it is useful to use biophysical methods based on thermodynamic laws such as energy analysis, exergy analysis, exergy evaluation and life cycle evaluation with regard to the contribution of environmental services and inputs in the production system based on equivalent unit. By applying the emergy approach to analyzing the sustainability of agricultural systems, we can ensure that adequate management is implemented in order to increase the sustainability of production in these systems. In this regard, by evaluating and comparing two flood and drip irrigation systems in pistachio production using the integration of emergy and economic indicators, it is possible to provide an accurate picture of the sustainability of the two pistachio irrigation systems in Qom city, so that based on the results, Solutions for the development of cultivation and stabilization of pistachio production and the optimal presence of this plant in the cultivation pattern of the region should be provided.

Materials and Methods: In the current study, two irrigation systems for pistachio fields in Qom Province, Iran, were analyzed using emergy analysis. For this study, we measured free renewable and non-renewable environmental flows, as well as non-free flows, in 2019 for two pistachio production systems that were irrigated by flood and rain. Free renewable environmental flows including sunlight, rain, wind, evaporation and transpiration and river water; Non-renewable environmental free flows including erosion and losses of soil organic matter; Non-free flows include chemical fertilizers, pesticides, herbicides, machinery, fuel, organic fertilizers, labor and electricity that originate from outside the system. The output of the system was pistachio product.

Results and Discussion: The largest free environmental input in both systems was the chemical energy of rain with $5.90E+14$ sej ha⁻¹ year⁻¹. Renewable environmental flows for both systems in this study were $6.36E+14$ sej ha⁻¹ year⁻¹. This category of input sources for flood and drip irrigation systems constituted 1.57% and 2.34% of the total inputs to each system, respectively. Consumption of underground water resources, evaporation and transpiration, loss of soil organic matter and soil erosion formed the main components of non-renewable environmental flows, whose share of the total input energy for flood and drip irrigation systems was 52.06% and 33.99%, respectively. Most of the flow of non-renewable environmental inputs in both systems was related to underground water. In general, the amount of underground water consumption, evaporation and transpiration and soil erosion was higher in flood irrigation system than drip irrigation system. The total emergy inputs for the flood and drip irrigation systems were calculated to be $4.05E+16$ and $2.72E+16$ sej ha⁻¹ year⁻¹, respectively, according to the findings. In contrast to the flood irrigation system, the drip irrigation system was more reliant on purchased supplies than on environmental inputs. Groundwater consumption accounted for 27.00% of total energy input in the flood irrigation system, while livestock manure accounted for 26.14% of total energy input in the drip irrigation system. Transformities in the flood and drip irrigation systems were $9.05E+05$ and $5.46E+05$ sej J⁻¹, respectively; emergy renewabilities were 2.43% and 3.45%; emergy yield ratios were 2.157 and 1.571; emergy investment

ratios were 0.86 and 1.75; standard environmental loading ratios were 62.76 and 41.74; and standard emergy sustainability indices were 0.034 and 0.038, respectively.

Conclusion: Despite the flood irrigation system's larger contribution of environmental resources, the high use of groundwater as a non-renewable input resulted in an increase in environmental burden. The adoption of drip irrigation will lessen environmental burden on ecosystems while also improving water use. In the current study, the drip irrigation system outperformed the flood irrigation system in terms of yield, resource efficiency, renewability, and environmental sustainability.

Keywords: Emergy investment ratio, Environmental loading ratio, Emergy sustainability index, Ground water

اثر کاربرد آبسیزیک اسید بر بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنگد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط کم آبیاری

سکینه درینی^۱، سید مهدی ناصرعلوی^{۲*}، جلال قنبری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: malavi@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.406802.1359

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱

چکیده

اثر غلظت‌های مختلف آبسیزیک اسید (۰، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار ABA) در بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب در سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (FC)، در آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در منطقه نارجوئی، جیرفت بررسی شد. نتایج نشان داد که در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار ABA منجر به تولید بیشترین تعداد کپسول رسیده و عدم کاربرد منجر به تولید بیشترین تعداد کپسول نارس در بوته شد. در شرایط اعمال سطح آبیاری ۶۰ درصد FC، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA منجر به تولید بیشترین کپسول رسیده و نارس در بوته شد. در نتیجه بالاترین تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته از شرایط مذکور حاصل شد. در مقابل، وزن هزاردانه روند متفاوتی نشان داد. در مجموع این تغییرات منجر به عدم واکنش عملکرد دانه نسبت به کاربرد سطوح مختلف ABA در شرایط مختلف آبیاری شد. اعمال کم آبیاری در این مطالعه، اثر بیشتری بر کاهش عملکرد دانه (۲۵/۶ درصد) نسبت به عملکرد زیستی (۱۰/۶ درصد) نشان داد که منجر به کاهش ۱۹ درصدی شاخص برداشت شد. هم‌چنین، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA منجر به بالاترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد. متأثر از نتایج حاصله، کاربرد همین سطح ABA به ترتیب ۲۲، ۹ و ۴۱ درصد کارایی مصرف آب را نسبت به شاهد و غلظت‌های ۱۰ و ۵۰ میکرومولار افزایش داد. در نتیجه با توجه به میزان دسترسی به آب می‌توان از سطوح مختلف آبسیزیک اسید در جهت بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید گیاه ارزشمند کنگد بهره برد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، محلول‌پاشی، هورمون گیاهی

مقدمه

داده است. هفتاد درصد از محصول کنگد جهان در آسیا کشت می‌شود (Dossa et al., 2023). طبق آخرین آمار FAO، تولید کنگد در ایران ۲۹۰۰۰ تن دانه بوده که از سطح ۴۲۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۲۱ برداشت شده است (FAOSTAT, 2021). کنگد به رغم اهمیت بالا و کیفیت قابل توجه، از حمایت بسیار اندکی از جهت علمی و سیاست‌گذاری برخوردار شده است (Dossa et al., 2017). از این رو، نیاز به تحقیق در زمینه اعمال تکنیک‌های به زراعی برای افزایش بهره‌وری به خصوص در شرایط تنش‌زای محیطی برای پاسخ مؤثر به تقاضای روزافزون، احساس می‌شود.

خشکی یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌های موجود برای محصول است که در بسیاری از نقاط جهان توجه را به خود

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخیره غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. کنگد (*Sesamum indicum* L.) از خانواده پدالیاسه^۱ و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان کشت شده توسط بشر است که به دلیل دارا بودن طعم مطبوع، ثبات و پایداری زیاد و خاصیت اکسید نشدن روغن آن، به عنوان ملکه گیاهان روغنی شناخته شده است (Islam et al., 2016). روغن کنگد به جهت دارا بودن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامولین، سسامین و سزامول، از پایداری بالایی برخوردار است (Anilakumar et al., 2010). هند بزرگترین تولیدکننده کنگد در جهان است و بیش از ۴۰ درصد از سطح زیر کشت کنگد جهان و ۲۷ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص

¹ Pedaliaceae

خشک، اهمیت پرداختن به روش‌های مختلف از جمله کاربرد هورمون‌های گیاهی در جهت بهبود عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در شرایط محدودیت آبیاری را اجتناب ناپذیر کرده است. بنابراین، اهداف مهم این تحقیق می‌تواند پیرامون موارد ذکر شده شکل گیرد.

مواد و روش‌ها

با هدف بررسی کاربرد غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کنجد در سطوح مختلف آبیاری، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۱ در منطقه نارجوئی (طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی و ارتفاع ۷۶۵ متر از سطح دریا)، شهرستان جیرفت اجرا شد. برخی پارامترهای اقلیمی محل اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. جهت ارزیابی خصوصیات مختلف فیزیکی خاک مزرعه، نمونه برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد و خصوصیات مختلف فیزیکی خاک تعیین شد. بر این اساس، وزن مخصوص ظاهری ۱/۵۴ گرم در سانتی‌متر مکعب و بافت خاک شنی-لوم (۷۹/۱ درصد شن، ۱۶/۳ درصد سیلت و ۴/۶ درصد رس) تعیین شد.

کامل تصادفی با ۸ ترکیب تیماری در سه تکرار به اجرا در آمد. سطوح آبیاری به عنوان عامل اصلی در دو سطح، شامل آبیاری نرمال براساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و سطح کم آبیاری براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مزرعه و سطوح مختلف آبسزیک اسید به عنوان عامل فرعی در چهار سطح شامل صفر (آب مقطر) و غلظت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار اعمال شد. بذور کنجد رقم هلیل از مرکز تحقیقات کشاورزی جیرفت تهیه شده و در تاریخ اول مرداد ۱۴۰۱ کشت شدند. سطح هر کرت آزمایشی سه متر مربع (ابعاد ۱/۵×۲ متر)، فواصل بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر با تراکم نهایی ۶۰ بوته در هر کرت در نظر گرفته شد. سطوح مختلف آبسزیک اسید طی دو مرحله، در زمان گل‌دهی (۵۰ روز پس از کاشت) و غلاف‌بندی (۷۰ روز پس از کاشت؛ در زمان اعمال تنش خشکی) اعمال شد. اعمال تنش خشکی براساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه در دو سطح آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و محدودیت آبیاری

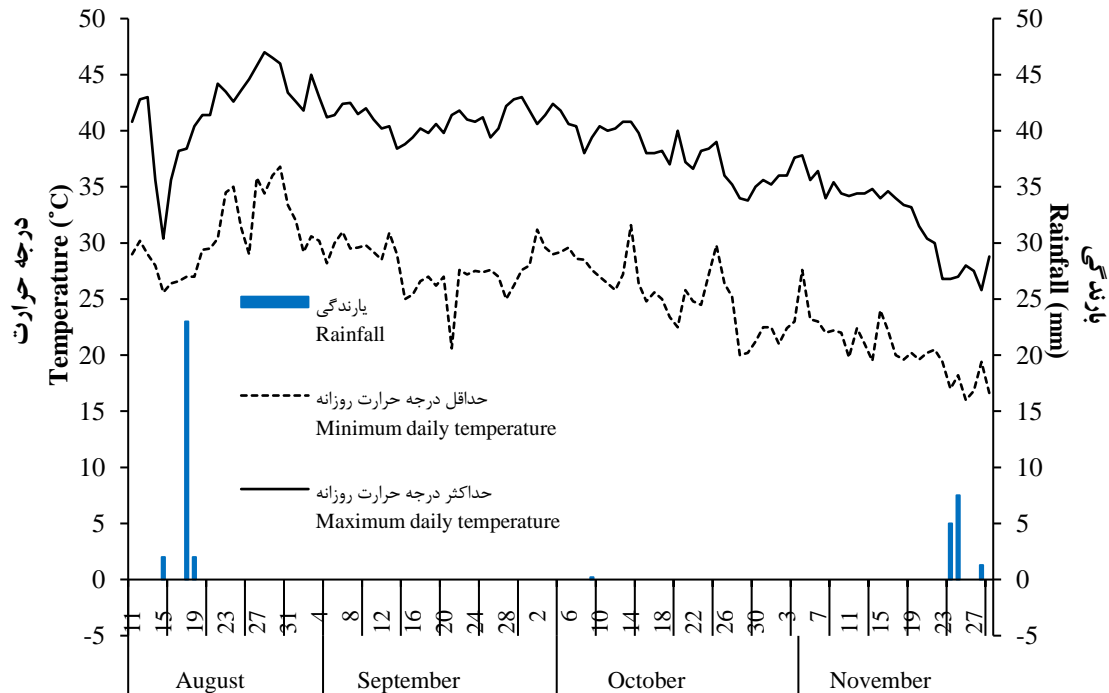
جلب کرده است. مشکلات مربوط به خشکی به دلیل تغییرات اقلیمی در حال افزایش است و در نتیجه مناطق تولید کننده با کاهش شدید عملکرد ناشی از کمبود آب یا مدیریت آن مواجه می‌شوند. در مطالعات گذشته، برخی از برنامه‌های مدیریت زراعی برای توسعه استراتژی‌هایی برای کاهش اثرات مضر خشکی بر رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه انجام شده است. بدین منظور، کاربرد خارجی هورمون‌های گیاهی مانند ABA روی برخی از گونه‌های گیاهی آزمایش شده است (Abraham *et al.*, 2008; de Souza *et al.*, 2014; Dhanarajan and Sellamuthuand, 2022; Hussain *et al.*, 2014; Ramya *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2021; Somasundaram *et al.*, 2009; Travaglia *et al.*, 2010; Vishwakarma *et al.*, 2017). آبسزیک اسید (ABA) یک هورمون گیاهی است و به عنوان تنظیم کننده بسیاری از پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شناخته شده است. به عنوان مثال، زیست‌توده گیاه، تعداد شاخه، سطح برگ، بسته شدن روزنه، پیری برگ و تنظیم اسمزی را در گیاهان مهم از جمله دانه‌های روغنی بهبود می‌دهد (Shah *et al.*, 2021). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که کاربرد ABA به صورت محلول‌پاشی، برای بهبود تحمل به خشکی در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، افزایش روابط آبی و تنظیم اسمزی بالاتر برای گیاهان مفید است (He *et al.*, 2019; Li and Liu, 2021).

همچنین گزارش شده که تیمار سه نوبت اسپری ۱۰ میکرومولار ABA بر روی شاخ و برگ کنجد طول ریشه و تعداد برگ در بوته را بهبود داده و با افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، تحمل به تنش خشکی کنجد را بهبود بخشیده است (Abraham *et al.*, 2008; Somasundaram *et al.*, 2009). به‌طور مشابه، کاربرد ABA به‌خصوص در غلظت ۷۵ میکرومولار تحت شرایط تنش خشکی، وزن صد دانه ذرت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به‌طور قابل توجهی افزایش داد (Ramya *et al.*, 2022). کاربرد محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA در سویا، تحمل به خشکی را با افزایش تجمع پروتئین آن بهبود بخشید و منجر به افزایش قابل توجه عملکرد شد (Hassanein *et al.*, 2009).

با توجه به اهمیت کنجد؛ و همچنین با توجه به شرایط محدودیت تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در مناطق نیمه

وزن خاک خشک تعیین شد. پس از محاسبه ظرفیت زراعی، مقدار رطوبتی که در دو اندازه‌گیری متوالی تقریباً ثابت بود به عنوان ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2010). بر این اساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه ۱۷ درصد تعیین شد.

(براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شد. به منظور تعیین ظرفیت زراعی خاک براساس روش صحرائی ابتدا آبیاری در حد اشباع انجام و پس از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌هایی از خاک بین فواصل ۲۴ تا ۷۲ ساعت برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. پس از تعیین وزن تر هر نمونه، به منظور خشک کردن، نمونه‌ها در آون (۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) قرار گرفت و



شکل ۱- پارامترهای مختلف اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول فصل رشد ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Figure 1- Different climatic parameters of the experimental site during the growing season of 2022-2023

عملکرد دانه و زیست‌توده، بوته‌های سطح هر کرت برداشت شده پس از قرار گرفتن در هوای آزاد و کاهش درصد رطوبت، توزین شدند. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده حاصل شد.

کارایی مصرف آب، نسبت عملکرد دانه به مقدار آب مصرفی، از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Sadeghizadeh *et al.*, 2021):

$$WUE = Y / (I + P) \quad (1)$$

WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)؛ Y: عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ I: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار؛ P: میزان بارندگی موثر بر حسب مترمکعب در هکتار در طول فصل رشد.

جهت تعیین اختلاف آماری بین تیمارهای مورد بررسی، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.0 و مقایسه

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های برنامه آبیاری براساس هر هفته یک‌بار انجام شد. وجین علف‌های هزر به صورت دستی انجام شد. پس از استقرار بوته‌ها در مرحله ۴ برگی، به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر، بوته‌های کنگد تنک شدند.

در انتهای فصل رشد (۸ آذر ۱۴۰۱) جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد از ردیف میلی‌نی هر کرت ده بوته برداشت و صفات مختلف مورفولوژیک و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شد. ارتفاع و وزن بوته‌ها در آزمایشگاه به ترتیب با استفاده از متر و ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند. سپس، تعداد شاخه، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته شمارش شدند. وزن هزار دانه از طریق تناسب بین تعداد دانه در بوته و وزن دانه‌های شمارش شده تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری

در بوته تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری در آبسزیک اسید قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین تعداد کپسول‌های رسیده (۲۹ کپسول) در شرایط نرمال آبیاری از کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار ABA حاصل شد که نسبت به شاهد ۶۴ درصد افزایش نشان داد درحالی‌که در شرایط اعمال کم آبیاری، کاربرد غلظت‌های بالای ABA با تولید ۲۴ و ۲۵ کپسول رسیده، منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار (به ترتیب ۵۰ و ۵۴ درصد) در مقایسه با شاهد شد (شکل ۲).

میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$, LSD) انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های مورفولوژیک و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، سطوح کاربرد آبسزیک اسید و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۱). تعداد کپسول رسیده، تعداد کپسول نارس و تعداد کل کپسول

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب کنگد

Table 1- Analysis of variance the effect of irrigation levels, different concentrations of abscisic acid, on morphological characteristics, yield components, seed yield, and water use efficiency of sesame

Sources of variation	df	Plant height ارتفاع بوته	Number of branches تعداد شاخه	Number of mature capsules تعداد کپسول رسیده	Number of immature capsules تعداد کپسول نارس	Number of capsules per plant تعداد کپسول در بوته	Number of seeds per capsules تعداد دانه در کپسول	Number of seeds per plant تعداد دانه در بوته	1000-seed weight وزن هزار دانه	Biological yield عملکرد زیست توده	Seed yield عملکرد دانه	Harvest index شاخص برداشت	Water use efficiency کارایی مصرف آب
تکرار	2	1988	3.69	92.3	3.61	181	63.6	502901	0.017	6738229	77891	1.31	0.032
Replication (R)													
سطح آبیاری	1	27.3 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.38 ^{ns}	194 [*]	211088 ^{ns}	1.36 ^{ns}	4001667 ^{**}	503151 [*]	59.2 ^{ns}	0.041 ^{ns}
Irrigation level (I)													
خطای a	2	5.79	0.69	31.1	0.78	32.1	2.78	71555	0.30	3229	6432	7.09	0.002
Error a													
آبسزیک اسید	3	508 ^{ns}	1.90 ^{ns}	59.9 ^{ns}	1.93 ^{ns}	46.9 ^{ns}	55.5 ^{ns}	194161 ^{ns}	1.55 [*]	24578785 ^{**}	117179 [*]	53.1 [*]	0.051 [*]
Abscisic acid (ABA)													
آبیاری × آبسزیک اسید	3	377 ^{ns}	2.48 ^{ns}	87.7 [*]	14.0 [*]	139 [*]	82.5 ^{ns}	822815 [*]	1.67 [*]	5470625 ^{ns}	21137 ^{ns}	38.4 [*]	0.011 ^{ns}
ABA × I													
خطا	12	201	2.02	19.4	2.43	30.08	71.1	177945	0.41	2767465	32856	10.1	0.014
Error													
ضریب تغییرات	-	9.98	33.6	20.7	28.9	20.6	14.4	27.0	23.6	22.7	18.4	21.5	18.5
CV (%)													

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار

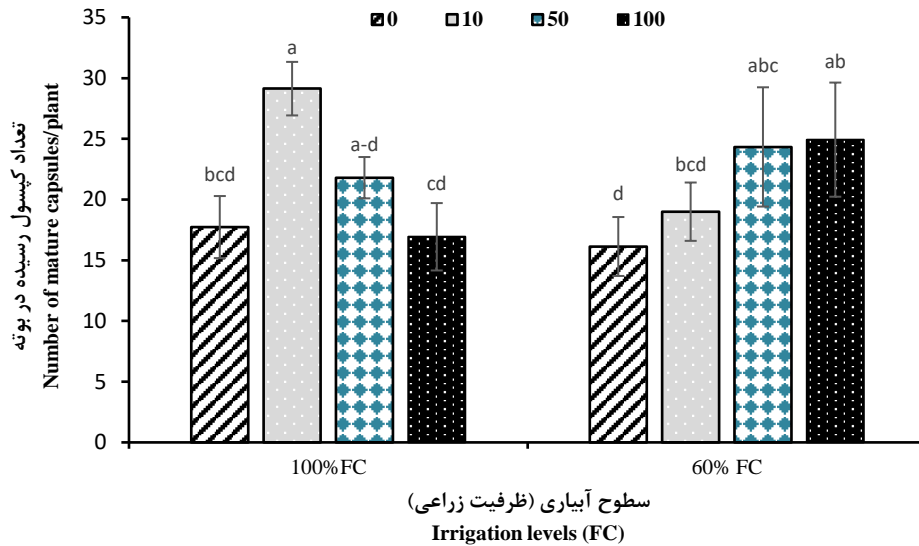
** : significant at 0.01 probability level, * : significant at 0.05 probability level, and ^{ns} : not significant

۳). این تغییرات منجر به افزایش قابل توجه در تعداد کل کپسول در بوته (۳۴ کپسول) در تیمار با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال آبیاری شد درحالی‌که، با شاهد و غلظت

در شرایط نرمال آبیاری، عدم کاربرد ABA و در شرایط کم آبیاری کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA به ترتیب با ۷/۵ و ۷/۹ کپسول، منجر به افزایش تعداد کپسول نارس شد (شکل

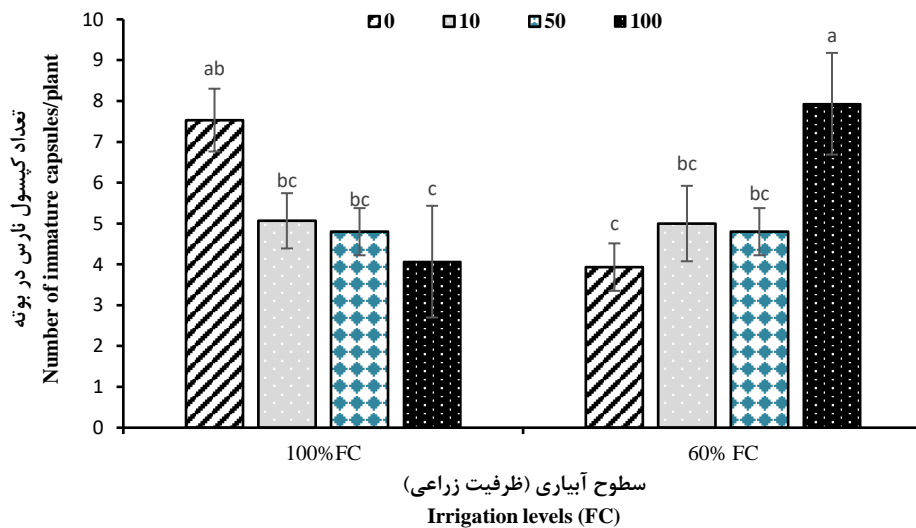
کل کپسول در بوته نسبت به شاهد (۲۰ کپسول) شد و کاربرد سایر غلظت‌ها نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۴).

۵۰ میکرومولار ABA تفاوت معنی‌داری نشان نداد اما نسبت به کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار، تعداد کپسول را ۶۳ درصد افزایش داد. در شرایط کم آبیاری، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA با تولید ۳۳ کپسول، منجر به افزایش ۶۴ درصدی تعداد



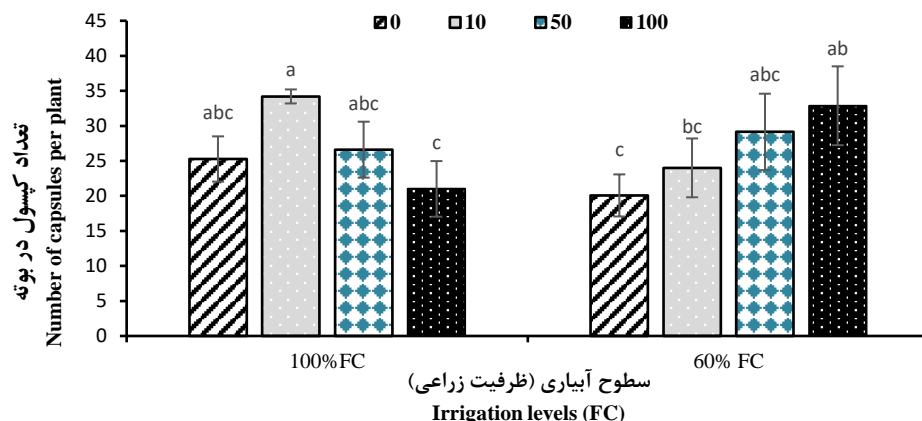
شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد کپسول رسیده در بوته کنگد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسیزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 2- Mean comparison of number of mature capsules plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد کپسول نارس در بوته کنگد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسیزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 3- Mean comparison of number of immature capsules plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.



شکل ۴- مقایسه میانگین تعداد کپسول در بوته کنجد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت 10 میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت 50 میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت 100 میکرومولار ABA.

Figure 4- Mean comparison of number of capsules plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در کپسول از سطح کم آبیاری منجر به کاهش ۹/۳ درصدی تعداد دانه در کپسول (۵۵/۸ دانه در کپسول) در مقایسه با شرایط نرمال گرفت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید بر تعداد دانه در کپسول، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب کنجد

Table 2- Mean comparison of the effect of irrigation levels and different concentrations of abscisic acid on the number of seeds per capsule, biological yield, seed yield, and water use efficiency of sesame

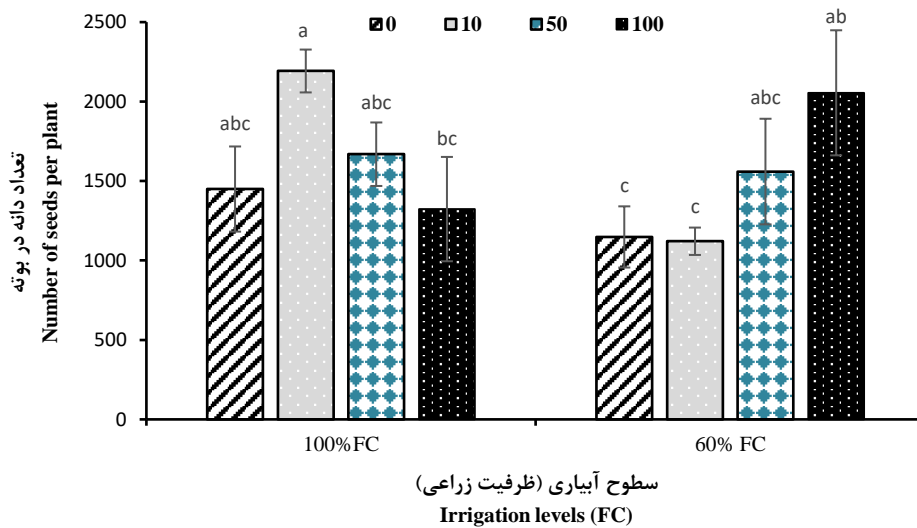
تیمارها Treatments	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsules	عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg m ⁻³)
سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی) Irrigation levels (FC)				
۱۰۰ درصد 100% FC	61.5 ^a	7723 ^a	1129 ^a	0.672 ^a
۶۰ درصد 60% FC	55.8 ^b	6906 ^b	840 ^b	0.590 ^a
سطوح آبسزیک اسید Abscisic acid levels				
صفر No application	57.5 ^a	7400 ^b	1046 ^a	0.673 ^a
۱۰ میکرومولار 10 μM	57.1 ^a	5275 ^c	942 ^{ab}	0.599 ^{ab}
۵۰ میکرومولار 50 μM	56.7 ^a	6529 ^{bc}	813 ^b	0.519 ^b
۱۰۰ میکرومولار 100 μM	63.2 ^a	10054 ^a	1138 ^a	0.733 ^a

برای هر عامل مورد بررسی، حروف مشترک بین میانگین‌ها بیانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

For each investigated factor, means with the common letters indicate no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

ABA (۱۰۰ میکرومولار) با ۲۰۵۵ دانه تعداد دانه را ۷۹ درصد نسبت به عدم کاربرد و غلظت ۱۰ میکرومولار ABA افزایش داد. به طور کلی به نظر می‌رسد کاربرد غلظت‌های بالای ABA در این مطالعه در شرایط کم آبیاری با افزایش تعداد دانه موجب ایجاد عدم تفاوت معنی‌دار با شرایط نرمال شده و در تخفیف اثرات تنش بر اجزای عملکرد مؤثر بوده است (شکل ۵).

تعداد دانه در بوته تحت تأثیر اثر متقابل سطوح آبیاری در ABA قرار گرفت (جدول ۱). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد (شکل ۵)، مشابه با نتایج مشاهده شده برای تعداد کل کپسول در بوته، در شرایط نرمال آبیاری، اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA با ۲۱۹۲ دانه نسبت به کاربرد سطح بالای ABA با ۱۳۲۳ دانه، منجر به افزایش معنی‌دار (۶۶ درصد) تعداد دانه در بوته شد در حالی که در شرایط کم آبیاری، کاربرد غلظت بالای



شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد دانه در بوته کنگد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 5- Mean comparison of number of seeds plant⁻¹ in sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

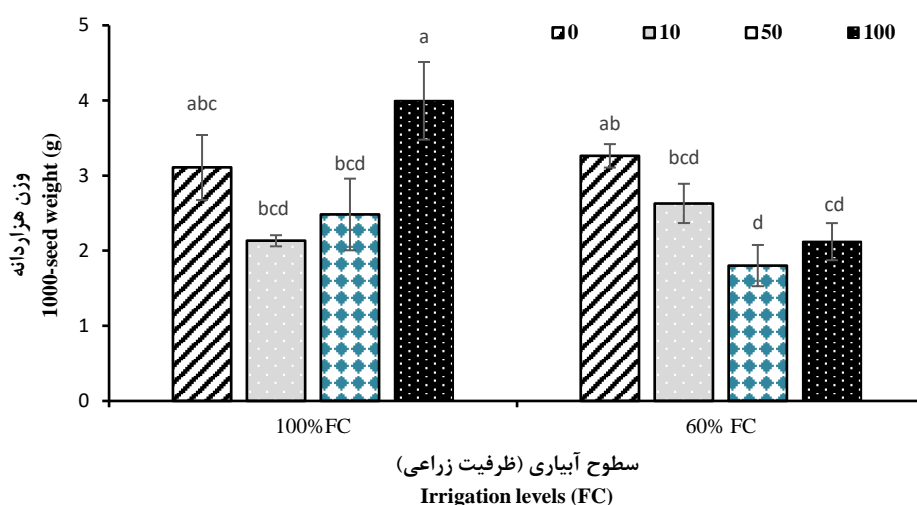
مختلف آبیاری نشان داد. به طور کلی می‌توان این مشاهدات را با توجه به عدم تأثیر سطوح ABA و اثر متقابل آن‌ها با سطوح آبیاری (جدول ۱) بر تعداد دانه در کپسول، نتیجه افزایش تعداد کپسول در بوته با کاربرد غلظت‌های مذکور در شرایط مختلف آبیاری دانست (شکل‌های ۲ تا ۴). افزایش تعداد کپسول در بوته نیز می‌تواند به دلیل افزایش قابل توجه تعداد کپسول رسیده در شرایط اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال آبیاری و افزایش معنی‌دار تعداد کپسول رسیده و نارس در شرایط کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA باشد (شکل‌های ۲ تا ۴). در تایید اثر مثبت سطوح ABA بر اجزای عملکرد، گزارش شد که ABA اثر خشکی را بسته به رقم، بر طول سنبله، تعداد دانه در سنبله گندم تخفیف داده و موجب بهبود

بر خلاف روند مشاهده شده برای سایر اجزای عملکرد، کمترین وزن هزاردانه (۲/۱۳ گرم) در شرایط نرمال آبیاری از اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA حاصل شد که با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA و شاهد (به ترتیب با ۲/۴۸ و ۳/۱ گرم) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بیشترین وزن هزاردانه با ۴ گرم در شرایط نرمال از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد. در مقابل، در شرایط کم آبیاری، بیشترین وزن هزاردانه از شاهد (۳/۲۶ گرم) و کمترین مقادیر به ترتیب با ۲/۱ و ۱/۸ گرم از کاربرد سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد (شکل ۶).

تعداد دانه در بوته به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه واکنش متفاوتی به اعمال سطوح آبسزیک اسید در شرایط

دلنه عنوان کردند (Hussain *et al.*, 2014). همچنین، کاربرد ABA در شرایط خشکی به‌طور قابل توجهی باعث افزایش تعداد دانه در پنبه (Liu *et al.*, 2004) و تعداد غلاف در سویا (Pandey *et al.*, 2003) شده و منجر به تولید دانه بالاتر در بسیاری از محصولات زراعی مانند برنج (Yang *et al.*, 2004)، سویا (Travaglia *et al.*, 2009) و گندم (Travaglia *et al.*, 2010) در شرایط تنش آبی شد.

اجزای عملکرد شده است (Bano *et al.*, 2012). علاوه بر این، گزارش شد که کاربرد خارجی ۱۰ میکرومولار ABA روی گیاهان ۴۵ روزه سویا از سقط گل‌ها جلوگیری کرده و تعداد آن‌ها را افزایش داد. به‌طور مشابه، محلول‌پاشی ABA در شرایط خشکی به‌طور قابل توجهی باعث بهبود در قطر طبق و تعداد دانه در طبق آفتابگردان شده است (He *et al.*, 2019). دلیل بهبود در تعداد دانه در طبق را تشکیل دانه بیشتر و سقط کمتر



شکل ۶- مقایسه میانگین وزن هزاردانه کنجد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول‌پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 6- Mean comparison of thousand-seed weight of sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

داد (Ramya *et al.*, 2022). به‌طور کلی، ABA توانایی جبران از دست دادن آب گیاه را از طریق بسته شدن جزئی روزنه‌ها، کاهش رشد برگ و افزایش نفوذ ریشه داراست و از این جهت در شرایط مواجهه با تنش خشکی می‌تواند خسارات وارده را تعدیل کند (Daszkowska-Golec, 2016; Hu *et al.*, 2022).

عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد غلظت‌های مختلف ABA قرار گرفتند درحالی‌که اثر متقابل معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۱). عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه به‌ترتیب با اعمال سطح کم آبیاری ۱۰/۶ و ۲۵/۶ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش نشان

روند مخالف مشاهده شده برای وزن هزاردانه با دیگر اجزا، می‌تواند نتیجه رقابت بین اجزای عملکرد باشد به‌طوری‌که افزایش در تعداد دانه در بوته می‌تواند با کاهش وزن هر دانه همراه باشد. کاربرد ABA منجر به افزایش وزن صد دانه و عملکرد دانه ذرت به‌ترتیب ۱۷/۸۶ و ۱۰/۴۵ درصد در گیاهان تحت تنش شد (de Souza *et al.*, 2014). همچنین، محلول‌پاشی ABA در هیبریدهای مختلف آفتابگردان در شرایط کم آبی باعث افزایش وزن هزاردانه شد و دلیل آن را افزایش قابلیت دسترسی به آب و در نتیجه افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی به مخزن (دانه) دانسته‌اند (Hussain *et al.*, 2014). به‌طور مشابه، کاربرد ABA به‌خصوص در غلظت ۷۵ میکرومولار تحت شرایط تنش خشکی، وزن ۱۰۰ دانه ذرت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به‌طور قابل توجهی افزایش

تنظیم اسمزی را در گیاهان مهمی از جمله دانه‌های روغنی بهبود می‌دهد (Shah et al., 2021).

عملکرد دانه کنگد نتیجه تغییر در اجزای عملکرد نظیر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه است. تنوع مشاهده شده در تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه در واکنش متفاوت به کاربرد سطوح ABA در شرایط مختلف آبیاری منجر به عدم واکنش معنی‌دار عملکرد دانه به کاربرد ABA در سطوح مختلف آبیاری شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه بین سطوح ABA از کاربرد ۱۰۰ میکرومولار و عدم کاربرد حاصل شد و با کاربرد ۱۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری نشان نداد. با این وجود، کمترین عملکرد دانه از کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA حاصل شد (جدول ۲). این مشاهدات از طرفی نتیجه افزایش قابل توجه تعداد دانه در بوته با کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار در شرایط نرمال آبیاری و با کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار در شرایط تنش و از طرف دیگر، وزن هزاردانه نسبتاً بالاتر در شرایط کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال و عدم کاربرد ABA در هر دو شرایط نرمال و کم آبیاری بود (شکل‌های ۵ و ۶). هم‌چنین بیشترین عملکرد زیست‌توده نیز از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد (جدول ۲). به نظر می‌رسد اثرگذاری ABA علاوه بر غلظت، وابسته به زمان و دفعات کاربرد و گونه گیاهی است. مشابه با نتایج حاصله، کاربرد محلول‌پاشی ۷۵ میکرومولار ABA اثر بهتری نسبت به غلظت‌های کمتر بر عملکرد دانه ذرت داشته است (Ramya et al., 2022). کاربرد محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA در سویا، تحمل به خشکی را با افزایش تجمع پرولین بهبود بخشید و منجر به افزایش قابل توجه عملکرد شد (Hassanein et al., 2009). هم‌چنین، مشاهده شده که سه تیمار محلول‌پاشی ۱۰ میکرومولار ABA با فاصله ۱۰ روز بر شاخ و برگ کنگد به‌طور قابل توجهی طول ریشه و تعداد برگ در بوته را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Abraham et al., 2008). در مطالعه دیگری، گزارش شد که دو نوبت محلول‌پاشی ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر ABA روی نهال‌های سویا در مرحله رویشی و گل‌دهی، وزن خشک آن را ۲۶/۳۸ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید (Travaglia et al., 2009). علاوه بر این، گزارش شده که دو نوبت اسپری ۸ میکرومولار ABA در مرحله

دادند. همان‌طور که مشاهده شد، اثر اعمال کم آبیاری بر عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیست‌توده بود. با توجه به زمان اعمال کم آبیاری به‌نظر می‌رسد که خصوصیات رشد مؤثر بر زیست‌توده شامل ارتفاع بوته و تعداد شاخه تحت تأثیر کم آبیاری قرار نگرفتند (جدول ۱). اثر شدید کم آبیاری بر عملکرد دانه مربوط به اثر آن بر اجزای عملکرد به خصوص تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه (به‌طور میانگین به‌ترتیب ۱۱ و ۱۶ درصد) بود (شکل‌های ۵ و ۶). در تایید نتایج مشاهده شده بر کاهش عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده کنگد در این مطالعه، زیست‌توده گیاه ذرت از نظر وزن تر در گیاهان تحت تنش خشکی کاهش یافته که عمدتاً به دلیل کاهش در رشد و اجزای عملکرد دانه بوده است (Ramya et al., 2022). محدودیت مصرف آب در آفتابگردان در زمان خوشه‌دهی و شروع گل‌دهی باعث کاهش عملکرد دانه شد و کاهش بیشتر در عملکرد آفتابگردان زمانی رخ داد که خشکی در شروع گل‌دهی اعمال شد. این کاهش در عملکرد دانه هیبریدهای آفتابگردان در شرایط خشکی به دلیل کاهش قطر طبق، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه رخ داد (Hussain et al., 2014) که با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌خوانی داشت.

در بین سطوح کاربرد ABA بیشترین عملکرد زیست‌توده با ۱۰۰۵۴ کیلوگرم در هکتار از اعمال غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد. بین کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA و شاهد (به‌ترتیب با ۶۵۲۹ و ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA به‌طور معنی‌داری (۴۷/۵ درصد) عملکرد زیست‌توده را نسبت به سطح ۱۰۰ میکرومولار کاهش داد (جدول ۲). به‌طور مشابه، بیشترین عملکرد دانه با ۱۱۳۸ کیلوگرم در هکتار از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد و غلظت ۱۰ میکرومولار ABA (به‌ترتیب با ۹۴۲ و ۱۰۴۶ کیلوگرم در هکتار) نشان نداد اما با کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA (۸۱۳ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲).

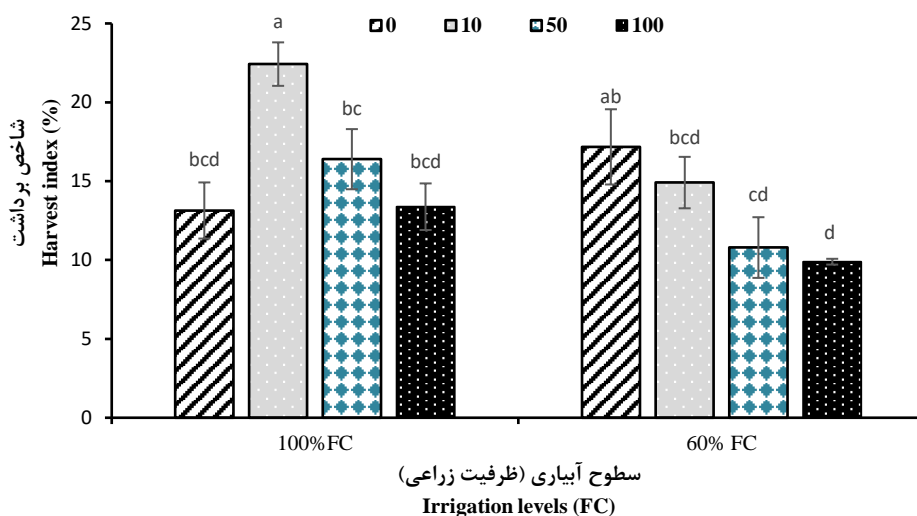
آبسیزیک اسید (ABA) هورمون گیاهی است و به عنوان تنظیم‌کننده بسیاری از پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شناخته شده است. به عنوان مثال، زیست‌توده گیاه، تعداد شاخه، سطح برگ، بسته شدن روزنه، پیری برگ و

کاهش یافت (شکل ۷).

به‌طور کلی اعمال تنش در شرایط کاربرد ABA شاخص برداشت را نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش داد. این می‌تواند به دلیل زمان اعمال کم‌آبیاری باشد که در این زمان، کم‌آبیاری می‌تواند اثر مخرب‌تری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی در گیاه کنجد داشته باشد. همان‌طور که در نتایج نشان داده شد، عملکرد زیست‌توده با اعمال سطح کم‌آبیاری ۱۰/۶ درصد و عملکرد دانه ۲۵/۶ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش نشان دادند (جدول ۲). براساس نتایج مشاهده شده، بیشترین شاخص برداشت از اعمال غلظت ۱۰ میکرومولار ABA در شرایط نرمال آبیاری حاصل شد که با عدم کاربرد ABA در شرایط کم‌آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۷). این مشاهدات به دلیل اثر قابل توجه غلظت ۱۰ میکرومولار ABA و همچنین عدم کاربرد ABA در افزایش عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی بود (جدول ۲).

شروع جوانه و گل‌دهی آفتابگردان باعث بهبود رشد آن شد (Hussain *et al.*, 2014). علاوه بر این، گزارش شده که تیمار قبل از کاشت دانه کنجد با ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ABA باعث بهبود وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد شد (Safari *et al.*, 2018). همچنین گزارش شده که تیمار سه نوبت اسپری ۱۰ میکرومولار ABA بر روی شاخ و برگ کنجد با افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، تحمل به تنش خشکی کنجد را بهبود بخشیده است (Somasundaram *et al.*, 2009).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان از اثر معنی‌دار کاربرد سطوح ABA و اثر متقابل آن در سطوح مختلف آبیاری بر شاخص برداشت کنجد داشت. در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد غلظت ۱۰ میکرومولار ABA منجر به بیشترین شاخص برداشت با ۲۲/۴ درصد شد که نسبت به سایر سطوح کاربرد، افزایش معنی‌داری نشان داد. در شرایط کم‌آبیاری، شاخص برداشت به ترتیب با افزایش غلظت کاربرد ABA، ۱۳، ۳۷ و ۴۲ درصد در مقایسه با شاهد (با شاخص برداشت ۱۷ درصد)



شکل ۷- مقایسه میانگین شاخص برداشت کنجد تحت تأثیر برهکنش سطوح آبیاری و محلول پاشی با غلظت‌های مختلف آبسزیک اسید (ABA). 0: شاهد، 10: محلول پاشی با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA؛ 50: محلول پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار ABA؛ و 100: محلول پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA.

Figure 7- Mean comparison of harvest index of sesame affected by interaction effect of irrigation levels and foliar application of different abscisic acid (ABA) concentrations. 0: control, 10: foliar application with 10 μM ABA concentration; 50: foliar application with 50 μM ABA concentration; and 100: foliar application with 100 μM ABA concentration.

تغییرات مشاهده شده برای عملکرد دانه، بیشترین کارایی مصرف آب (۰/۷۳۳) کیلوگرم بر متر مکعب) از کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA حاصل شد و تفاوت معنی‌داری با شاهد

کارایی مصرف آب

نتایج همچنین بیانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف کاربرد ABA بر کارایی مصرف آب کنجد بود (جدول ۱). مشابه با

شدن خاک به دلیل بسته شدن روزنه را کاهش می‌دهد (He et al., 2019; Li and Liu, 2021).

علاوه بر این، مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که پتانسیل آب برگ شاخصی مؤثر برای وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است و نشان‌دهنده تغییرات ناشی از آب در تولید و بهره‌وری گیاه است (Chastain et al., 2016). پتانسیل آب کمتر از حد مطلوب در نهایت منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد خواهد شد. این اثر بهبود دهنده ناشی از کاربرد ABA در پنبه (Hu et al., 2022)، گندم (Travaglia et al., 2010) و آفتابگردان (Hussain et al., 2014) گزارش شده است. این افزایش عملکرد در تیمار با ABA ممکن است به دلیل افزایش بافت آبکش و در نتیجه ظرفیت انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها و ساقه‌ها به دانه‌ها باشد (Travaglia et al., 2012). علاوه بر این، کاربرد ABA در برگ‌های ذرت منجر به افزایش میزان فتوسنتز شده (Corrêa de Souza et al., 2013) و بهبود وضعیت آبی و دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش دوره پر شدن دانه را به همراه دارد (de Souza et al., 2014). این بهبود در عملکرد دانه ممکن است به دلیل تولدانی ABA در تنظیم دست دادن آب در گیاه از طریق بسته شدن ناقص روزنه‌ها، افزایش نفوذ ریشه و راندمان جذب آب باشد که در نهایت باعث افزایش انتقال مواد جذب شده به دانه‌ها می‌شود. این استفاده کارآمدتر با کاربرد ABA منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Hussain et al., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که اجزای عملکرد دانه کنگد واکنش متفاوتی به سطوح ABA نشان دادند. در حالی که در شرایط نرمال آبیاری بیشترین تعداد کپسول و دانه در تیمار با غلظت ۱۰ میکرومولار ABA حاصل شد، تحت شرایط کم آبیاری، کاربرد غلظت‌های بالای ABA توانست در افزایش این اجزا مؤثر واقع شود. در مقابل، وزن هزاردانه روند متفاوتی نشان داد. در مجموع این تغییرات منجر به عدم واکنش عملکرد دانه نسبت به کاربرد سطوح مختلف ABA در شرایط مختلف آبیاری شد. اعمال کم آبیاری در این مطالعه، اثر بیشتری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیست‌توده نشان داد که منجر به کاهش شاخص برداشت شد. در نتیجه افزایش تعداد دانه در

و غلظت ۱۰ میکرومولار ABA نشان‌داد در حالی که کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار ABA (۰/۵۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب)، ۴۱ درصد کارایی مصرف آب را کاهش داد (جدول ۲).

در مطالعات گذشته، برخی از برنامه‌های مدیریت زراعی از جمله محلول‌پاشی ABA برای کاهش اثرات مضر خشکی بر رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه انجام شده است (Abraham et al., 2008; de Souza et al., 2014; Dhanarajan and Sellamuthuand, 2022; Hussain et al., 2014; Ramya et al., 2022; Shah et al., 2021; Somasundaram et al., 2009; Travaglia et al., 2010; Vishwakarma et al., 2017). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که کاربرد ABA به صورت محلول‌پاشی، برای بهبود تحمل به خشکی در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، افزایش روابط آبی و تنظیم اسمزی برای گیاهان مفید است (He et al., 2019; Li and Liu, 2021). تغییرات در کارایی مصرف آب کنگد در این مطالعه در اثر کاربرد غلظت‌های مختلف ABA، مشابه با تغییرات در عملکرد دانه بود که نشان می‌دهد تغییر در عملکرد دانه نسبت به میزان آب مصرفی آبیاری، عامل اثرگذارتری بر کارایی مصرف آب کنگد بوده است (جدول ۲). هم‌چنین کارایی مصرف آب تحت تأثیر سطوح آبیاری در این مطالعه قرار نگرفت (جدول ۱) که بیانگر این است که با وجود کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبیاری، کاهش مصرف آب در این تیمار منجر به عدم تفاوت معنی‌دار کارایی مصرف آب بین سطوح آبیاری شده است (جدول ۲). در تایید این نتایج، افزایش قابل توجهی در کارایی مصرف آب با کاربرد خارجی ABA در شرایط آبیاری نرمال و تنش متوسط در سویا گزارش شده است (He et al., 2019).

آبسیزیک اسید به دلیل دخالت آن در فرآیندهای مختلف رشد گیاه، سازگاری با شرایط خشکی را ممکن می‌سازد. ABA موجب بسته شدن روزنه شده و در نتیجه با کاهش میزان تعرق، تلفات آب را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، ABA به تدریج هدایت هیدرولیکی را افزایش می‌دهد و باعث افزایش طول سلول ریشه می‌شود و قابلیت بازیابی گیاهان را در شرایط محدودیت آب فراهم می‌کند (Daszkowska-Golec, 2016) و می‌تواند در بهبود کارایی مصرف آب مؤثر واقع شود. گزارش شده است که کاربرد ABA به صورت محلول‌پاشی با استفاده کارآمدتر از آب از هدررفت آب جلوگیری کرده و سرعت خشک

عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید گیاه کنجد بهره برد.

بوته و وزن هزاردانه، کاربرد غلظت ۱۰۰ میکرومولار ABA منجر به بالاترین عملکرد دانه و همچنین عملکرد زیستی شد. متأثر از نتایج حاصله، کارایی مصرف آب بالاتری برای همین سطح ABA مشاهده شد. در نتیجه با توجه به میزان دسترسی به آب می‌توان از سطوح مختلف آبسزیک اسید در جهت بهبود

تعارض منافع

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

References

- Abraham, S.S., Jaleel, C.A., Chang-Xing, Z., Somasundaram, R., Azooz, M.M., Manivannan, P. and Panneerselvam, R., 2008. Regulation of growth and metabolism by paclobutrazol and ABA in *Sesamum indicum* L. under drought condition. *Global Journal of Molecular Sciences*, 3(2), pp.57–66.
- Alizadeh, A., 2010. Soil, water, plant relationship. Emam Reza university press. Mashhad, Iran. 616 p [In Persian].
- Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F. and Bawa, A.S., 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds-an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 75(4), pp.159–168.
- Bano, A., Ullah, F. and Nosheen, A., 2012. Role of abscisic acid and drought stress on the activities of antioxidant enzymes in wheat. *Plant, Soil and Environment*, 58(4), pp.181–185. doi: 10.17221/210/2011-pse
- Chastain, D.R., Snider, J.L., Choinski, J.S., Collins, G.D., Perry, C.D., Whitaker, J., ... Byrd, S.A., 2016. Leaf ontogeny strongly influences photosynthetic tolerance to drought and high temperature in *Gossypium hirsutum*. *Journal of Plant Physiology*, 199, pp.18–28. doi: 10.1016/j.jplph.2016.05.003
- Corrêa de Souza, T., Magalhães, P.C., Mauro de Castro, E., Pereira de Albuquerque, P.E. and Marabesi, M.A., 2013. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, pp.515–527. doi: 10.1007/s11738-012-1093-9
- Daszkowska-Golec, A., 2016. The role of abscisic acid in drought stress: how ABA helps plants to cope with drought stress. *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 2, Molecular and Genetic Perspectives*, 123–151. doi: 10.1007/978-3-319-32423-4_5
- De Souza, T.C., Magalhães, P.C., de Castro, E.M., Carneiro, N.P., Padilha, F.A. and Júnior, C.C.G., 2014. ABA application to maize hybrids contrasting for drought tolerance: changes in water parameters and in antioxidant enzyme activity. *Plant Growth Regulation*, 73(3), pp.205–217. doi: 10.1007/s10725-013-9881-9
- Dhanarajan, R. and Sellamuthuand, A., 2022. Effect of exogenous abscisic acid on growth, biochemical changes and antioxidant enzyme activities in black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper] under drought. *Research Journal of Biotechnology*, 17, 4. doi: 10.25303/1704rjbt4957
- Dossa, K., Diouf, D., Wang, L., Wei, X., Zhang, Y., Niang, M., ... Cisse, N., 2017. The Emerging Oilseed Crop *Sesamum indicum* Enters the “Omics” Era. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1154. doi: 10.3389/fpls.2017.01154
- Dossa, K.F., Enete, A.A., Miassi, Y.E. and Omotayo, A.O., 2023. Economic analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) production in Northern Benin. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1015122. doi: 10.3389/fsufs.2022.1015122

- FAOSTAT, 2021. *Production—Crops and Livestock Products*. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>.
- Hassanein, R.A., Hassanein, A.A., El-din, A.B., Salama, M. and Hashem, H.A., 2009. Role of jasmonic acid and abscisic acid treatments in alleviating the adverse effects of drought stress and regulating trypsin inhibitor production in soybean plant. *Aust J Basic Appl Sci*, 3(2), pp.904–919.
- He, J., Jin, Y., Palta, J.A., Liu, H.-Y., Chen, Z. and Li, F.-M., 2019. Exogenous ABA induces osmotic adjustment, improves leaf water relations and water use efficiency, but not yield in soybean under water stress. *Agronomy*, 9(7), 395. doi: **10.3390/agronomy9070395**
- Hu, W., Zhang, J., Wu, Z., Loka, D.A., Zhao, W., Chen, B., ... Gao, L., 2022. Effects of single and combined exogenous application of abscisic acid and melatonin on cotton carbohydrate metabolism and yield under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 176, 114302. doi: **10.1016/j.indcrop.2021.114302**
- Hussain, S., Iqbal, J., Ibrahim, M., Atta, S., Ahmed, T. and Saleem, M.F., 2014. Exogenous application of abscisic acid may improve the growth and yield of sunflower hybrids under drought. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(1), pp.49–58.
- Islam, F., Gill, R. A., Ali, B., Farooq, M. A., Xu, L., Najeeb, U. and Zhou, W., 2016. Sesame. In: S.K. Gupta (Ed.), *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production* (pp. 135–147). San Diego: Academic Press.
- Li, S. and Liu, F., 2021. Exogenous Abscisic Acid Priming Modulates Water Relation Responses of Two Tomato Genotypes With Contrasting Endogenous Abscisic Acid Levels to Progressive Soil Drying Under Elevated CO₂. *Frontiers in Plant Science*, 12, 733658. doi: **10.3389/fpls.2021.733658**
- Liu, F., Jensen, C.R. and Andersen, M.N., 2004. Pod set related to photosynthetic rate and endogenous ABA in soybeans subjected to different water regimes and exogenous ABA and BA at early reproductive stages. *Annals of Botany*, 94(3), pp.405–411. doi: **10.1093/aob/mch157**
- Pandey, D.M., Goswami, C.L. and Kumar, B., 2003. Physiological effects of plant hormones in cotton under drought. *Biologia Plantarum*, 47, pp.535–540. doi: **10.1023/b:biop.0000041058.65442.41**
- Ramya, S., Arulbalachandran, D. and Ramachandran, M., 2022. Influence of exogenous abscisic acid on morpho-physiological and yield of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Plant Science Today*, 9(2), pp.288–300.
- Sadeghizadeh, H., Khajoei-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. *Irrigation and Water Engineering*, 11(3), pp.345-359. [In Persian]. doi:**10.22125/iwe.2021.128214**
- Safari, H., Hosseini, S.M., Azari, A. and Rafsanjani, M.H., 2018. Effects of seed priming with ABA and SA on seed germination and seedling growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) under saline condition. *Australian Journal of Crop Science*, 12(9), pp.1385–1392. doi: **10.21475/ajcs.18.12.09.pne940**
- Shah, S.H., Islam, S., Parrey, Z.A. and Mohammad, F., 2021. Role of Exogenously Applied Plant Growth Regulators in Growth and Development of Edible Oilseed Crops Under Variable Environmental Conditions: a Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), pp.3284–3308. doi:**10.1007/s42729-021-00606-w**
- Somasundaram, R., Jaleel, C.A., Abraham, S.S., Azooz, M.M. and Panneerselvam, R., 2009. Role of paclobutrazol

- and ABA in drought stress amelioration in *Sesamum indicum* L. *Global Journal of Molecular Sciences*, 4(2), pp.56–62.
- Travaglia, C., Balboa, G., Espósito, G. and Reinoso, H., 2012. ABA action on the production and redistribution of field-grown maize carbohydrates in semiarid regions. *Plant Growth Regulation*, 67, pp.27–34. doi: **10.1007/s10725-012-9657-7**
- Travaglia, C., Reinoso, H. and Bottini, R., 2009. Application of abscisic acid promotes yield in field-cultured soybean by enhancing production of carbohydrates and their allocation in seed. *Crop and Pasture Science*, 60(12), pp.1131–1136. doi: **10.1071/cp08396**
- Travaglia, C., Reinoso, H., Cohen, A., Luna, C., Tommasino, E., Castillo, C. and Bottini, R., 2010. Exogenous ABA increases yield in field-grown wheat with moderate water restriction. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, pp.366–374. doi: **10.1007/s00344-010-9147-y**
- Vishwakarma, K., Upadhyay, N., Kumar, N., Yadav, G., Singh, J., Mishra, R.K., ... Sharma, S., 2017. Abscisic Acid Signaling and Abiotic Stress Tolerance in Plants: A Review on Current Knowledge and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*, 8, 161. doi: **10.3389/fpls.2017.00161**
- Yang, J.C., Zhang, J.H., Ye, Y.X., Wang, Z.Q., Zhu, Q.S. and Liu, L.J., 2004. Involvement of abscisic acid and ethylene in the responses of rice grains to water stress during filling. *Plant, Cell & Environment*, 27(8), pp.1055–1064. doi: **10.1111/j.1365-3040.2004.01210.x**

The effect of abscisic acid application on improving yield, yield components, and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) under water-limited conditions

Sakineh Darini¹, Seyed Mehdi Naser Alavi^{2*}, Jalal Ghanbari^{2,3}

¹ M.Sc Graduate in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³ Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: malavi@uk.ac.ir

Received: 12 July 2023

Accepted: 30 September 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.406802.1359

Abstract

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an important oilseed crop belonging to the Pedaliaceae family, treasured in different food and cosmetics industries. Sesame as a rich source of protein, carbohydrates, minerals, and various antioxidants, is widely cultivated throughout Africa and Asia. The Sesame plant is well adapted to harsh environments. Adverse environmental conditions, such as drought stress, have severely limited plant growth and reduced plant yield. Some crop management programs have been conducted to develop strategies to mitigate the harmful effects of drought on plant growth, physiology, and yield. To this end, the exogenous application of plant hormones such as abscisic acid (ABA) has been applied to some species. Therefore, this study aimed to investigate the effect of foliar application of different abscisic acid concentrations to improve morphological characteristics, yield components, biomass production, seed yield, and water use efficiency (WUE) of sesame under water-limited conditions.

Materials and Methods: A field experiment with the aim of evaluating the effect of different abscisic acid (ABA) concentrations (0: distilled water application, 10: foliar application of 10 μ M ABA; 50: foliar application of 50 μ M ABA; 100: foliar application of 100 μ M ABA), under different irrigation regimes (normal: 100% field capacity (FC), and water-limited condition: 60% FC) was conducted as at Narju region, Jiroft, Iran, during the growing season of 2022-2023. The experimental design was a randomized block design in a split plot scheme with eight treatments replicated three times. Sesame seeds were prepared from the Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Jiroft and were sown on July 23, 2022. After establishment, the plants were thinned to obtain a final density of 60 plants per 3 m² plot. The plants were treated with ABA at different concentrations two times. Different concentrations of ABA were applied 50 (first time) and 70 days (second time; at the time of stress imposition) after sowing. At the end of the growing season (November 29, 2022), 10 plants were harvested from each plot and various traits including plant height, number of branches, number of mature, immature, and total capsules per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, biomass production, and seed yield were measured. Harvest index (HI) and WUE were also calculated.

Results and Discussion: The results showed that under normal irrigation conditions, the application of 10 μ M ABA concentration led to producing the highest number of mature capsules per plant, while no application of ABA resulted in the highest number of immature capsules per plant. In the conditions of application of irrigation level of 60% FC, the application of 100 μ M ABA concentration with 25 and 8 capsules, respectively led to the production of more mature and immature capsules per plant. As a result, the highest number of capsules per plant (33 capsules) and the number of seeds per plant (2055 seeds) were obtained from the mentioned conditions. On the other hand, the thousand seed weight showed a different trend. In total, such variations observed led to the insignificant

response of seed yield to the application of different ABA levels to different irrigation conditions. Applying limited irrigation in this study showed a greater effect on the reduction of seed yield (25.6%) compared to the biological yield (10.6%), which led to a decrease in harvest index by 19%. As a result of increasing the number of seeds per plant and 1000-seed weight, the application of 100 μM ABA concentration resulted in the highest seed yield (1138 kg ha^{-1}) and biomass production (10054 kg ha^{-1}). Influenced by such results, increased water use efficiency by 9, 22, and 41% was observed for the 100 μM ABA level compared with the control and 10 and 50 μM ABA concentrations, respectively. **Conclusion:** In conclusion, the integration of different ABA concentrations with different irrigation management could be considered an effective strategy to improve the growth, yield, and water use efficiency, and alleviates the adverse effects of drought stress on sesame plants.

Keywords: Drought stress, Foliar application, Phytohormone, Water productivity

Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 6, No. 1, Spring 2024

Publisher: University of Zabol

Editor-in-Chief: Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Managing Editor: Dr. Esmaeel Seyedabadi, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Editorial Board:

Dr. Seyyed Jalal Tabatabaei, Professor, Department of Horticultural, University of Shahed

Dr. Naser Majnoon Hoseini, Professor, Department of Agricultural Science, University of Tehran

Dr. Mohammad Reza Shakiba, Professor, Department of Plant Ecophysiology, University of Tabriz

Dr. Seyyed Mohsen Mousavi Nik, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Mohammad Sedghi, Professor, Department of Agronomy, University of Ardabil

Dr. Khosro Azizi, Professor, Department of Agronomy, Lorestan University

Dr. Abdol Ali Ghafari, Associate Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI)

Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Behnam Kamkar, Professor, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad

Dr. Reza Sadrabadi Haghighi, Professor, Department of Agronomy Islamic Azad University of Mashhad

Dr. Mahmoud Ramroodi, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Mehdi Dahmardeh, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

International Advisory Board:

Dr. Aria Dolatabadian, Assistant Professor, University of Western Australia, Australia

Dr. Howard Charles Lee, University of Hadlow College, England

Dr. Amit Kesarwani, Assistant Professor, University of Pantnagar, India

Dr. Shahzad maqsood Ahmed Basra, Professor, University of Agricultural, Faisalabad, Pakistan

Dr. Murat Tunçtürk, Professor, University of Van Yüzüncü Yıl, Turkey

Assistant Editors: Dr. Esmaeel Seyedabadi, Dr. Abbas Nasiri Dehsorkhi

Typesetting: Fatemeh Fathi

Address: Journals office, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Bonjar Road, Zabol, Iran, 9861335856.

Tel: +98(54)31232102, **Fax:** +98(54)31232100

Email: csraa@uoz.ac.ir, csraa.uoz1@gmail.com

URL: www.cropsscience.uoz.ac.ir

Evaluation of morphological traits of leaf and fruit in *Ziziphus mauritiana* L. genotypes in southern Iran 187

Naser Mirzaei; Leila Fahmide; Bahman Fazeli-Nasab

Evaluation of sustainability of two pistachio production systems under drip and flood irrigation using energy analysis technique in Qom province 203

Shahram Riahinia; Mohammad Reza Asgharipour

The effect of abscisic acid application on improving yield, yield components, and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) under water-limited conditions 229

Sakineh Darini; Seyed Mehdi Naser Alavi; Jalal Ghanbari



- Effect of different level of nitrogen and phosphorus fertilizers on morphophysiological characteristics, productivity and forage quality of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under water shortage** 1
Hamed Hasanzadeh; Mohamadreza Salehi Salmi; Mohamadhosein Daneshvar; Payam Pourmohamadi
- Identification of yield-reducing factors using Comparative Performance Analysis (CPA) method in wheat fields (case study: Abarkoh)** 17
Amin Anaghali; Majid Nikkhah; Zohre Omidvari
- Evaluation of limited irrigation effects on essential oil constituents and antioxidant activities of the medicinal plant *S. abrotanoides*** 33
Mahvash Afshari; Mehdi Rahimmalek; Mohammad R. Sabzalian
- Investigating some morphological traits and yield of soybean under deficit irrigation and foliar application of amino acids** 51
Zohre Behroshan; Hossein Zahedi; Akbar Alipour; Younes Sharghi; Azita Zand
- Evaluation of distribution pattern of medicinal plant *Scophularia striata* Boiss and species diversity in different altitudes Siahkouh region of Dehloran** 69
Fateme Bidarnamani; Zaynab Mohkami; Bahman Fazeli -Nasab; Mohammad-ali Karimian
- Evaluation of sunflower seed yield and soil properties under the influence of chemical and manure fertilizers and different tillage methods** 85
Siavash Aryafar; Alireza Sirousmehr; Issa khammari; Seyed Ahmad Ghanbari; Esmaeel Seyedabadi
- Estimation of open field burned area using remote sensing and geographic information system (case study: Sarpol Zahab county)** 107
Soheila Asadi; Alireza Bagheri; Arash Azari
- Evaluation of some *Phalaris aquatica* genotypes based on agronomic traits** 121
Mohammad-Hossein Jafarpour; Alireza Pourmohammad; Reza Mohammadi
- Genetic analysis of some agronomic characteristics of safflower using mean analysis of generations under drought stress** 135
Seyedah Esmat Hashemi Fadaki; Nafiseh Mahdinezhad; Ghasem Mohammadi nejad; Fatemeh Ebrahimi; Barat Ali Fakheri
- The effect of foliar application of nano and non-nano zinc oxide particles on some physiological traits and forage yield of sorghum under water deficit stress** 149
Masome Khaleghdoost; Hassan Makarian; Hamid Abbasdokht; Mehdi Baradaran Firouzabadi
- Influence of mycorrhiza, vermicompost, and effective microorganisms (EMs) on nutrient use efficiency and yield of sesame** 169
Malihe Saeidi; Gholamreza Khajoei -Nejad; Enayatollah Tohidi-Nejad; Jalal Ghanbari

The list is continued on the back cover.....