



تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

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

جلد پنجم، شماره سوم، زمستان ۱۴۰۲

- ۵۳۹ بررسی تأثیر کود شیمیایی و زیستی بر غلظت عناصر غذایی ریشه، ساقه و دانه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی
محمد میرزائی حیدری؛ امین فتحی؛ رقیه آتش پیکر
- ۵۵۵ اثر محلول پاشی بنزیل آمینو پورین و پیکس بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد پنبه در کشت نشایی دیر هنگام
داریوش سعادت؛ متین جامی معینی؛ محمد آرمین
- ۵۷۵ اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود دامی بر برخی از خصوصیات رشدی گیاه بومادران (*Achillea millefolium* L.) در شرایط اقلیمی کرمانشاه
مریم دارابی؛ فرزاد مندنی؛ معصومه عامریان
- ۵۹۱ مطالعه واکنش برخی از ژنوتیپ‌های کنجد به تنش خشکی در شرایط آب و هوایی مهران
زهره طهماسبی؛ حسین محمدی دهبالایی؛ مریم محمودی
- ۶۰۵ بررسی کلات‌کننده‌های EDTA و PEOA جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم توسط گیاه دارویی موراله (*Chenopodium album* L.)
محدثه جهانتیغ؛ مهدی دهمرده؛ احمد غلامعلی زاده؛ سمیه شهرکی؛ عیسی خمری
- ۶۱۹ تأثیر کمپوست حاصل از محتویات شکمبه گوسفند و اسید هیومیک بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و عملکرد گیاه شلغم (*Brassica rapa*)
موسی الرضا طاهری؛ علیرضا آستارایی؛ حجت امامی
- ۶۳۵ ارزیابی اثر همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی و فیتوشیمیایی استبرق (*Calotropis procera* Aiton)
مرضیه نوری؛ محمود سلوکی؛ عبدالرحمن رحیمیان بوگر؛ مهدی آران؛ زینب محکمی
- ۶۵۵ تأثیر محلول پاشی آسکوربیک اسید و کلسیم بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) در شرایط تنش خشکی
نظام الدین حسینی نژاد؛ سید مسعود ضیائی؛ علیرضا عینعلی
- ۶۷۱ شناسایی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) متحمل به تنش خشکی بر اساس شاخص‌های گزینشی
شاهین قویدل؛ علیرضا پورابوقداره؛ خداداد مصطفوی
- ۶۸۹ نقشه‌یابی نواحی ژنومی کنترل‌کننده ویژگی‌های زراعی جمعیت هاپلوئید مضاعف جو تحت شرایط نرمال و تنش شوری
موسی خمری؛ محمود سلوکی؛ براتعلی فاخری؛ رضا اقنوم؛ نفیسه مهدی نژاد؛ لیلا مهرآوران
- ۷۰۷ بررسی مقایسه کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد خیار (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus)
قربانعلی اسدی؛ سرور خرم دل؛ محمد حسن هاتفی فرجیان؛ علی مومن

ادامه فهرست در پشت جلد



۷۲۱

ارزیابی عملکرد علوفه، کارایی مصرف آب و تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی

محمد زمانیان؛ فرید گل‌زردی

۷۴۱

تاثیر شوری آب آبیاری و محلول‌پاشی کلات و نانو اکسید روی بر عملکرد و شاخص‌های رشدی ارقام جو

مهرداد محلوچی؛ رئوف سید شریفی؛ عباس نصیری دهنسرخ

۷۶۱

ارزیابی کارایی انرژی و بهره‌وری بوم شناختی بوم نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در شهرستان بروجرد، استان لرستان

لیلا رحیمی؛ خسرو عزیزی؛ داریوش گودرزی؛ ماشاء الله دانشور؛ سعید حیدری

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد پنجم، شماره سوم، زمستان ۱۴۰۲

این نشریه که با همکاری انجمن علمی دانش کشاورزی گرمسیری ایران منتشر می گردد بر اساس آیین نامه نشریات علمی مصوب ۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۱ 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 رمرودی، 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 جنبه های نوآوری، ضرورت و اهداف انجام پژوهش به طور کامل شرح داده شود.

مواد و روش‌ها: بایستی به مشخصات منطقه آزمایش و کلیه مواد، روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در آزمایش به طور 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 ارایه 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 کرشه) نیز ارائه گردد **doi** و یا **doi** استفاده شود. در ضمن در انتهای هر منبع آدرس [In Persian] از عبارت

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.

بررسی تأثیر کود شیمیایی و زیستی بر غلظت عناصر غذایی ریشه، ساقه و دانه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط تنش خشکی

محمد میرزایی حیدری^{۱*}، امین فتحی^۲، رقیه آتش پیکر^۳

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- دکتری زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

* مسئول مکاتبه: mirzaeiheydari@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.334186.1212

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد کود زیستی و کود شیمیایی فسفات بر جذب عناصر در ریشه، ساقه و دانه لوبیا تحت تنش خشکی آزمایشی به صورت اسپلیت اسپلیت پلات با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان ایلام انجام گردید. تیمارها شامل سه سطح قطع آبیاری (شرایط بدون تنش، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی) در کرت اصلی و سه سطح کود شیمیایی فسفات (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت فرعی و عدم کاربرد کود زیستی در کرت فرعی-فرعی بودند. بیشترین غلظت نیتروژن ریشه، ساقه و دانه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) به ترتیب به میزان ۱/۱۲، ۱/۷۷ و ۳/۱۹ درصد بدست آمد. علاوه بر این کمترین میزان غلظت نیتروژن ریشه، ساقه و دانه در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی به ترتیب به میزان ۰/۹۲، ۱/۴۶ و ۲/۶۳ درصد حاصل شد. نتایج نشان داد بیشترین غلظت پتاسیم ریشه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و مصرف کود زیستی به میزان ۲/۶۳ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار بدون تنش و عدم مصرف کود زیستی به میزان ۲ درصد بدست آمد. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از کود زیستی و کود شیمیایی فسفات می‌تواند آثار نامطلوب تنش خشکی را در گیاه لوبیا کاهش داده و سبب افزایش جذب عناصر در اندام‌های لوبیا شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، فسفر، مرحله غلاف‌دهی، مرحله گل‌دهی، نیتروژن

مقدمه

حبوبات دومین منبع مهم غذایی در جهان پس از غلات می‌باشد. لوبیا به علت همزیستی با باکتری در تثبیت ازت و حاصلخیزی خاک کشاورزی بسیار مؤثر می‌باشد و همه‌ساله مقادیر زیادی نیتروژن بعد از برداشت این گیاه به خاک افزوده می‌شود. سایر قسمت‌های لوبیا مثل برگ‌ها، ساقه‌ها، گل‌ها، نیام‌های نارس، غده‌ها به عنوان غذای انسان، دام و کود سبز برای تقویت و بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. حدود ۷ درصد از کل زمین‌های اختصاص داده شده به کشت لوبیا در سطح جهان دارای آب کافی است و ۶۰ درصد از کشاورزی لوبیا تحت شرایط تنش خشکی شدید انجام می‌شود (Bourgault et al., 2013).

عوامل محیطی به ویژه شرایط تنش خشکی، نقش عمده‌ای در ویژگی‌های کمی و کیفی در گیاهان زراعی به عهده دارند (Taheri et al., 2021). تنش خشکی دارای پتانسیل آسیب

رسانی بالایی می‌باشد که به صورت یک متابولیسم غیر عادی ممکن است به صورت‌های مختلفی از جمله کاهش رشد و مرگ بخشی از گیاه بروز کند (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023; Ezati et al., 2020). بین رشد گیاه و در دسترس بودن آب یک ارتباط قوی وجود دارد. در شرایط تنش، رشد گیاهان دچار اختلال می‌شود در نتیجه قابلیت گسترش دیواره سلول و فشار تورژسانس کاهش پیدا می‌کند (Seleiman et al., 2021; Miranda et al., 2019). در شرایط تنش خشکی، پیری زودرس اندام‌های فتوسنتزکننده و هم‌چنین کاهش فتوسنتز جاری گیاه باعث کاهش در جذب مواد غذایی می‌شود (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). کاهش آب قابل‌دسترس به‌خصوص در ابتدای دوره گل‌دهی و وقوع تنش خشکی در حبوبات ضمن کاهش سرعت رشد رویشی و کوتاه کردن دوره رشد زایشی بر کیفیت دانه اثر منفی می‌گذارد (Farooq et al., 2017). محققان گزارش کردند که لوبیا در

تثبیت نیتروژن، تولید سیدروفورها، مواد محرک رشد گیاه و اسیدها ارگانیک و همچنین محافظت توسط آنزیم‌هایی مانند ACC دآمیناز، کیتیناز و گلوکاناز به بهبود رشد و بهره‌وری گیاه در حد مطلوب کمک می‌کنند (Fathi et al., 2018; Zeidali et al., 2016; Naseri et al., 2020; Hayat et al., 2010). لوبیا یکی از مهم‌ترین حبوباتی است که در شهرستان ایلام به وفور کاشته می‌شود. با توجه به کم بودن فسفر قابل جذب در اکثر خاک‌های زراعی به طور معمول گیاهان در بیشتر مزارع به مقدار مصرف کود فسفر واکنش نشان می‌دهد. با این حال استفاده از کودهای زیستی با جایگزینی یا کاهش مصرف کود شیمیایی علاوه بر حفاظت از محیط زیست رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشد. بنابراین با توجه به اهمیت مطالب فوق هدف از اجرای این تحقیق بررسی نقش کود زیستی و کود فسفر بر عناصر اندام‌های گیاه لوبیا در شرایط تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهر ایلام به صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از اجرای آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری شد. نتایج تجزیه نمونه‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمارها شامل سه سطح قطع آبیاری (شرایط بدون تنش یا آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی) در کرت اصلی و سه سطح کود شیمیایی فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در کرت فرعی و کاربرد و عدم کاربرد کود زیستی در کرت فرعی-فرعی بودند.

مرحله گل‌دهی به تنش آبی حساس‌تر بوده و انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی موجب تداوم رشد رویشی و در نتیجه افزایش رشد و نمو گیاه می‌شود (Ghanbari et al., 2015). دیگر محققان گزارش کردند بیشترین خسارت عملکرد دانه لوبیا چیتی و اجزای عملکرد در قطع آبیاری، به‌ویژه در مرحله دانه‌بندی رخ داد که ناشی از عدم انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن‌ها بود (Mirzaei et al., 2020).

کمبودهای تغذیه‌ای در گیاهان، موجب حساسیت آن‌ها به تنش‌های محیطی می‌شود. این فرآیند ممکن است به صورت غیرمستقیم روی دهد، به نحوی که کاهش عمومی رشد و نمو و قدرت رقابت به دنبال کمبود تغذیه‌ای موجب کاهش شدیدتر ماده خشک در شرایط تنش محیطی می‌گردد. در میان عناصر پرمصرف، فسفر دارای نقشی اساسی و مهم در رشد گیاه است که جذب آن در شرایط تنش خشکی به شدت کاهش می‌یابد (Heydari et al., 2019; Meena et al., 2021; Fathi and Mehdiya Afra, 2023). استفاده بیش از حد کود شیمیایی در کشاورزی برای تأمین فسفات مورد نیاز گیاهان همواره موجب آثار سوء زیست محیطی شده و افت کیفی محصولات کشاورزی را به دنبال داشته است. با این حال استفاده از کودهای زیستی، فواید زیادی نسبت به کودهای شیمیایی دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به عدم تجمع مواد سمی در زنجیره غذایی، هزینه کمتر و بی‌خطر بودن برای محیط زیست اشاره نمود (Vassilev and Vassilev, 2003; Karami et al., 2018). تحمل گیاهان زراعی نسبت به تنش‌های غیرزنده از جمله تنش خشکی با مصرف باکتری‌های محرک رشد، به عنوان راهکاری جذاب توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه در شرایط مختلف از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیر مستقیم مانند حل شدن فسفر،

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical analysis of soil at the test site

رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل N	کربن آلی OC	واکنش خاک pH
	(%)		(mg kg ⁻¹)		(%)	(%)	
43	33	24	307	5	0.07	0.8	7.2

دانکن انجام گرفت و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث نیترژن ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی و کود فسفر در سطح یک درصد و کود زیستی در سطح پنج درصد بر غلظت نیترژن ریشه معنی دار بود اما اثرات متقابل در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت نیترژن ریشه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) به میزان ۱/۱۲ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل دهی به میزان ۰/۹۲ درصد بدست آمد. هم چنین بین تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی اختلاف معنی داری مشاهده شد (جدول ۳). ریشه اولین قسمت از گیاه است که در معرض تنش خشکی قرار دارد. ریشه در خاک به جذب آب و مواد غذایی و هم چنین استقرار گیاه در خاک کمک می کند. مکانیسم های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و اطراف ریشه گیاهان است و در صورت کاهش آب موجود، مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر می شود (Kim et al., 2020).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت نیترژن ریشه به میزان ۱/۰۵ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به میزان ۰/۹۷ درصد بدست آمد. هم چنین نتایج نشان داد بین تیمار ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). بررسی ها نشان می دهد که کاربرد کود سوپرفسفات تریپل به بهبود جذب مواد غذایی کمک می کند و در نهایت باعث بهبود خصوصیات کیفی در گیاه می شود (Bahamin et al., 2019). نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت نیترژن ریشه به میزان ۱/۰۴ درصد بدست آمد در حالی که کمترین میزان در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۰/۹۹ درصد بدست آمد (جدول ۳). تلقیح گونه های مختلف گیاهی با کود زیستی ریشه جانبی و مویی را بهبود می بخشد و در نتیجه سطح ریشه افزایش می یابد و در نتیجه به بهبود جذب مواد

زمین محل آزمایش در سال قبل به صورت آیش بود. در پاییز شخم عمیق و در بهار دو بار دیسک عمود بر هم زده شد. با استفاده از دستگاه جوی و پشته ساز پشته هایی با فاصله ۵۰ سانتی متر در زمین ایجاد شد. تمام کود فسفر مربوط به هر تیمار به صورت یکجا در هنگام کشت به زمین داده شد. برای تیمار کاربرد کود زیستی از کود فسفات بارور ۲ استفاده شد. بذرهای لوبیا به روش بذرمال با توجه به توصیه شرکت تولیدکننده با استفاده از غلظت مناسب (۱۰۰ گرم برای یک هکتار) کود زیستی تیمار شده و کاشته شدند. عملیات کاشت در ۲۷ اردیبهشت ماه با قرار دادن دو بذر در هر کپه به عمق حدود ۵ سانتی متر با دست انجام گرفت. ابعاد هر کرت ۳*۴ متر و شامل شش ردیف با فاصله ۱۲*۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد.

پس از جوانه زنی و استقرار بوته ها در مرحله ۲-۴ برگی گیاهان تنک و در هر کپه یک گیاه حفظ شد. مبارزه با علف های هرز به صورت دستی در دو مرحله قبل از گل دهی انجام گرفت. آبیاری از زمان کاشت تا استقرار کامل بوته ها هر سه روز یکبار و پس از آن هر چهار روز یکبار انجام گرفت. تیمار تنش خشکی در این آزمایش به صورت قطع آبیاری در دو مرحله گل دهی کامل و غلاف دهی انجام گرفت. برای این کار در مراحل مذکور به مدت ده روز گیاهان با توجه به تیمارشان آبیاری نشدند و تیمار شاهد آبیاری هر چهار روز یکبار آبیاری شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، برداشت به صورت دستی از وسط دو خط میانی به مساحت یک مترمربع و با حذف حاشیه ها از چهار طرف صورت گرفت. به منظور تعیین عناصر غذایی ریشه، ساقه و دانه لوبیا، پس از آسیاب نمودن، نمونه های نیم گرمی در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد خاکستر شد و سپس در ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و پس از عبور دادن از کاغذ صافی با اضافه نمودن آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. غلظت عناصر در اندام های ریشه، ساقه و دانه برای پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر به روش نشر شعله ای، غلظت فسفر با استفاده از روش رنگ سنجی به روش رنگ زرد مولیبدات وانادات با اسپکتروفتومتر و غلظت نیترژن با استفاده از روش کج لیدال سنجیده شد (Waling et al., 1989). به منظور انجام محاسبات آماری از نرم افزار SAS v 9.3 استفاده گردید. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای

نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت نیتروژن دانه معنی دار بود اما اثرات متقابل در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت نیتروژن دانه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) به میزان ۳/۱۹ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل دهی به میزان ۲/۶۳ درصد بدست آمد. غلظت نیتروژن دانه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله گل دهی به میزان ۲۱/۲۹ درصد افزایش نشان داد. هم چنین بین تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی اختلاف معنی داری مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می رسد در شرایط تنش خشکی محتوای نیتروژن دانه تحت اثر تنش قرار گرفته و از میزان آن کاسته می شود. گزارش ها نشان می دهد افزایش میزان تنش خشکی موجب کاهش میزان نیتروژن دانه می شود (Taheri et al., 2021).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت نیتروژن دانه به ترتیب به میزان ۲/۹۸ و ۲/۹۹ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به میزان ۲/۷۶ درصد بدست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت نیتروژن دانه به میزان ۳/۰۳ درصد بدست آمد در حالی که کمترین میزان در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۲/۷۸ درصد بدست آمد (جدول ۳). به نظر می رسد کود زیستی به افزایش توانایی گیاه به جذب عناصر از طریق ریشه کمک می کند و در نهایت کیفیت دانه را بهبود می بخشد. گزارش شده است کود زیستی بارور ۲ به دلیل دارا بودن باکتری های محرک رشد از جنس های *Bacillus* و *Pseudomonas* از طریق تولید هورمون های گیاهی (اکسین، جیبرلین، سیتوکینین)، انحلال فسفات سبب جذب بیشتر نیتروژن در دانه می شود (Ansari et al., 2015). گزارش های دیگر نیز حاکی از تأثیر مثبت کودهای زیستی بود که باعث افزایش جذب نیتروژن در گیاه گردید (Abdelaziz et al., 2021).

غذایی و آب کمک می کند و در نهایت عملکرد را افزایش می دهد (Zeidali et al., 2018; Mirzaei et al., 2018).

نیتروژن ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت نیتروژن ساقه معنی دار بود اما اثرات متقابل در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت نیتروژن ساقه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) به میزان ۱/۷۷ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل دهی به میزان ۱/۴۶ درصد بدست آمد. هم چنین بین تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی اختلاف معنی داری مشاهده شد (جدول ۳). به طور کلی کاهش آب در شرایط تنش خشکی سبب محدودیت در جذب مواد غذایی و کاهش غلظت آن ها در بافت گیاهان زراعی می شود. اثر مهم کمبود آب در به دست آوردن جذب مواد غذایی توسط ریشه و انتقال به شاخساره می باشد. کاهش جذب مواد غذایی معدنی می تواند ناشی از تداخل در جذب مواد غذایی و مکانیسم تخلیه و کاهش جریان تعرق در گیاهان زراعی باشد (Farooq et al., 2017). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت نیتروژن ساقه به میزان ۱/۶۵ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به میزان ۱/۵۳ درصد بدست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت نیتروژن ساقه به میزان ۱/۶۸ درصد بدست آمد در حالی که کمترین میزان در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۱/۵۴ درصد بدست آمد (جدول ۳). کودهای زیستی علاوه بر تثبیت مواد غذایی مورد نیاز گیاه در محیط ریشه، با ترشح مواد بیولوژیکی فعال مانند انواع ویتامین ها و هورمون های گیاهی سبب رشد بیشتر ریشه و در نهایت افزایش جذب آب و عناصر غذایی می گردند که با بهبود رشد و عملکرد گیاه همراه است. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان (Cham et al., 2021) مطابقت دارد.

نتایج این مطالعه مطابقت داشت. (2007; Karami *et al.*, 2018; Fathi *et al.*, 2017) که با

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در گیاه لوبیا تحت تأثیر تنش خشکی، کود زیستی و کود فسفر

Table 2- Results of analysis of variance of evaluated traits in bean plant under the influence of drought stress, bio fertilizer and phosphorus fertilizer

منبع تغییرات S.O.V	DF	پتاسیم ریشه Root potassium	پتاسیم ساقه Stem potassium	پتاسیم دانه Seed potassium	فسفر ریشه Root phosphorus	فسفر ساقه Stem phosphorus	فسفر دانه Seed phosphorus	نیتروژن ریشه Phosphorus root	نیتروژن ساقه Stem nitrogen	نیتروژن دانه Seed nitrogen	درجه آزادی
تکرار Replication	2	0.009	0.07	0.009	0.0001	0.000005	0.000005	0.00005	0.004	0.017	2
تنش خشکی Drought stress (DS)	2	0.001 ^{ns}	2.56 ^{**}	0.923 ^{**}	0.001 ^{**}	0.0002 ^{**}	0.0002 [*]	0.0002 [*]	0.436 ^{**}	1.43 ^{**}	2
خطای تنش خشکی Drought error	4	0.021	0.04	0.009	0.00003	0.00002	0.00002	0.00002	0.01	0.03	4
فسفر Phosphorus (P)	2	0.004 ^{ns}	0.49 ^{**}	0.185 ^{**}	0.028 ^{**}	0.0054 ^{**}	0.004 ^{**}	0.004 ^{**}	0.087 ^{**}	0.29 ^{**}	2
خشکی*فسفر DS*P	4	0.008 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 [*]	0.0001 [*]	0.018 ^{ns}	0.05 ^{ns}	4
خطای دوم second error	12	0.036	0.07	0.021	0.0003	0.00005	0.00006	0.00006	0.009	0.03	12
کود زیستی Bio-fertilizer (B)	1	0.311 ^{**}	0.45 ^{**}	0.17 ^{**}	0.02 ^{**}	0.0026 ^{**}	0.0024 ^{**}	0.0024 ^{**}	0.276 ^{**}	0.84 ^{**}	1
خشکی*کود DS*B	2	0.015 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.021 [*]	0.0001 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.03 ^{ns}	2
فسفر*کود زیستی P*B	2	0.012 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.033 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2
خشکی*فسفر*کود DS*P*B	4	0.011 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.04 ^{ns}	4
خطای کل Total error	18	0.013	0.06	0.018	0.0001	0.00004	0.00004	0.00004	0.008	0.02	18
ضریب تغییرات C.V(%)	-	6.69	6.35	5.8	5.07	16.41	6.72	6.72	5.62	5.6	-

*: معنی دار در سطح احتمال پنج درصد: ** معنی دار در سطح احتمال یک درصد: ^{ns}: غیر معنی دار.

*: Significant at 5%. **: Significant at 1%. Ns: Non-significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها بر صفات مورد مطالعه در گیاه لوبیا

Table 3- Comparison of the mean of the main effects of treatments on the studied traits in beans

تیمارها	سطح تیمار	نیترژن ریشه	نیترژن ساقه	نیترژن دانه	فسفر ریشه	فسفر ساقه	فسفر دانه	پتاسیم ریشه	پتاسیم ساقه	پتاسیم دانه
Treatments	Treatment level	Root nitrogen (%)	Stem nitrogen (%)	Seed nitrogen (%)	Phosphorus root (%)	Stem phosphorus (%)	Seed phosphorus (%)	Root potassium (%)	Stem potassium (%)	Seed potassium (%)
تنش خشکی Drought stress	بدون تنش Control	1.12a	1.77a	3.19a	0.105a	0.103b	0.256a	2.16c	3.6c	2.42a
	مرحله گلدهی Flowering stage	0.92c	1.46c	2.63c	0.099b	0.109a	0.241b	2.61a	4.35a	2.44a
	مرحله غلاف دهی Pod formation stage	1 b	1.6b	2.89b	0.097b	0.102b	0.239b	2.34b	3.9b	2.43a
	کاربرد کود فسفر Application of P fertilizer (kg.h ⁻¹)	25	0.97b	1.53b	2.76b	0.086c	0.088c	0.206c	2.26b	2.41a
کود زیستی Bio-fertilizer	50	1.02a	1.65a	2.98a	0.098b	0.103b	0.245b	2.39a	3.99a	2.44a
	100	1.05a	1.65a	2.99a	0.118a	0.123a	0.286a	2.46a	4.1a	2.44a
	عدم کاربرد Non-use	0.99b	1.54b	2.78b	0.094b	0.098a	0.226b	2.31b	3.86b	2.35b
	کاربرد Use	1.04a	1.68a	3.03a	0.107a	0.112a	0.265a	2.43a	4.04a	2.51a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

The means that have a common letter in each column do not have a significant difference according to Duncan test at the level of 5%.

فسفر ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی در سطح پنج درصد، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت فسفر ریشه معنی‌دار بود. همچنین تنها اثر متقابل تنش خشکی و کود فسفر معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

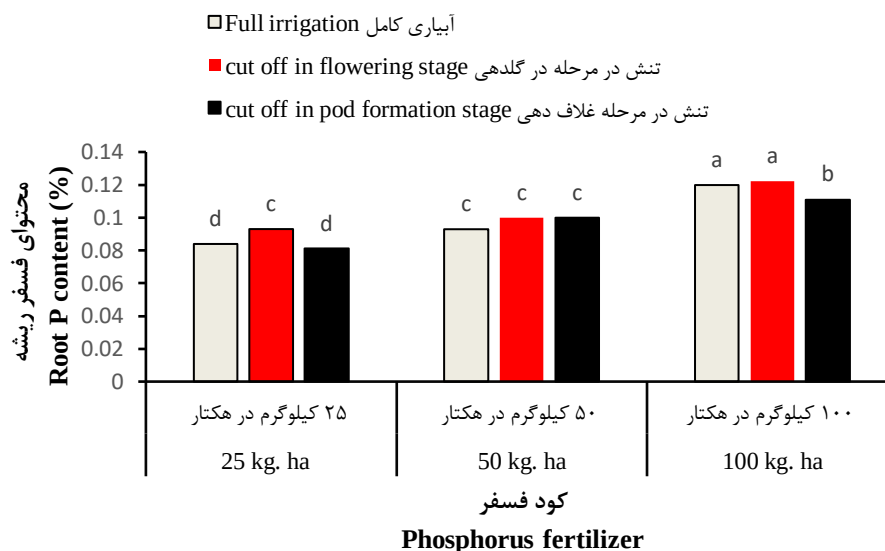
نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت فسفر ریشه به میزان ۰/۱۰۷ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۱۳/۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). محققان در پژوهش‌های جداگانه‌ای اظهار داشتند استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب جذب بیشتر فسفر ریشه در گیاهان تلقیح شده با باکتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده شد. این محققان اظهار داشتند رشد ریشه در مجاور باکتری‌های حل‌کننده فسفات با افزایش تولید سیدروفور و تقویت

قدرت رقابت گیاه در جذب مواد غذایی باعث افزایش رشد گیاه تلقیح شده می‌شود (Norouzi masir *et al.*, 2019; Rahimzadeh *et al.*, 2013).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت فسفر ریشه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و آبیاری کامل و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب به میزان ۰/۱۲۲ و ۰/۱۲ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی و مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار به میزان ۰/۰۸۱ درصد بدست آمد. همچنین بین تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی با مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). از آنجایی که نیاز به مواد مغذی و آب ارتباط نزدیکی با هم دارند، کاربرد کود احتمالاً باعث افزایش کارایی در استفاده از آب می‌شود. این نشان‌دهنده یک تعامل قلیل توجه بین کمبود

برای رشد گیاه است که با افزایش قطع آبیاری در محیط ریشه، میزان جذب آن توسط ریشه و تجمع آن در برگ کاهش می‌یابد (Zarehmanesh *et al.*, 2021).

رطوبت خاک و جذب مواد مغذی است. مطالعات نشان می‌دهد که محصولات کشاورزی به کود زیستی در شرایط خشک و نیمه‌خشک پاسخ مثبت می‌دهند (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2023). فسفر به عنوان یکی از عناصر غذایی ضروری



شکل ۱- اثر تنش خشکی و فسفر بر میزان فسفر ریشه در گیاه لوبیا

Figure 1- Effect of drought stress and phosphorus on root phosphorus content in bean plant

مطابقت دارد.

کاهش جذب و انتقال عناصر پر مصرف در گونه‌های مختلف احتمالاً به دلیل کاهش حجم ریشه در خاک‌های خشک شده است. با این حال با کاهش آب در خاک تحرک فسفر کاهش پیدا می‌کند در نتیجه سبب کاهش جذب میزان فسفر در گیاه می‌شود (Sallam *et al.*, 2019). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت فسفر ساقه به ترتیب به میزان ۰/۱۲۳ و ۰/۱۰۳ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب به میزان ۳۹/۷۷ و ۱۷/۰۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). محققان گزارش کردند که افزایش فسفر به خاک تا حدودی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تنش خشکی را بر جذب فسفر خنثی می‌کند و راندمان مصرف آب و در نتیجه مقاومت به شرایط کم‌آبی را در گیاه افزایش می‌دهد. عنصر فسفر می‌تواند سبب افزایش رشد ریشه شود و از این طریق نیز رشد گیاهان را افزایش دهد (Jones, 2003). نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت فسفر ساقه به

فسفر ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت فسفر ساقه معنی‌دار بود اما اثرات متقابل در هیچ‌کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت فسفر ساقه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی به میزان ۰/۱۰۹ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی به میزان ۰/۱۰۲ درصد بدست آمد. هم‌چنین بین تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله غلاف‌دهی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). مکانسیم جذب و انتقال عناصر در خاک تابعی از رطوبت و ریشه گیاه می‌باشد و در صورت کمبود رطوبت جذب و انتقال دست‌خوش تغییر و تحول می‌گردد. در این پژوهش با کمبود رطوبت در شرایط آب و هوایی منطقه و مدت اعمال تنش (۱۰ روز) گیاه توانسته است تا حد بحرانی میزان رطوبت در خاک، جذب و انتقال فسفر را ادامه دهد. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان (Heidari and Jahantighi, 2013)

میزان ۰/۱۱۲ درصد بدست آمد درحالی که کمترین میزان در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۰/۰۹۸ درصد بدست آمد (جدول ۳). محققان در پژوهشی اظهار داشتند افزایش غلظت فسفر در تیمار کود زیستی به تولید اسیدهای معدنی (اسید کربنیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک و لاکتیک) و تولید آنزیمهای فسفاتاز و در نتیجه انحلال فسفاتهای آلی و معدنی نسبت دادند (Rahimzadeh et al., 2013). نتایج دیگر محققان (Cham et al., 2021) نیز نتایج حاصل از این تحقیق را تایید می کنند.

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت فسفر دانه معنی دار بود اما اثرات متقابل در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت فسفر دانه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) به میزان ۰/۲۵۶ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی به میزان ۰/۲۳۹ درصد بدست آمد. غلظت فسفر دانه در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی به میزان ۷/۱۱ درصد افزایش نشان داد. هم چنین بین تیمار قطع آبیاری در مرحله گل دهی و قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). شرایط کم آبی به عنوان یک عامل ایجادکننده اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه بر روی پارامترهای رشد و نمو گیاه نیز تأثیر می گذارد. از زیان بارترین اثرات تنش خشکی اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی در گیاهان است. در صورت کاهش آب انتقال عناصر غذایی در گیاهان دچار اختلال می شود (Farooq et al., 2017). در این تحقیق در اثر شرایط خشکی (قطع آبیاری در مرحله گل دهی و غلاف دهی) جذب فسفر در گیاه کاهش یافت.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت فسفر دانه به ترتیب به میزان ۰/۲۸۶ و ۰/۲۴۵ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به میزان ۰/۲۰۶ درصد بدست آمد (جدول ۳). محققان گزارش کردند که

افزایش فسفر خاک، حجم ریشه ها را در خاک خشک و هم جذب آب را در ریشه های اولیه افزایش می دهد. با افزایش فسفر مورد استفاده در خاک از ۲۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار درصد عناصر غذایی در اندام های گیاه به طور معنی داری افزایش یافت (Singh and Sale, 2000) که این نتایج نشان دهنده ضعیف بودن خاک محل آزمایش از عنصر فسفر و واکنش مثبت گیاه لوبیا به افزایش فسفر خاک می باشد. نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت فسفر دانه به میزان ۰/۲۶۵ درصد بدست آمد درحالی که کمترین میزان در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۰/۲۲۶ درصد بدست آمد (جدول ۳). محققان در آزمایشی گزارش کردند کاربرد کود زیستی باعث افزایش میزان جذب عناصر به ویژه فسفر نسبت به عدم مصرف کود زیستی در گیاه کنجد شد (Askari et al., 2018). استفاده از کود شیمیایی موجب تثبیت و غیر قابل استفاده شدن فسفر در گیاه می گردد که منجر به تلفات فسفر و هم چنین آلودگی خاک می شود. بنابراین استفاده از کودهای زیستی از طریق رهاسازی مدام فسفر باعث تسهیل در جذب عناصر توسط گیاه می گردد (Rahimzadeh et al., 2013).

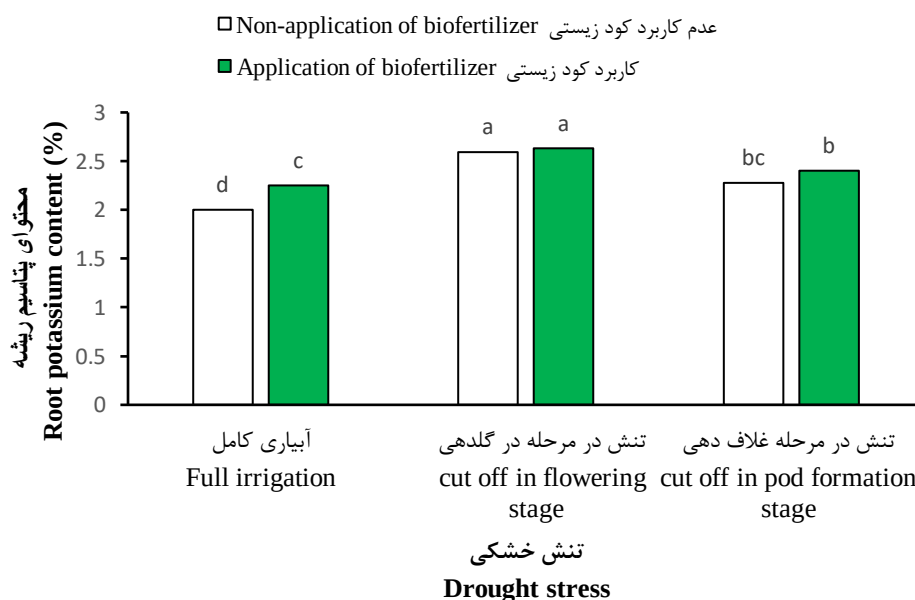
پتاسیم ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت پتاسیم ریشه معنی دار بود هم چنین تنها اثر متقابل تنش خشکی و کود زیستی معنی دار بود و سایر اثرات متقابل در تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت پتاسیم ریشه به ترتیب به میزان ۲/۴۶ و ۲/۳۹ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به ترتیب به میزان ۸/۸۴ و ۵/۷۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت پتاسیم ریشه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل دهی و مصرف کود زیستی به میزان ۲/۶۳ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار بدون تنش و عدم مصرف کود زیستی به میزان ۲ درصد بدست آمد. هم چنین نتایج نشان داد بین تیمار قطع آبیاری در مرحله گل دهی با مصرف و عدم مصرف کود زیستی اختلاف معنی داری مشاهده

غلظت پتاسیم ریشه مشاهده گردید که مصرف کود زیستی موجب افزایش معنی دار این عنصر نسبت به تیمار عدم مصرف کود زیستی گردید (Cham et al., 2021). هم چنین مشخص شده است که کودهای زیستی به روش های مستقیم مانند بهبود تغذیه گیاه از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و هم چنین افزایش جذب آب توسط گیاه و به روش غیرمستقیم مانند کاهش تنش های محیطی سبب افزایش رشد گیاهان می شوند (Tahat and Sijam, 2012) نتایج این تحقیق مطالب گفته شده در بالا را تأیید کرد به طوری که استفاده از این نوع کود با افزایش جذب پتاسیم ریشه گیاه لوبیا شد.

نشد (شکل ۲). عوامل متعددی بر میزان قابلیت جذب پتاسیم توسط ریشه گیاهان دخالت می کنند. از جمله این عوامل گونه و رقم گیاهی، ظرفیت تبادل کاتیونی، رطوبت، ساختار ریشه، دما و مقدار پتاسیم در خاک در قابلیت جذب پتاسیم خاک به وسیله گیاه مؤثر می باشند. با این حال گزارش ها نشان می دهد استفاده از کود زیستی فسفات بارور ۲ جذب پتاسیم را افزایش می دهد (Bolandnazar et al., 2014). به نظر می رسد با توجه شرایط آب و هوایی منطقه و میزان پتاسیم موجود در خاک (۳۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم) و دیگر عوامل تأثیرگذار، ریشه میزان پتاسیم بیشتری از خاک جذب کرده است. محققان گزارش کردند با افزایش شدت خشکی کاهش معنی داری در



شکل ۲- اثر تنش خشکی و کود زیستی بر میزان پتاسیم ریشه در گیاه لوبیا

Figure 2- Effect of drought stress and bio-fertilizer on root potassium in bean plants

قطع آبیاری در مرحله غلاف دهی اختلاف معنی داری مشاهده شد (جدول ۳). جذب و انتقال پتاسیم توسط ریشه گیاه از طریق دو ساز و کار جذب فعال و جذب غیر فعال صورت می گیرد. به نظر می رسد از آنجایی که بالاترین میزان پتاسیم در مرحله گل دهی توسط ریشه گیاه جذب شده است به همین دلیل میزان بیشتری در ساقه گیاه انتقال پیدا کرده است. محققان گزارش کردند در گیاه سویا برای افزایش مقاومت به تنش خشکی، گیاه با مصرف انرژی باعث افزایش غلظت K^+ در ریشه و اندام هوایی می شود. این مکانیسم جذب پتاسیم با تأثیر

پتاسیم ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار تنش خشکی، کود فسفر و کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت پتاسیم ساقه معنی دار است اما اثرات متقابل در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین غلظت پتاسیم ساقه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل دهی به میزان ۴/۳۵ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار بدون تنش خشکی (آبیاری کامل) به میزان ۳/۶۰ درصد بدست آمد. هم چنین بین تیمار آبیاری کامل و

پتاسیم دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تنها اثر تیمار کود زیستی در سطح یک درصد بر غلظت پتاسیم دانه معنی دار است اما اثرات اصلی تنش خشکی و کود فسفر و اثرات متقابل در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی معنی دار نبود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت پتاسیم دانه به میزان ۲/۵۱ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم کاربرد کود زیستی ۶/۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). پژوهشگران گزارش کردند که تلقیح کود زیستی سیستم ریشه را در گیاهان گسترده تر می کند که این امر سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه شده و رشد و عملکرد گیاه افزایش می یابد (Zaady et al., 1993). محققان گزارش کردند بیشترین درصد پتاسیم در تیمار مصرف کودهای زیستی صورت گرفت (Cham et al., 2021) که نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند.

نتیجه گیری کلی

کاربرد کود شیمیایی فسفات به طور معنی داری سبب افزایش جذب عناصر گردید. هم چنین کاربرد کود زیستی به طور معنی داری غلظت عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم و فسفر را در گیاه لوبیا افزایش داد. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از کود زیستی و کود شیمیایی فسفات می تواند آثار نامطلوب تنش خشکی را با افزایش جذب عناصر در اندام های لوبیا کاهش دهد.

مستقیم بر فتوسنتز و افزایش انتقال مواد از ته به دانه و سنتز پروتئین ها همراه است که در نهایت سبب بهبود در رشد و نمو گیاه می شود (Samarah et al., 2004).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین غلظت پتاسیم ساقه به ترتیب به میزان ۴/۱۰ و ۳/۹۹ درصد بدست آمد و کمترین میزان نیز در تیمار ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به میزان ۳/۷۷ درصد بدست آمد (جدول ۳). در تحقیق حاضر کاربرد کود فسفر تأثیر مثبتی در افزایش پتاسیم گیاه داشت. از آنجایی که بیشترین میزان جذب در اندام ریشه در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بدست آمده به نظر می رسد گیاه لوبیا توانسته میزان زیادی از پتاسیم را به سمت اندام هوایی خود انتقال دهد. از طرفی مطالعات زیادی نشان می دهد پتاسیم با دیگر عناصر رابطه مستقیمی دارند و فراهم بودن عناصر غذایی با کود شیمیایی می تواند منجر به افزایش جذب عناصر پرمصرف در گیاه شود (Khamadi et al., 2016; Salehifar, 2020).

نتایج نشان داد که در تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین غلظت پتاسیم ساقه به میزان ۴/۰۴ درصد بدست آمد در حالی که کمترین میزان در تیمار عدم کاربرد کود زیستی به میزان ۳/۸۶ درصد بدست آمد (جدول ۳). کودهای زیستی از طریق تجزیه سیلیکات ها و انحلال کانی ها سبب آزادسازی پتاسیم و در نتیجه افزایش میزان پتاسیم در گیاه و اندام هوایی آن می گردند (Cham et al., 2021).

References

- Abdelaziz, M.E., Pokluda, R. and Abdelwahab, M.M., 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 35(1), pp.1842-4309. doi:10.15835/nbha351261
- Ansari, S., Sarikhani, M.R. and Najafi, N., 2015. Inoculation effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on corn in presence of indigenous microflora of soil. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4), pp.33-43. [In Persian].
- Askari, A., Ardakani, M.R., Vazan, S., Paknejad, F. and Hosseini, Y., 2018. The effect of mycorrhizal symbiosis and seed priming on the amount of chlorophyll index and absorption of nutrients under drought stress in sesame plant under field conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(1), pp.335-357. doi:10.15666/aeer/1601_335357

- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Beheshti, S., 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), pp.123-139. [In Persian]. doi: **10.22077/escs.2018.1152.1235**
- Bolandnazar, S.A., Khorsandi, S. and Adlipoor, M., 2014. The Effect of Bio-fertilizer (Phosphate Barvar2) on Onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(2), pp.19-30. [In Persian].
- Bourgault, M., Madramootoo, C.A., Webber, H.A., Dutilleul, P., Stulina, G., Horst, M.G. and Smith, D.L., 2013. Legume production and irrigation strategies in the Aral Sea basin: yield, yield components, water relations and crop development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) Wilczek. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(4), pp.241-252. doi: **10.1111/jac.12016**
- Cham, R., Abtahi, S.A., Jafarinia, M. and Yasrebi, J., 2021. Evaluation of the effects of some biofertilizers on nutrient uptake and essential oil yield in the golden plant (*Dracocephalum kotschy* Boiss) under different soil moisture regimes. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 11(1), pp.29-44. doi: **10.30495/wsrecj.2021.18543**
- Ezati, N., Maleki, A. and Fathi, A., 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 14(56), pp.94-109. [In Persian]. doi: **20.1001.1.76712423.1398.14.56.5.9**
- Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S. and Siddique, K.H.M., 2017. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(2), pp.81-102. doi: **10.1111/jac.12169**
- Fathi, A. and Mehdiya Afra, J., 2023. Plant Growth and Development in Relation to Phosphorus: A review. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 80(1), pp.1-7. doi:**10.15835/buasvmcn-agr:2022.0012**
- Fathi, A., Farnia, A. and Maleki, A., 2016. Effects of biological nitrogen and phosphorus fertilizers on vegetative characteristics, dry matter and yield of corn. *Applied Field Crops Research*, 29(1), pp.1-7 [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2016.109214**
- Fathi, A., Kardoni, F., Bahamin, S., Khalil Tahmasebi, B. and Naseri, R., 2017. Investigation of management strategy of the consolidated system of organic and biological inputs on growth and yield characteristics in corn cultivation. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4(1), pp.137-156. [In Persian].
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E. and Pessarakli, M., 2023. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 46(9), pp.2198-2230. doi: **10.1080/01904167.2022.2105720**
- Ghanbari, A.A., 2015. Developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water deficit conditions. *Applied Field Crops Research*, 28(107), pp.190-199. [In Persian]. doi:**10.22092/aj.2015.105723**

- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R. and Ahmed, I., 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of Microbiology*, 60(4), pp.579-598. **doi: 10.1007/s13213-010-0117-1**
- Heidari, M. and Jahantighi, H., 2013. Evaluate effect of water stress and different amounts of nitrogen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(4), pp.640-647. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v11i4.32892**
- Heydari, M.M., Brook, R.M. and Jones, D.L., 2019. The role of phosphorus sources on root diameter, root length and root dry matter of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42(1), pp.1-15. **doi: 10.1080/01904167.2018.1509996**
- Jones, C.A., 2003. The effects of P fertilization on drought tolerance of malt barley. In *western nutrient management conference*, Salt Lake City, UT, 5, pp.88-93.
- Karami, H., Maleki, A. and Fathi, A., 2018. Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(3), pp.15-29.
- Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M. and Enayatzamir, N., 2014. Influence of crop residue and nitrogen levels on nutrient content in grain wheat. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 109, pp.158-165. [In Persian]. **doi: 10.22092/aj.2016.106753**
- Kim, Y., Chung, Y.S., Lee, E., Tripathi, P., Heo, S. and Kim, K.H., 2020. Root response to drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), pp.1513. **doi: 10.3390/ijms21041513**
- Meena, S.K., Pandey, R., Sharma, S., Vengavasi, K., Dikshit, H.K., Siddique, K.H. and Singh, M.P., 2021. Cross tolerance to phosphorus deficiency and drought stress in mung bean is regulated by improved antioxidant capacity, biological N₂-fixation, and differential transcript accumulation. *Plant and Soil*, 466(1), pp.337-356. **doi: 10.1007/s11104-021-05062-0**
- Miranda, M.T., Da Silva, S.F., Silveira, N.M., Pereira, L., Machado, E.C. and Ribeiro, R.V., 2021. Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), pp.11-19. **doi: 10.1007/s00344-020-10069-5**
- Mirzaei, A., Naseri, R., Torab Miri, S.M., Soleymani Fard, A. and Fathi, A., 2018. Response of yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to the application of plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen chemical fertilizer under rainfed conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(44 (4)), pp.775-790. [In Persian].
- Mirzaei, M., Majnon Hoseini, N. and Mirabzade, M., 2020. Effects of irrigation cutting off at different growth stages and nitrogen fertilizer levels on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), pp.101-110. [In Persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2020.283238.654616**
- Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F. and Fathi, A., 2020. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam province. *Iranian Journal Pulses Research*, 10(2), pp.62-76. [In Persian]. **doi: 10.22067/ijpr.v10i2.64299**

- Norouzi masir, M., Enayatzamir, N. and Ghadamkhani, A., 2019. Effect of phosphorus solubilizing bacteria on phosphorus uptake and some properties of wheat. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8(4), 111-125. [In Persian]. doi: 10.22069/ejsms.2019.14286.1791
- Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G., Eivazi, A. and Hoseini, S., 2013. Effect of biofertilizers on macro and micro nutrients uptake and essential oil content in *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(1), pp.179-190. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v11i1.24128
- Salehifar, M., 2020. Comparative evaluation of chicken manure and chemical fertilizer on nutrient concentrations and grain quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4), pp.862-872. [In Persian].
- Sallam, A., Alqudah, A.M., Dawood, M.F., Baenziger, P.S. and Börner, A., 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13), pp.3137. doi: 10.3390/ijms20133137
- 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(5), pp.815-835. doi: 10.1081/PLN-120030673
- Seleiman, M.F., Refay, Y., Al-Suhaibani, N., Al-Ashkar, I., El-Hendawy, S. and Hafez, E.M., 2019. Integrative effects of rice-straw biochar and silicon on oil and seed quality, yield and physiological traits of *Helianthus annuus* L. grown under water deficit stress. *Agronomy*, 9(10), pp.637. doi: 10.3390/agronomy9100637
- Singh, D.K. and Sale, P.W., 2000. Growth and potential conductivity of white clover roots in dry soil with increasing phosphorus supply and defoliation frequency. *Agronomy Journal*, 92(5), pp.868-874. doi: 10.2134/agronj2000.925868x
- Tahat, M.M. and Sijam, K., 2012. Mycorrhizal fungi and abiotic environmental conditions relationship. *Research Journal of Environmental Sciences*, 6(4), pp.125-133. doi: 10.3923/rjes.2012.125.133
- Taheri, F., Maleki, A. and Fathi, A., 2021. Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*, 13(50), pp.135-149. [In Persian].
- Vassilev, N. and Vassilev, M., 2003. Biotechnological solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61, pp.435–440. doi: 10.1007/s00253-003-1318-3
- Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. and Van der Lee, J.J., 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi: Part 7. Plant Analysis Procedures Wageningen Agriculture University. Wageningen, pp. 35.
- Zaady, E., Perevolotsky, A. and Okon, Y., 1993. Promotion of plant growth by inoculum with aggregated and single cell suspensions of *Azospirillum brasilense* Cd. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(7), pp.819-823. doi:10.1016/0038-0717(93)90081-L
- Zarehmanesh, H., Eisvand, H.R., Akbari, N., Ismaili, A. and Feizian, M., 2021. Effects of humic acid on changes in nutrient concentrations of leaf, root and stem nutrients of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 10(41), pp.1-16. [In Persian]. doi:20.1001.1.23222727.1400.10.41.15.5

Zeidali, E., Naseri, R., Mirzaei, A., Fathi, A. and Darabi, F., 2018. Study the effect of plant nourishment with chemical, PGPR and manure fertilizers on agro-physiologic characteristics and weed density of maize. *Journal of Plant Ecophysiology*, 10(32), pp.198-214. [In Persian].

The effect of chemical and biofertilizer on the nutrient concentration of root, shoot and seed of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress

Mohammad Mirzaei Heydari^{1*}, Amin Fathi², Roghayeh Atashpikar³

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

² Ph.D. Graduate in Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

³ Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran

* Corresponding Author: mirzaeiheydari@yahoo.com

Received: 14 March 2022

Accepted: 11 June 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.334186.1212

Abstract

Introduction: Legumes are the second most important food source in the world after cereals. Beans are very effective in stabilizing nitrogen and fertility of agricultural soil due to their coexistence with bacteria, and large amounts of nitrogen are added to the soil every year after harvesting this plant. Environmental factors, especially drought stress conditions, play a major role in the quantitative and qualitative characteristics of crops. Reduction of available water, especially at the beginning of the flowering stage and the occurrence of drought stress in legumes, while reducing the rate of vegetative growth and shortening the stage of reproductive growth has a negative effect on grain quality. Nutritional deficiencies in plants cause them to be sensitive to environmental stresses. Excessive use of chemical fertilizers in agriculture to provide the phosphate needed by plants has always caused adverse environmental effects and has led to a decline in the quality of agricultural products. However, the use of biofertilizers has many benefits over chemical fertilizers. Therefore, considering the importance of the above, the purpose of this study is to investigate the role of biofertilizer and phosphorus fertilizer on bean plant elements in drought stress conditions.

Materials and Methods: An experimental split-split plot with three replications was performed to investigate the effect of bio-fertilizer and phosphate fertilizer application on nutrient uptake in roots, stems, and seeds of beans under drought stress in season 2016-2017 in Ilam city. Treatments included three levels of irrigation interruption (non-stress conditions, cut off in flowering stage, and cut off in pod formation stage) in the main plot and three levels of phosphate fertilizer (25, 50, and 100 kg. ha¹) and application and non-application of biofertilizer. Drought stress treatment in this experiment was performed by stopping irrigation in two stages of full flowering and podding. All phosphorus fertilizer related to each treatment was applied to the ground at once during cultivation. After germination and establishment of the plants in the 2-4 leaf stage, the plants were thinned and one plant was kept in each pile. Weed control was done manually in two stages before flowering.

Results and Discussion: The results showed that the highest nitrogen concentrations in roots, stems, and seeds under non-stress conditions (full irrigation) were 1.12, 1.77, and 3.19%, respectively. Also, the lowest nitrogen concentrations of roots, stems, and seeds in the cut-off flowering stage were 0.92, 1.46, and 2.63%, respectively. The mean comparison results showed that the highest grain nitrogen concentration in non-stress conditions (full irrigation) was 3.19%, which increased by 21.29% compared to the cut-off irrigation treatment at the flowering stage. The results showed that the highest concentration of root potassium in the conditions of irrigation interruption in the flowering stage and biofertilizer application was 2.63% and the lowest was obtained in the treatment without stress and non-application of biofertilizer (2%). The average comparison results showed that the highest concentration of potassium in the stem was obtained in the condition of cut off irrigation in the flowering stage at the rate of 4.35% and the lowest amount was obtained in the full irrigation at the rate of 3.60%. The results showed that in the treatment of biofertilizer application, the highest concentration of phosphorus in the grain was 0.265 percent, while the lowest in the treatment of non-application of biofertilizer was 0.226 percent.

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: Flowering stage, Nitrogen, Phosphorus, Pod formation stage, Potassium

اثر محلول پاشی بنزیل آمینو پورین و پیکس بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد پنبه در کشت نشایی دیر هنگام

داریوش سعادت^۱، متین جامی معینی^{۲*}، محمد آرمین^۲

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

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

* مسئول مکاتبه: mat_jami@iaus.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.391000.1333

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶

چکیده

به منظور بررسی اثر تنظیم کننده های رشد بنزیل آمینو پورین (BAP) و پیکس بر رشد و عملکرد پنبه رقم مای ۳۴۴ در کشت نشایی دیر هنگام، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در سبزوار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل محلول پاشی پیکس در دو سطح عدم محلول پاشی و محلول پاشی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار و محلول پاشی BAP در پنج غلظت صفر، ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بودند. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با محلول پاشی ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP به تنهایی به دست آمد که نسبت به شاهد، ۱۵/۱ درصد افزایش نشان داد. کمترین ارتفاع بوته نیز در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد. محلول پاشی پیکس همراه با ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP، بیشترین تعداد غوزه در بوته را تولید نمود که نسبت به تیمار شاهد ۲۹/۸ درصد افزایش داشت. بیشترین متوسط وزن غوزه و بیشترین درصد غوزه باز در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP به دست آمد. محلول پاشی ۱/۵ لیتر در هکتار پیکس به تنهایی، بالاترین عملکرد و ۲۷۵۴/۳ کیلوگرم در هکتار را تولید نمود که از افزایش ۴۰/۲ درصدی نسبت به شاهد برخوردار بود. بیشترین درصد کیل (۵۲/۲ درصد) در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۰/۳ درصد افزایش نشان داد. با توجه به نتایج، محلول پاشی ۱/۵ لیتر در هکتار پیکس، به منظور تولید عملکرد مطلوب و افزایش درصد کیل پنبه در کشت نشایی دیر هنگام قابل توصیه می باشد.

واژه های کلیدی: سیتوکینین، کاروتنوئید، کشت تأخیری، کلروفیل، مپیکوات کلراید

مقدمه

مصرفی، حذف نشاء های ضعیف و بیمار قبل از انتقال نشاء، کاهش عملیات تنک کردن، واکاری، از بین رفتن خطر سله خاک، سبز شدن یکنواخت مزرعه، وجود فرصت کافی جهت برداشت غلات پائیزه در تناوب یک ساله آن با پنبه، حذف خسارت کاشت زود هنگام، استفاده بهینه از منابع محدود آب، طی شدن مرحله حساس رشد گیاه چه پنبه در خزانه، صرفه جویی در یک یا دو نوبت آبیاری مزرعه پنبه و حفاظت بهتر گیاه پنبه از آفات اوایل دوره رشد را فراهم خواهد نمود (Mehrabadi, 2017). گزارش شده است که با کشت نشایی هم می توان در یک مزرعه دو محصول در سال کشت نمود (کشت پاییزه و بهاره)، هم می توان در ماه اوج مصرف آب که هر دو کشت پاییزه و بهاره به آب نیاز دارد، مقدار آب مصرفی را کاهش داد. نشاکاری نقش مؤثری در بهبود استفاده از نهاده هایی مانند بذر و کود در واحد سطح دارد. هم چنین کاهش دوره رشد یا

پنبه با نام علمی *Gossypium hirsutum* L.، پرمصرف ترین لیف طبیعی و مهم ترین گیاه صنعتی دمنظوره جهان است که در ۷۹ کشور جهان موجب اشتغال بیش از میلیون ها نفر در صنایع لیاف و روغن گردیده است (Mehregan et al., 2016). پنبه از منابع اصلی تأمین لیاف و روغن در ایران و جهان و کنجاله آن از مواد غذایی بارزش در بخش دامداری است. پنبه به دلیل داشتن ریشه های گسترده و نفوذپذیر، دارا بودن قابلیت تنظیم تعداد برگ و میوه تحت شرایط تنش و نیز داشتن دوره غوزه دهی قابل انعطاف، از گیاهان مناسب در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود. هم چنین، این گیاه به عنوان یکی از گیاهان مقاوم به شوری خاک یا آب آبیاری به شمار می رود (Seddighi et al., 2013).

موفقیت در نشاء کاری پنبه، امکان صرفه جویی در میزان بذر

کمتر شدن زمان تولید گیاه در مزرعه می‌تواند موجب افزایش کارایی استفاده از نهاده‌هایی مانند آب و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید شود. افزایش کارایی در واحد سطح کشت، رسیدن به تراکم مطلوب، کنترل مؤثرتر آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز از دیگر مزایای نشاکاری است (Jafari, 2020).

نظر به اهمیت محصول پنبه در تناوب زراعی و روند کاهشی سطح زیر کشت آن در سال‌های اخیر، به‌کارگیری روش‌های مؤثر و بهینه برای افزایش سطح زیر کشت آن، افزایش تولید و کاهش هزینه‌های تولید این محصول استراتژیک، امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از این روش‌ها، کشت تأخیری پنبه به‌صورت نشایی با استفاده از ارقام زودرس است. با این روش می‌توان در تناوب زراعی، کشت پنبه را بعد از گندم قرار داده و به دلیل کوتاه شدن دوره رشد و عدم برخورد با سرما، محصول قابل قبولی را برداشت نمود (Khajeh Mozaffari *et al.*, 2019). در پژوهشی که به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ و روش‌های مختلف کاشت بر پنبه انجام شد، مشاهده گردید که با تأخیر در کاشت، کاهش عملکرد در روش کاشت نشائی کمتر از روش کاشت بذر بود. علاوه بر این، کاشت پنبه به‌صورت نشاء سبب بهبود صفات کیفی الیاف در تاریخ‌های دیر کاشت شد (Mehrabadi, 2017).

در کشاورزی پیشرفته، سعی بر آن است که عملکرد در واحد سطح را بالا برده و تا حد امکان ضایعات و خسارات ناشی از عوامل نامساعد را به حداقل برسانند. یکی از رهیافت‌های نوین در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در گیاهان مختلف می‌توانند در تعادل روابط منبع-مخزن مؤثر باشند و به‌طور فزاینده‌ای برای افزایش عملکرد در بسیاری از گیاهان به‌کاربرده می‌شوند (Arteca, 1996). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی به‌خصوص اکسین و سیتوکینین‌ها بر توزیع مواد در داخل گیاه، تقسیم سلولی، رشد سلول و غیره تأثیر داشته و در نتیجه توسعه اندامی را سبب می‌شوند. سیتوکینین‌ها از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که سبب افزایش تقسیم سلولی و تمایزیابی، کاهش اثر غالبیت انتهایی، افزایش توسعه سطح برگ، افزایش تعداد شاخه جانبی، تحرک عناصر غذایی، جلوگیری از تجزیه کلروفیل و مانع از

تسریع پیری می‌گردند (Salek Mearaji *et al.*, 2020). نتایج حاصل از بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر پنبه نشان داد که کاربرد تنظیم‌کننده رشد بنزیل آدنین (نوعی سیتوکینین) به‌صورت بذر مال یا محلول‌پاشی، باعث افزایش عملکرد و عمده‌تاً به دلیل افزایش تعداد غوزه در واحد سطح گردید (Fang *et al.*, 2019). گزارش شده است که محلول‌پاشی بنزیل آمینو پورین، به‌واسطه افزایش محتوای کلروفیل، سطح برگ و تعداد شاخه گل‌دهنده، عملکرد دانه در گیاه کینوا را افزایش داده است (Salek Mearaji *et al.*, 2020).

سرزنی در بسیاری از نقاط دنیا به‌منظور کنترل رشد رویشی و تغذیه بهتر اندام‌های زایشی پنبه مرسوم است. حذف پدیده غالبیت انتهایی که در اثر فعالیت هورمون اکسین در جوانه انتهایی ساقه صورت می‌گیرد، از آثار سرزنی است. تنظیم‌کننده‌های رشد حاوی مپیکوات کلراید (Mepiquat chloride) نظیر پیکس، با جلوگیری از سنتز اسید جیبرلیک، باعث کاهش رشد رویشی در پنبه می‌شوند. کنترل رشد رویشی پنبه در نتیجه استفاده از پیکس، مواد فتوسنتزی را به‌سوی اندام‌های بارده و غوزه‌های در حال رشد هدایت می‌کند که باعث افزایش وزن غوزه‌ها می‌گردد (Mirshekari and Asfaram, 2013). مصرف پیکس موجب کاهش سطح برگ، کاهش طول میان‌گره، ارتفاع بوته و زودرسی پنبه می‌گردد. وزن دانه در گیاهانی که با پیکس تیمار شده‌اند، افزایش و درصد لینتر کاهش یافته است (Mottaki, 2005). گزارش شده است که محلول‌پاشی پیکس ۳۰ روز بعد از گل‌دهی، با کنترل رشد رویشی، باعث افزایش عملکرد الیاف ارقام مختلف پنبه شده است (Mirshekari and Asfaram, 2013). در بررسی تأثیر پیکس بر عملکرد پنبه، نتایج نشان داد که مصرف پیکس تعداد غوزه در بوته را کاهش و وزن غوزه را افزایش داد، اما بر عملکرد و ش تأثیر معنی‌داری نداشت. علاوه بر این، مصرف پیکس زودرسی محصول را افزایش داد (Haghighat Nia *et al.*, 2016).

با توجه به اهمیت کشت تأخیری پنبه نشایی در افزایش سطح زیر کشت پنبه و همچنین نقش تنظیم‌کننده‌های رشد در بهبود عملکرد محصولات کشاورزی، در پژوهش حاضر اثر تنظیم‌کننده‌های رشد پیکس و بنزیل آمینو پورین بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و اجزاء عملکرد پنبه نشایی در کشت دیر هنگام

مورد بررسی قرار گرفت.

میلی گرم در لیتر بودند. محلول پاشی تنظیم کننده‌های رشد پیکس و BAP در مرحله ۵۰ درصد گل دهی و به صورت هم زمان انجام گردید. رقم پنبه مورد استفاده در این آزمایش رقم مای ۳۴۴ بود که یک رقم زودرس وارداتی است.

پس از انتخاب زمین آزمایش، عملیات خاک ورزی شامل یک بار شخم عمیق، دومرتبه دیسک و سپس تسطیح زمین انجام و قبل از کاشت، از خاک سطحی (عمق ۳۰-۰ سانتی متری) نمونه گیری و تجزیه های فیزیکی و شیمیایی انجام شد. بر اساس نتایج، خاک محل انجام آزمایش دارای بافت لوم شنی با محتوای کربن آلی پایین، شوری متوسط و قلیائیت بالا بود (جدول ۱).

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۹۹۷ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد مطالعه شامل محلول پاشی تنظیم کننده رشد پیکس در دو سطح عدم محلول پاشی و محلول پاشی به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار و غلظت تنظیم کننده رشد بنزیل آمینو پورین (BAP) در پنج سطح صفر، ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil in experiment site

پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic carbon	T.N.V	EC	pH
(mg kg ⁻¹)					(%)		(dS m ⁻¹)	
148	5.4	14	30	56	0.35	14.5	4.04	8.2

انجام شد. بلافاصله پس از کاشت، اقدام به آبیاری مزرعه گردید. پس از استقرار کامل بوته ها، آبیاری ها به صورت منظم و با فواصل ۱۰ روز انجام شد. در آغاز رشد زایشی (۵۰ درصد گل دهی مزرعه)، اقدام به محلول پاشی غلظت های مختلف تنظیم کننده رشد BAP و همچنین پیکس با استفاده از سم پاش پستی بر اساس نقشه آزمایش گردید.

در آغاز مرحله باز شدن غوزه ها، اقدام به نمونه برداری از برگ های کاملاً توسعه یافته فوقانی بوته ها گردیده، نمونه های برگ بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد و به فریزر ۸۰- درجه سانتی گراد منتقل گردیدند.

اندازه گیری محتوای رنگدانه های فتوسنتزی با روش Lichtenthaler (1987) انجام شد. ۰/۱ گرم بافت تازه برگ در ۱۵ میلی لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شده و محلول حاصل با کاغذ صافی صاف گردید. جذب محلول ها به طور جداگانه در طول موج های ۶۶۳/۲ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۶/۸ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها توسط

بر اساس نتایج تجزیه خاک، مقادیر مورد نیاز کودهای پتاسیمی (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) و فسفری (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل) به خاک اضافه شده و با آن مخلوط گردید. کود نیتروژنی توصیه شده (۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) در سه مرحله استقرار (یک چهارم)، رشد رویشی (یک دوم) و آغاز رشد زایشی (یک چهارم) به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. عمل کاشت به صورت ردیفی و در فواصل بین ردیف ۵۰ و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی متر در هفته دوم تیرماه انجام شد. هر کرت متشکل از ۶ ردیف کاشت به طول ۴ متر بود. برای افزایش دقت آزمایش، بین کرت ها یک ردیف خالی و بدون کشت لحاظ گردید. برای کاشت، از نشاء های سه هفته ای پنبه در مرحله ۴ برگ حقیقی استفاده شد. نشاء ها در سینی های نشاء حاوی ترکیب ۳۰ درصد پرلیت و ۷۰ درصد کوکوپیت تولید گردیدند. جهت تأمین رطوبت لازم برای کشت نشایی، زمین آبیاری و پس از رسیدن رطوبت به حد مطلوب، نشاکاری به صورت دستی

اسپکتروفتومتر (Fullerton, Beckman, CA) قرائت شد. در نهایت، با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳، میزان کلروفیل a, b و

کاروتنوئیدها برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

$$\text{Chlorophyll a} = (12.25 \text{ A663.2}) - (2.79 \text{ A646.8}) \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (21.51 \text{ A646.8}) - (5.1 \text{ A663.2}) \quad (۲)$$

$$\text{Carotenoides} = (100 \text{ A470} - 1.8 \text{ chl. a} - 85.02 \text{ chl. b})/19 \quad (۳)$$

به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد، ۵ بوته به صورت تصادفی از ردیف‌های میانی هر کرت انتخاب و در آن ارتفاع نهایی، تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد غوزه در بوته اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن غوزه، ۱۰ غوزه از بوته‌های برداشت‌شده به صورت تصادفی انتخاب و در آن متوسط وزن غوزه اندازه‌گیری شد. درصد کیل با تقسیم وزن الباف ۱۰ غوزه به وزن و ش آن‌ها محاسبه شد.

به منظور محاسبه عملکرد و ش، برداشت و ش پنبه در یک مرحله از دو مترمربع از ردیف‌های وسط هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای صورت گرفت. عملکرد بیولوژیک از دو مترمربع میانی هر کرت آزمایش پس از کف‌بردن بوته‌ها و خشک کردن آن‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد و توزین توسط ترازوی دقیق محاسبه شد. شاخص برداشت پنبه از رابطه ۴ محاسبه گردید:

$$\text{عملکرد و ش} = \frac{\text{عملکرد بیولوژیک (وش + شاخ و برگ)}}{\text{شاخص برداشت}} \times 100 \quad (۴)$$

پس از جمع‌آوری داده‌ها، عمل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳) و مطابق با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. جداول و نمودارهای مورد نیاز نیز به کمک نرم‌افزارهای Word و Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول پاشی پیکس و غلظت تنظیم‌کننده رشد BAP بر محتوای کلروفیل a معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، محلول پاشی تنظیم‌کننده رشد پیکس محتوای کلروفیل a را در مقایسه با شرایط عدم محلول پاشی به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳).

پیکس ترکیبی است که می‌تواند برخی از فرآیندهای فیزیولوژیک و یا توانایی آن‌ها برای تأثیرگذاری بر ویژگی‌های مورفولوژیک را تحریک، مهار یا حتی اصلاح کند. پیکس با افزایش تعداد شاخه‌های جانبی، موجب افزایش تعداد برگ در بوته و در نتیجه کاهش سطح هر برگ می‌گردد. کاهش سطح

برگ با افزایش ضخامت و افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل همراه است (Ahmed et al., 2014). مشابه با نتایج این پژوهش، بررسی اثر محلول پاشی میکوات کلرید (پیکس) و کائولین بر پنبه نشان داد که محلول پاشی پیکس به تنهایی یا در ترکیب با کائولین باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل و کاروتنوئید گردید (El-Gabieri and Ata Allah, 2017).

محلول پاشی با غلظت‌های مختلف BAP، باعث افزایش محتوای کلروفیل a نسبت به شرایط عدم محلول پاشی این تنظیم‌کننده رشد گردید که این افزایش در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر معنی‌دار بود. بیشترین محتوای کلروفیل a با ۸/۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تازه برگ، در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد از افزایش ۱۷/۷ درصدی برخوردار بود، اما تفاوت معنی‌داری با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نداشت. تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و غلظت‌های ۵ و ۲۵ میلی گرم در لیتر تنظیم‌کننده رشد BAP در رابطه با محتوای کلروفیل a مشاهده نشد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه پنبه تحت تأثیر محلول پاشی پیکس و بنزیل آمینو پورین

Table 2- Analysis of variance for physiological and morphological characteristics of cotton affected by pix and benzylaminopurine foliar application

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی No. of lateral branches	تعداد غوزه در بوته No. of bolls per plant
تکرار Replication	2	0.22	0.09	8.12	1.56	0.64	0.16
پیکس Pix	1	0.86*	1.79**	45.36**	620.16**	1.36	0.38
بنزیل آمینو پورین Benzylaminopurine	4	2.04**	3.32**	69.57**	17.71	0.91	1.62*
پیکس × بنزیل آمینو پورین Benzylaminopurine × Pix	4	0.32	0.33*	6.60*	31.91*	2.47**	4.22**
خطا Error	18	0.18	0.10	1.64	8.57	0.34	0.43
ضریب تغییرات CV (%)		5.37	6.32	7.52	9.47	7.44	9.26

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

* Significant at $P < 0.05$, ** Significant at $P < 0.01$

ادامه جدول ۲

Table 2 continued

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین وزن غوزه Average boll weight	درصد غوزه باز Open bolls	عملکرد وش Seed cotton yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد کیل Lint
تکرار Replication	2	0.21	145.39	70303.18	394333.33	12.65	20.76
پیکس Pix	1	0.67*	541.28**	171507.67*	33334.43	48.41	131.04**
بنزیل آمینو پورین Benzylaminopurine	4	0.26	7.93	662897.36**	662000.00*	109.36*	7.11
پیکس × بنزیل آمینو پورین Benzylaminopurine × Pix	4	1.36**	229.26*	386619.12**	923453.35*	25.94	142.04**
خطا Error	18	0.13	58.99	38138.93	221740.74	30.02	11.62
ضریب تغییرات CV (%)		8.23	10.53	9.89	9.58	12.26	11.68

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

* Significant at $P < 0.05$, ** Significant at $P < 0.01$

تجمع کلروفیل و تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست و تأخیر در روند پیری برگ می‌شوند (Mahrookh *et al.*, 2019).

در میان تنظیم‌کننده‌های رشد، سیتوکینین‌ها نقش مهمی را در تنظیم رشد و نمو گیاه بازی می‌کنند. سیتوکینین‌ها باعث

سیتوکینین‌ها با تحریک سنتز ۵-آمینولوولینیک اسید^۱ (ALA) و افزایش فعالیت آنزیم پروتوکلروفیلید اکسیدوریداکتاز^۲ (POR)، سنتز کلروفیل را تسریع می‌کنند (Cortleven and Schmülling, 2015). این احتمال وجود دارد که غلظت‌های بالای سیتوکینین، از طریق افزایش سطح برگ به دلیل افزایش تقسیم سلولی، باعث کاهش ضخامت برگ و به دنبال آن کاهش

محتوای کلروفیل شوند. در بررسی اثر محلول‌پاشی هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی ذرت، بیشترین غلظت کلروفیل a با مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین حاصل شد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Mahrookh et al., 2019).

جدول ۳- اثر محلول‌پاشی پیکس بر محتوای کلروفیل a و شاخص برداشت پنبه

Table 3- Effect of pix foliar application on chlorophyll a content and harvest index of cotton

محل‌پاشی پیکس Pix foliar application	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	شاخص برداشت Harvest index (%)
عدم محلول‌پاشی No foliar application	7.65 b	43.43 a
محلول‌پاشی پیکس Pix foliar application	7.99 a	45.97 a

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within columns followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$, according to Duncan's multiple range test

جدول ۴- اثر محلول‌پاشی بنزیل آمینو پورین بر محتوای کلروفیل a و شاخص برداشت پنبه

Table 4- Effect of benzylaminopurine foliar application on chlorophyll a content and harvest index of cotton

غلظت بنزیل آمینو پورین Benzylaminopurine concentration (mg l ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	شاخص برداشت Harvest index (%)
0	7.24 b	46.88 a
5	7.44 b	45.51 a
25	7.54 b	46.44 a
50	8.52 a	47.50 a
100	8.36 a	37.17 c

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند، مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within columns followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$, according to Duncan's multiple range test

اثر محلول‌پاشی پیکس، غلظت تنظیم‌کننده رشد BAP و همچنین اثر متقابل محلول‌پاشی پیکس و غلظت BAP بر محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمار محلول‌پاشی پیکس همراه با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر BAP و کمترین آن در تیمار عدم محلول‌پاشی پیکس و BAP (شاهد) به دست آمد. میزان افزایش محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمار محلول‌پاشی پیکس همراه با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر BAP نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب برابر با ۶۷/۶ و ۱۱۲/۶ درصد

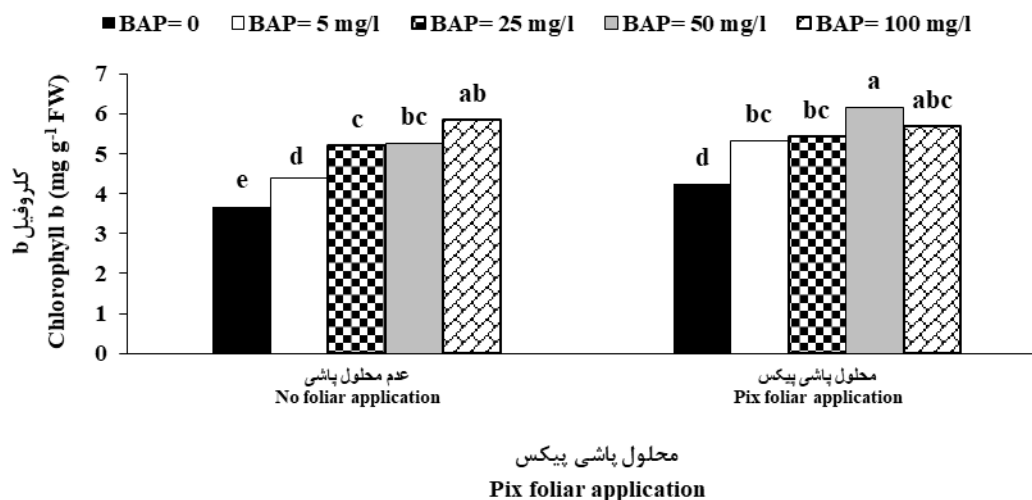
بود. در شرایط عدم محلول‌پاشی پیکس، محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید با افزایش غلظت BAP افزایش یافت، به‌طوری‌که کمترین و بیشترین محتوای این رنگدانه‌ها به ترتیب در شرایط عدم مصرف و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP ثبت گردید. تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP در رابطه با محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید مشاهده نشد. این در حالی است که در شرایط محلول‌پاشی پیکس، بالاترین محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر BAP به دست آمد و افزایش غلظت BAP به

2 Protochlorophyllide oxidoreductase

1 5-aminolevulinic acid

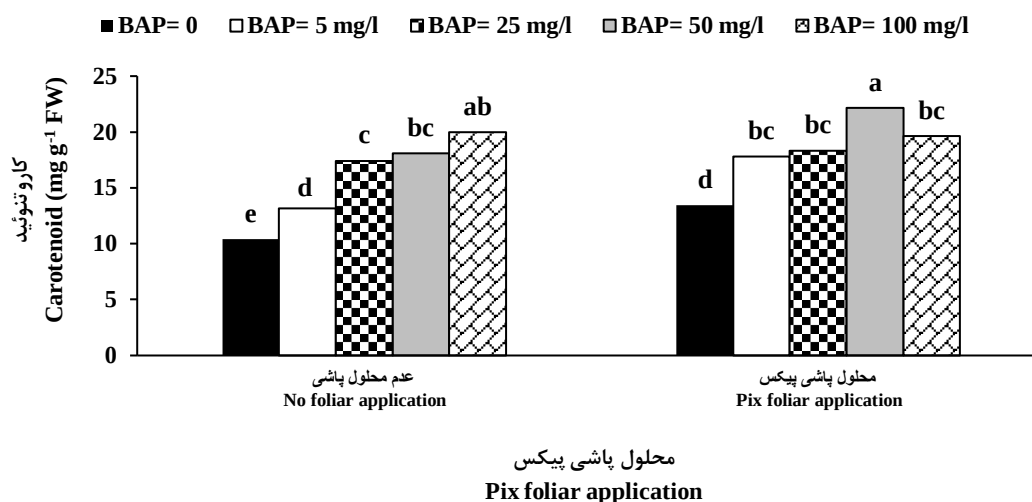
غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP معنی دار نبود (شکل ۱ و ۲).

۱۰۰ میلی گرم در لیتر باعث کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید. در رابطه با محتوای کلروفیل b، تفاوت بین



شکل ۱- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر محتوای کلروفیل b

Figure 1- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on chlorophyll b content



شکل ۲- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر محتوای کاروتنوئید

Figure 2- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on caretenoid content

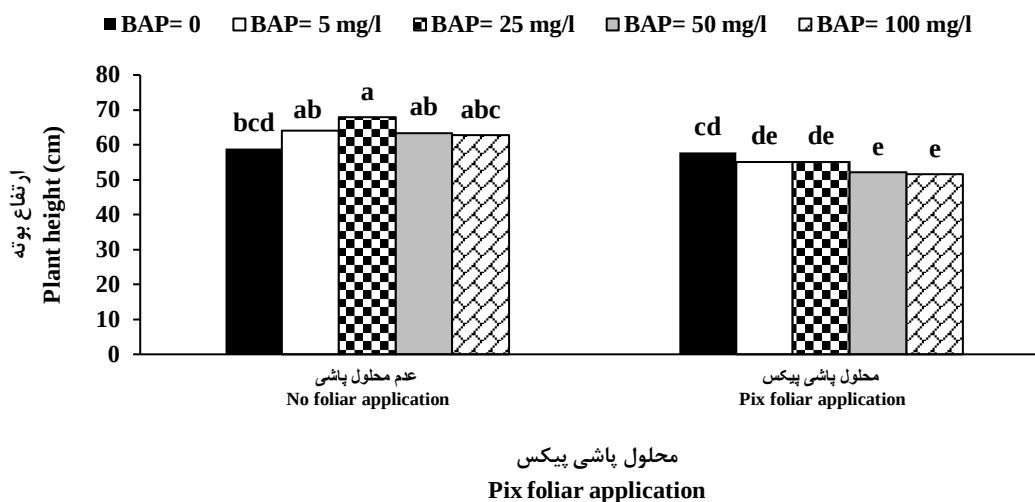
تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد. در شرایط عدم محلول پاشی پیکس، کاربرد غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP، ارتفاع بوته را در مقایسه با شرایط عدم محلول پاشی BAP به طور معنی داری افزایش داد. تفاوت معنی داری بین شرایط عدم مصرف و غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP وجود نداشت (شکل ۳). در هنگام استفاده از پیکس، تفاوت معنی داری بین شرایط عدم مصرف و غلظت‌های ۵ و ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده نشد، اما

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش، اثر محلول پاشی پیکس و همچنین اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر ارتفاع بوته پنبه معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۶۷/۹ سانتی متر) با محلول پاشی ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP به تنهایی به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول پاشی پیکس و BAP)، ۱۵/۱ درصد افزایش نشان داد. کمترین ارتفاع بوته (۵۱/۶ سانتی متر) نیز در

گردید. کمترین ارتفاع بوته در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP به دست آمد (شکل ۳).

کاربرد غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم مصرف BAP



شکل ۳- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر ارتفاع بوته

Figure 3- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on plant height

محلول پاشی زودهنگام پیکس (۵۰ روز پس از کاشت) ویژگی‌های مورفولوژیک پنبه از جمله ارتفاع بوته را به طور قابل توجهی کاهش داد (Murtza *et al.*, 2022).

تعداد غوزه در بوته

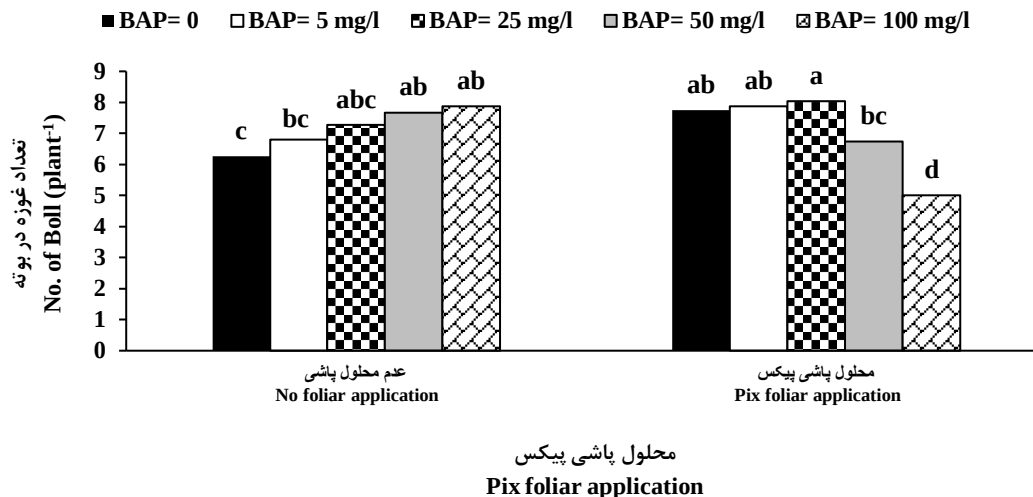
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی پیکس تأثیر معنی داری بر تعداد غوزه در بوته نداشت، اما اثر غلظت BAP و اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر تعداد غوزه در بوته معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد غوزه در بوته (۸/۱)، در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۹/۸ درصد افزایش نشان داد. کمترین تعداد غوزه در بوته (۵/۰) نیز در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP تولید گردید که به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سایر تیمارهای مورد مطالعه بود. در شرایط عدم محلول پاشی پیکس، با افزایش غلظت BAP، تعداد غوزه در بوته نیز افزایش یافت، به طوری که کمترین تعداد غوزه در بوته (۶/۳) در شرایط عدم مصرف BAP و بیشترین آن (۷/۹) در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد. تفاوت معنی داری بین شرایط عدم مصرف و غلظت‌های ۵ و ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP وجود نداشت. در

گزارش‌ها در مورد تأثیر سیتوکینین‌ها بر ارتفاع بوته متناقض بوده و در موارد اندکی بر تأثیر مثبت آن اشاره شده است. در برخی موارد، سیتوکینین‌ها موجب کاهش طول شده و در اغلب موارد بی‌تأثیر بوده‌اند (Salek Mearaji *et al.*, 2020). تنظیم‌کننده‌های رشد در غلظت‌های کم باعث تحریک رشد و در غلظت‌های بالا باعث مهار رشد می‌شوند. سیتوکینین‌ها سبب افزایش تقسیم سلولی شده و در نتیجه می‌توانند منجر به افزایش ارتفاع بوته گردند. اثر سیتوکینین‌ها بر شکستن غالبیت انتهایی ناشی از هورمون اکسین را می‌توان به عنوان دلیل کاهش ارتفاع بوته در واکنش به محلول پاشی غلظت‌های بالای بنزیل آمینو پورین در پژوهش حاضر ذکر نمود. گزارش شده است که محلول پاشی بنزیل آمینو پورین باعث کاهش ارتفاع بوته در ذرت گردید (Akter *et al.*, 2014).

کاهش طول شدن سلول‌ها به دلیل ممانعت از بیوسنتز جیبرلین، دلیل احتمالی کاهش ارتفاع بوته پنبه در واکنش به محلول پاشی پیکس است. کاربرد پیکس می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیک از جمله کاهش تعداد گره‌های ساقه، کم شدن فاصله میان‌گره‌ها و در نهایت کاهش ارتفاع بوته گردد (Rosolem *et al.*, 2013). در پژوهشی که به منظور بررسی اثر میکوکات کلرید بر فنولوژی، عملکرد و کیفیت پنبه انجام شد،

لیتر BAP گردید. کمترین تعداد غوزه در بوته در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که تفاوت معنی داری با سایر تیمارهای مورد بررسی دارا بود (شکل ۴).

شرایط محلول پاشی پیکس، افزایش غلظت BAP تا ۲۵ میلی گرم در لیتر تعداد غوزه در بوته را افزایش داد، اما غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP باعث کاهش معنی دار تعداد غوزه در بوته نسبت به غلظت ۲۵ میلی گرم در



شکل ۴- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر تعداد غوزه در بوته

Figure 4- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on number of bolls per plant

محلول پاشی و خیساندن بذرها، باعث افزایش تعداد غوزه در بوته گیاه پنبه شده است (Fang *et al.*, 2019). با توجه به این که مصرف مپیکوات کلرید از طریق کاهش ارتفاع، باعث نفوذ بهتر نور به بخش‌های پایینی بوته می‌شود، می‌تواند حفظ و نگهداری گل و غوزه در شاخه‌های پایینی بوته پنبه را افزایش دهد (Nutti *et al.*, 2006). گزارش شده است که کاربرد دیر هنگام پیکس (۷۰ روز پس از کاشت)، تعداد غوزه در بوته، تعداد غوزه‌های باز در بوته و وزن غوزه را به دلیل مشارکت آن در تغییر ساختار کانوپی و نسبت منبع-مخزن و همچنین تنظیم دقیق تعادل هورمونی گیاه افزایش داد (Murtza *et al.*, 2022). این در حالی است که در پژوهشی دیگر، مصرف پیکس تعداد غوزه در بوته گیاه پنبه را کاهش داد (Haghighat Nia *et al.*, 2016).

میانگین وزن غوزه

اثر محلول پاشی پیکس و اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر میانگین وزن غوزه معنی دار شد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین وزن غوزه (۵/۴ گرم)

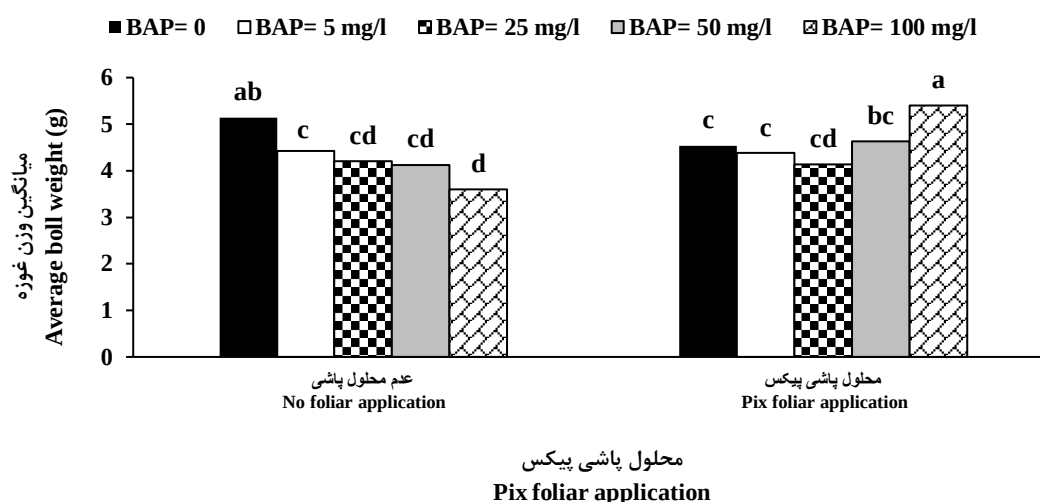
افزایش اجزای عملکرد در اثر کاربرد سیتوکینین‌ها می‌تواند به این دلیل باشد که سیتوکینین‌ها با افزایش بیان ژن‌های درگیر در فرآیند چرخه سلولی، مانند ژن‌های مولد سایکلین‌های نوع D که نقش حیاتی در تقسیم سلولی دارند، سبب تحریک و تسریع تقسیم سلولی می‌شوند. همچنین سیتوکینین‌ها می‌توانند با افزایش تخلیه قندها از آوند آبکش و کمک به انتقال آن‌ها به آپوپلاست و اثر بر تحرک قندهای ذخیره شده در واکوئل‌ها، به تأمین مواد غذایی برای میوه‌ها و دانه‌های در حال رشد کمک نموده، از این طریق باعث حفظ تعداد بیشتری از میوه‌ها و ذخیره مواد غذایی بیشتری در آن‌ها شوند که نهایتاً باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Zhao *et al.*, 2015). افزایش تعداد غوزه در بوته با افزایش غلظت BAP را می‌توان به شکستن غالبیت انتهایی و افزایش تعداد انشعابات ساقه، به‌ویژه تعداد شاخه‌های زایا نسبت داد. سیتوکینین‌ها با افزایش محتوای کلروفیل، باعث بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تأمین آسمیلات‌های لازم برای باروری گل‌ها، کاهش سقط گل‌ها و در نهایت افزایش تعداد میوه می‌شوند (Zhao *et al.*, 2015). مشابه با نتایج پژوهش حاضر، کاربرد سیتوکینین به‌صورت

غوزه در بوته، ازجمله عوامل افزایش قابل توجه وزن غوزه‌های پنبه در تیمارهای مذکور است. بیان شده است که کاربرد سیتوکینین‌ها از طریق تأثیر بر دوام سطح برگ و افزایش تعداد سلول‌ها به‌عنوان مقصد فیزیولوژیک، وزن دانه و میوه را افزایش می‌دهد (Ghatei et al., 2015).

به نظر می‌رسد که کنترل رشد رویشی در پنبه در نتیجه استفاده از پیکس، موجب تغییر مسیر فتواسمیلات‌های تولید شده به‌سوی اندام‌های بارده می‌شود و مواد غذایی حاصل از فتوسنتز را به‌سوی غوزه‌های در حال رشد به‌عنوان مخازن هدایت می‌کند و در نتیجه باعث افزایش وزن غوزه‌ها می‌شود (Mirshekari and Asfaram Meshkinshahr, 2013). گزارش شده است که وزن تک غوزه پنبه از ۴/۱ گرم در تیمار شاهد به ۴/۵ گرم در تیمار محلول‌پاشی پیکس افزایش یافته است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد (Iqbal et al., 2007).

در تیمار محلول‌پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار عدم محلول‌پاشی پیکس و BAP (شاهد) نداشت. کمترین میانگین وزن غوزه (۳/۶ گرم) نیز در شرایط محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP به‌تنهایی ثبت گردید. در شرایط عدم محلول‌پاشی پیکس، افزایش غلظت BAP باعث کاهش میانگین وزن غوزه گردید، به‌طوری‌که بیشترین وزن غوزه در شرایط عدم مصرف BAP و کمترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP مشاهده شد. این در حالی است که در شرایط محلول‌پاشی پیکس، افزایش غلظت BAP میانگین وزن غوزه‌ها را افزایش داد و بیشترین میانگین وزن غوزه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP به دست آمد (شکل ۵).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تیمار محلول‌پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP و تیمار شاهد که کمترین تعداد غوزه در بوته را دارا بودند (شکل ۵)، بالاترین میانگین وزن غوزه را به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین، کاهش تعداد



شکل ۵- اثر متقابل محلول‌پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر میانگین وزن غوزه

Figure 5- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on average boll weight

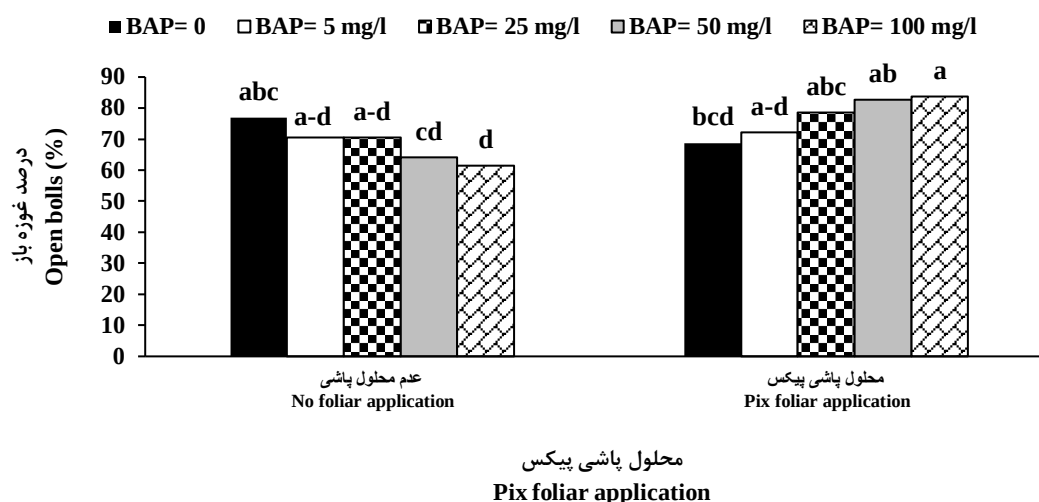
تیمار شاهد نداشت. کمترین درصد غوزه باز (۶۱/۵) نیز در شرایط محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP به‌تنهایی مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد بود. در شرایط عدم محلول‌پاشی پیکس، درصد غوزه‌های باز با افزایش غلظت BAP کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد غوزه باز به ترتیب در شرایط عدم مصرف BAP و غلظت

درصد غوزه باز

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر محلول‌پاشی پیکس و اثر متقابل محلول‌پاشی پیکس و غلظت BAP بر درصد غوزه‌های باز معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین درصد غوزه باز (۸۳/۸ درصد)، در شرایط محلول‌پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر BAP مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با

غوزه باز در شرایط عدم مصرف BAP و بیشترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP حاصل شد. تفاوت بین غلظت‌های ۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP معنی‌دار نبود (شکل ۶).

۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین شرایط عدم مصرف BAP و غلظت‌های ۵، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP وجود نداشت. این در حالی است که در شرایط محلول پاشی پیکس، با افزایش غلظت BAP درصد غوزه‌های باز نیز افزایش یافت. در این شرایط، کمترین درصد



شکل ۶- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر درصد غوزه باز
Figure 6- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on open bolls percentage

رویشی و تغییر مسیر آسیمیلات‌ها به‌سوی اندام‌های زایشی ذکر شده است (Abbas *et al.*, 2022).

عملکرد وش

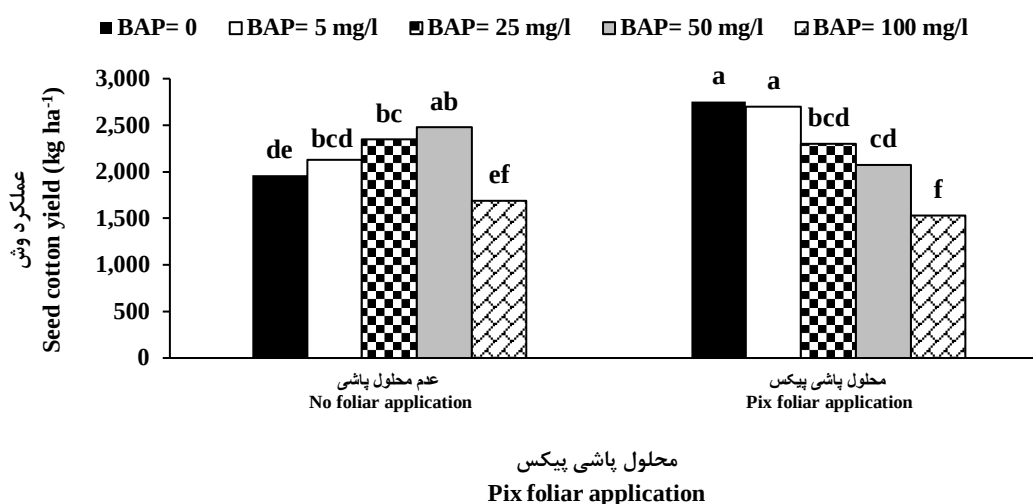
اثر محلول پاشی پیکس، غلظت BAP و اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر عملکرد وش معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد وش با ۲۷۵۴/۳ کیلوگرم در هکتار، در تیمار محلول پاشی ۱/۵ لیتر در هکتار پیکس به‌تنهایی تولید گردید که از افزایش ۴۰/۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول پاشی پیکس و BAP) برخوردار بود. کمترین عملکرد وش نیز در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۲/۲ درصد کاهش نشان داد. در شرایط عدم محلول پاشی پیکس، با افزایش غلظت BAP ۵۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، عملکرد وش افزایش و سپس کاهش یافت، به‌طوری که کمترین عملکرد وش در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP تولید گردید. این در حالی است که در شرایط محلول پاشی پیکس، عملکرد وش با

در پژوهش حاضر، محلول پاشی غلظت‌های مختلف BAP به‌تنهایی، درصد غوزه باز نسبت به تیمار شاهد را کاهش داد. این در حالی است که در مطالعه‌ای دیگر، محلول پاشی سیتوکینین N6-benzyladenine در مرحله غنچه‌دهی گیاه پنبه، باعث تسریع در باز شدن غوزه‌ها گردید (Fang *et al.*, 2019). افزایش تعداد غوزه در تیمارهای محلول پاشی BAP به‌تنهایی (شکل ۵)، از دلایل کاهش درصد غوزه باز در این تیمارها است. محلول پاشی بنزیل آمینو پورین از طریق تحریک تولید شاخه‌های جانبی و در نتیجه افزایش تعداد غوزه در بوته، رسیدگی و باز شدن غوزه‌ها را به تأخیر انداخته است. در یک پژوهش، محلول پاشی بنزیل آمینو پورین به دلیل تجمع کلروفیل و به تأخیر انداختن پیری برگ‌ها، دوره فعال پر شدن دانه را در دو رقم گندم مورد مطالعه افزایش داد و منجر به تأخیر در رسیدگی محصول گردید (Yang *et al.*, 2016).

مشابه با نتایج این پژوهش، گزارش‌ها حاکی است که محلول پاشی میکوکات کلرید باعث تسریع در رسیدگی و باز شدن غوزه‌های پنبه می‌گردد. دلیل این امر، بازدارندگی از رشد

شرایط عدم مصرف و غلظت ۵ میلی گرم در لیتر BAP وجود نداشت (شکل ۷).

افزایش غلظت BAP کاهش یافت و بیشترین عملکرد وش در شرایط عدم مصرف BAP و کمترین آن در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP به دست آمد. تفاوت معنی داری بین



شکل ۷- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر عملکرد وش

Figure 7- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on seed cotton yield

غوزه در بوته در مطالعه حاضر، افزایش عملکرد وش در واکنش به محلول پاشی پیکس، نتیجه افزایش میانگین وزن غوزه‌ها می‌باشد. این نتیجه حاکی از آن است که با کنترل رشد رویشی پنبه در صورت محلول پاشی با پیکس، می‌توان موجبات افزایش عملکرد را فراهم کرد. نتایج مطالعات پیشین نشان داده است که کاربرد میکوات کلرید در مراحل غنچه دهی و گل دهی پنبه، از طریق تسریع گل دهی و افزایش تعداد میوه، عملکرد نهایی را افزایش می‌دهد (Nawalagatti, 2011; Collins *et al.*, 2017). آن‌ها دلیل احتمالی افزایش عملکرد پنبه در واکنش به مصرف دیر هنگام پیکس را کاهش رشد رویشی و تسریع در بلوغ برگ‌ها ذکر کردند.

عملکرد بیولوژیک

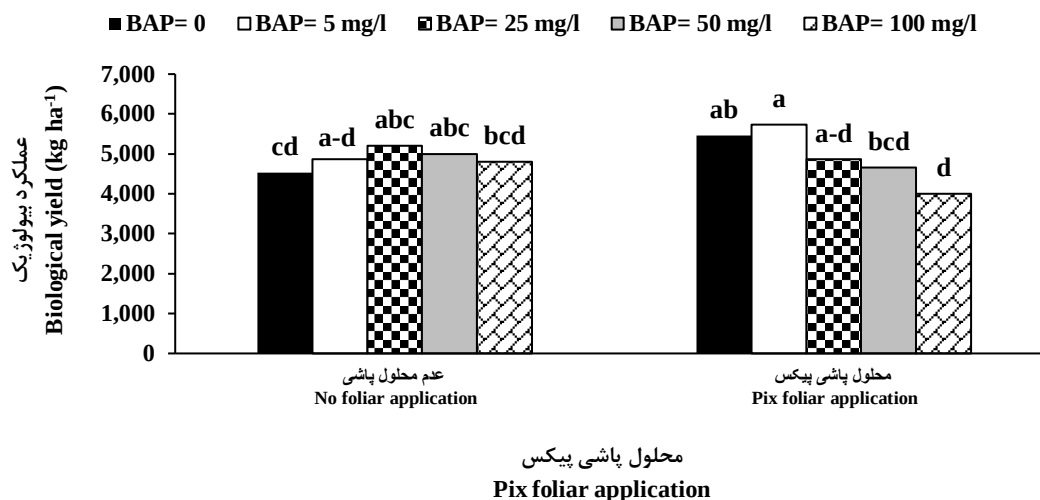
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول پاشی پیکس تأثیر معنی داری بر عملکرد بیولوژیک نداشت، اما اثر غلظت BAP و اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک با ۵۷۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار، در تیمار محلول پاشی ۱/۵ لیتر در هکتار پیکس همراه با ۵ میلی گرم در

افزایش عملکرد وش با افزایش غلظت BAP تا ۵۰ میلی گرم در لیتر در شرایط عدم محلول پاشی پیکس و کاهش آن با افزایش غلظت BAP در شرایط محلول پاشی پیکس، نتیجه واکنش متفاوت اجزاء مهم عملکرد (تعداد غوزه و وزن تک غوزه) به کاربرد غلظت‌های مختلف BAP به تنهایی یا همراه با پیکس است. افزایش عملکرد محصولات زراعی با کاربرد سیتوکینین‌ها، می‌تواند به دلیل افزایش محتوای کلروفیل و بهبود فتوسنتز، افزایش سطح برگ، افزایش تعداد گل‌های تولید شده و کاهش درصد ریزش گل‌ها باشد (Khalil *et al.*, 2006). گزارش شده است که محلول پاشی سیتوکینین از طریق افزایش محتوای کلروفیل، سطح برگ بوته و تعداد شاخه گل دهنده، باعث افزایش عملکرد دانه در برخی از ژنوتیپ‌های گیاه کینوا در شرایط مطلوب آبیاری و کم آبیاری گردیده است (Salek Mearaji *et al.*, 2020). بررسی اثر تنظیم کننده‌های رشد بر عملکرد پنبه نشان داد که کاربرد تنظیم کننده رشد بنزیل آدنین، از طریق افزایش فتوسنتز و در نتیجه کاهش میزان ریزش گل و میوه، عملکرد وش در پنبه را بهبود بخشید (Fang *et al.*, 2019).

با توجه به عدم تأثیر معنی دار محلول پاشی پیکس بر تعداد

میلی گرم در لیتر BAP بالاترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد که با شرایط عدم مصرف و غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP تفاوت معنی دار نشان نداد. غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP باعث کاهش معنی دار عملکرد بیولوژیک در مقایسه با غلظت ۵ میلی گرم در لیتر BAP گردید که در این میان، غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP بیشترین کاهش در عملکرد بیولوژیک را ایجاد نمود (شکل ۸).

لیتر BAP تولید گردید که از افزایش ۲۶/۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود. کمترین عملکرد بیولوژیک (۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP حاصل شد که تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نداشت. در شرایط عدم محلول پاشی پیکس، بیشترین عملکرد بیولوژیک در غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که تفاوت معنی داری با سایر سطوح مصرف BAP نداشت. در شرایط محلول پاشی پیکس، غلظت ۵



شکل ۸- اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر عملکرد بیولوژیک

Figure 8- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on biological yield

(جدول ۴). با توجه به این که شاخص برداشت پنبه حاصل تقسیم عملکرد و ش بر عملکرد بیولوژیک می باشد، کاهش بیشتر عملکرد و ش در مقایسه با عملکرد بیولوژیک را می توان به عنوان عامل کاهش معنی دار شاخص برداشت پنبه در واکنش به محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP ذکر نمود.

درصد کیل

اثر محلول پاشی پیکس و اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر درصد کیل پنبه در سطح ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین درصد کیل پنبه (۵۲/۲ درصد) در تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول پاشی پیکس و BAP) ۲۰/۳ درصد افزایش داشت. کمترین درصد کیل پنبه (۳۳/۲ درصد) به تیمار محلول پاشی پیکس همراه با ۱۰۰

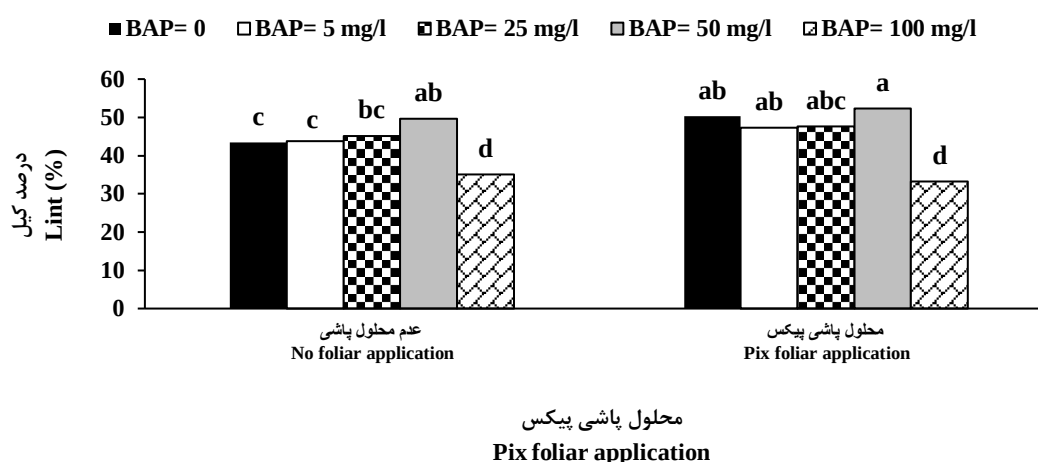
شاخص برداشت

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، غلظت BAP تأثیر معنی داری بر شاخص برداشت گیاه پنبه داشت، اما اثر محلول پاشی پیکس و اثر متقابل محلول پاشی پیکس و غلظت BAP بر شاخص برداشت معنی دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول پاشی غلظت‌های ۵، ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP تغییر معنی داری در شاخص برداشت گیاه پنبه ایجاد نکرد، اما افزایش غلظت BAP به ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، شاخص برداشت را در مقایسه با شرایط عدم مصرف BAP به طور معنی داری کاهش داد که میزان این کاهش برابر با ۲۰/۷ درصد بود (جدول ۴).

در پژوهش حاضر، محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP باعث کاهش معنی دار عملکرد و ش و عملکرد بیولوژیک پنبه نسبت به سایر سطوح مصرف این تنظیم کننده رشد گردید

میلی گرم در لیتر BAP به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد. در شرایط محلول‌پاشی پیکس، بیشترین درصد کیل در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شرایط عدم مصرف و غلظت‌های ۵ و ۲۵ میلی گرم در لیتر BAP نداشت. افزایش غلظت BAP به ۱۰۰ میلی گرم در لیتر باعث کاهش قابل‌ملاحظه درصد کیل نسبت به سایر سطوح مصرف BAP گردید (شکل ۹).

میلی گرم در لیتر BAP اختصاص داشت که از کاهش ۲۳/۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود. در شرایط عدم محلول‌پاشی پیکس، افزایش غلظت BAP تا ۲۵ میلی گرم در لیتر تأثیر معنی‌داری بر درصد کیل پنبه نداشت، اما افزایش غلظت BAP به ۵۰ میلی گرم در لیتر، باعث افزایش معنی‌دار درصد کیل نسبت به شرایط عدم مصرف BAP گردید. محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر BAP، درصد کیل را نسبت به شرایط عدم مصرف و غلظت‌های ۵، ۲۵ و ۵۰



شکل ۹- اثر متقابل محلول‌پاشی پیکس و غلظت بنزیل آمینو پورین بر درصد کیل

Figure 9- Interaction effect between pix foliar application and benzylaminopurine concentration on lint percentage

کیل در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر و بیشترین میانگین وزن غوزه و درصد غوزه باز در شرایط عدم محلول‌پاشی BAP مشاهده شد. این در حالی است که در شرایط مصرف پیکس، بیشترین ارتفاع بوته و عملکرد وش در شرایط عدم محلول‌پاشی، بیشترین تعداد شاخه جانبی و تعداد غوزه در بوته در غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر، بیشترین میانگین وزن غوزه و درصد غوزه باز در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و بیشترین درصد کیل در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر BAP به‌دست آمد. با توجه به نتایج، محلول‌پاشی ۱/۵ لیتر در هکتار پیکس، به‌منظور تولید عملکرد مطلوب و افزایش درصد کیل پنبه در کشت نشایی دیرهنگام قابل توصیه می‌باشد.

تعارض منافع

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

بر اساس نتایج مطالعات پیشین، پنبه‌های تیمار شده با پیکس از عملکرد الیاف بالاتری برخوردار بوده‌اند (Wilson *et al.*, 2007; Mirshekari and Asfaram Meshkinshahr, 2013; Fang *et al.*, 2019). تغییر در ساختار کانوپی و نسبت منبع-مخزن و تنظیم دقیق تعادل هورمونی گیاهان ازجمله دلایل ذکر شده برای افزایش عملکرد الیاف پنبه در واکنش به محلول‌پاشی پیکس می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که واکنش عملکرد و اجزاء عملکرد پنبه به غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد BAP، در شرایط مصرف و عدم مصرف پیکس متفاوت بود. در شرایط عدم مصرف پیکس، بیشترین ارتفاع بوته در غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر، بیشترین تعداد شاخه جانبی و تعداد غوزه در بوته در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، بیشترین عملکرد وش و درصد

References

- Abbas, H., Wahid, M.A., Sattar, A., Tung, S.A., Saleem, M.F., Irshad, S., Alkahtani, J., Elshikh, M.S., Cheema, M. and Li, Y., 2022. Foliar application of mepiquat chloride and nitrogen improves yield and fiber quality traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plos One*, 17(6), e0268907. doi:10.1371/journal.pone.0268907
- Ahmed, H.S.A., Zewail, R.M.Y. and Hassan, A.A., 2014. Effect of pix and potassium citrate on growth, productivity, fiber quality and yarn on egyptian cotton. *The Bulletin, Faculty of Agriculture-Cairo University*, 65, pp.420-430. doi:10.21608/ejarc.2014.214039
- Akter, N., Rafiqul Islam, M., Abdul Karim, M. and Hossain, T., 2014. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 17(1), pp.41-48. doi:10.1007/s12892-013-0117-3
- Arteca, R.N., 1996. Plant Growth Substances: Principles and Applications. Springer New York, NY. 332p.
- Collins, G.D., Edmisten, K.L., Wells, R. and Whitaker, J.R., 2017. The Effects of Mepiquat Chloride Applied to Cotton at Early Bloom and Physiological Cutout. *Journal of Cotton Science*, 21, pp.183-189.
- Cortleven, A. and Schmölling, T., 2015. Regulation of chloroplast development and function by cytokinin. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), pp.4999-5013. doi:10.1093/jxb/erv132
- El-Gabierly, A.E. and Ata Allah, Y.F.A., 2017. Response of cotton plant to foliar application with mepiquat chloride (Pix) and kaolin. *Journal of Plant Production*, 8(10), pp.1037-1043.
- Fang, Sh., Gao, K., Hu, W., Wang, Sh., Chen, B. and Zhou, Zh., 2019. Foliar and seed application of plant growth regulators affects cotton yield by altering leaf physiology and floral bud carbohydrate accumulation. *Field Crops Research*, 231, pp.105-114. doi:10.1016/j.fcr.2018.11.012
- Ghatei, A., Bakhshandeh, A., Abdali Mashhadi, A., Siadat, S.A., Alami Saeid, K. and Gharineh, M., 2015. Effect of different nitrogen levels and cytokinin foliar application on yield and yield components of wheat at terminal heat stress conditions in Ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(16), pp.97-107. [In Persian]. doi:10.18869/acadpub.jcpp.5.16.97
- Haghighat Nia, H., Shirvanian, A. and Hekmat, M.H., 2016. Effect of different levels of irrigation and plant growth regulatory of pix on yield of cotton (case study: Darab, Fars). *Iranian Journal of Cotton Researches*, 4(1), pp.61-76. [In Persian]. doi:10.22092/ijcr.2017.109250
- Iqbal, M., Hayat, K. and Islam, N., 2007. Cotton response to mepiquat chloride and nitrogen under ultra narrow plant spacing. *Asian Journal of Plant Science*, 6, pp.87-92. doi:10.3923/ajps.2007.87.92
- jafari, H., 2020. Investigation of transplanting and wet planting cotton in increasing water use productivity (case study: North Khorasan Province). *Irrigation and Water Engineering*, 11(2), pp.224-237. [In Persian]. doi:10.22125/iwe.2020.120733
- Khajeh Mozaffari, M., Abdolhosseini, M., Ghorbani Nasrabad, G. and Farzaneh, M.R., 2019. Evaluation of the effects of different water quantities and irrigation frequency on cotton yield and yield components in direct and transplanting methods. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(5), pp.1331-1341. [In Persian].
- Khalil, S., El-Saeid, H. and Shalaby, M., 2006. The role of kinetin in flower abscission and yield of lentil plant.

- Journal of Applied Sciences Research*, 2, pp.587-591.
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In: Douce, R. and Packer, L. (eds.). *Methods Enzymol*, 148, pp.350-382. Academic Press Inc., New York.
- Mahrookh, A., Nabipour, M., Roshanfekar Dezfoli, H. and Choukan, R., 2019. The effects of auxin and cytokinin hormones on maize grain quality under drought stress condition. *Plant Ecophysiology*, 11(37), pp.191-201. [In Persian].
- Mehrabadi, H.R., 2017. Effect of Different Planting Dates and Methods on Quantity and Quality Traits of Varamin Cotton Cultivar. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(2), pp.61-72. [In Persian].
doi:10.18869/acadpub.jcpp.7.2.61
- Mehregan, F., Keramatzadeh, A., Eshraghi, F. and Shirani Bidabadi, F., 2016. Factors affecting the cotton acreage response in Golestan Province. *Iranian Journal of Cotton Researches*, 4(1), pp.1-16. [In Persian].
doi:10.22092/ijcr.2017.109246
- Mirshekari, B. and Asfaram Meshkinshahr, H., 2013. Response of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars to topping and plant growth regulator. *Seed and Plant Production Journal*, 29(1), pp.97-108. [In Persian].
doi:10.22092/sppj.2017.110502
- Mottaki, A., 2005. Effect of pix and sowing density on quantitative and qualitative characteristic of cotton. *Zeyton*, 161, pp.24-26. [In Persian].
- Murtza, K., Ishfaq, M., Akbar, N., Hussain, S., Anjum, S.A., Bukhari, N.A., AlGarawi, A.M. and Hatamleh, A.A., 2022. Effect of mepiquat chloride on phenology, yield and quality of cotton as a function of application time using different sowing techniques. *Agronomy*, 12(5), 1200. **doi:10.3390/agronomy12051200**
- Nawalagatti, C.M., Doddamani, M.B., Jyothi, R.H. and Chetti, M.B., 2011. Effect of plant growth regulators on growth, biochemical traits, yield and yield attributes in Bt cotton. *Journal Of Eco-Friendly Agriculture*, 6, pp.25-28.
- Nuti, R.C., Viator, R.P., Casteel, S.N., Edmisten, K.L. and Wells, R., 2006. Effect of Planting Date, Mepiquat Chloride, and Glyphosate Application to Glyphosate-Resistant Cotton. *Agronomy Journal*, 98, pp.1627-1633.
doi; 10.2134/agronj2005.0360
- Rosolem, C.A., Oosterhuis, D.M. and de Souza, F.S., 2013. Cotton response to mepiquat chloride and temperature. *Scientia Agricola*, 70(2), pp. 82-87.
- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A. and Niazsepehvand, A.A., 2020. The effect of cytokinin on physiological and related traits with yield of quinoa under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 22(3), pp.419-432. [In Persian]. **doi:10.22059/jci.2020.292821.2298**
- Seddighi, E., Ramezani Moghaddam, M., Sirousmehr, A. and Asgharipour, M.R., 2013. Investigation on the effect of cotton cultivars and different planting dates on barley-cotton double cropping system in Gonabad climatic conditions. *Journal of Agroecology*, 5(1), pp.58-66. [In Persian].
- Wilson, D.G., York, A.C. and Edmisten, K.L., 2007. Narrow-row cotton response to mepiquat chloride. *The Journal of Cotton Science*, 11, pp.177-185. **doi:10.22067/jag.v5i1.21323**

- Yang, D., Li, Y., Shi, Y., Cui, Z., Luo, Y., Zheng, M. and Wang, Z., 2016. Exogenous cytokinins increase grain yield of winter wheat cultivars by improving stay-green characteristics under heat stress. *Plos One*, 11, e0155437. doi: 10.1371/journal.pone.0155437
- Zhao, J., Bai, W., Zeng, Q., Song, S., Zhang, M., Li, X., Hou, L., Xiao, Y., Luo, M., Li, D., Luo, X. and Pei, Y., 2015. Moderately enhancing cytokinin level by down-regulation of GhCKX expression in cotton concurrently increases fiber and seed yield. *Molecular Breeding*, 35(2), 60. doi: 10.1007/s11032-015-0232-6

Effect of foliar application of 6-benzylaminopurine and pix on growth characteristics and yield of delayed transplanting cotton (*Gossypium hirsutum* L.)

Dariush Saadati¹, Matin Jami Moeini^{2*}, Mohammad Armin²

¹ Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

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

*Corresponding Author: mat_jami@iaus.ac.ir

Received: 25 March 2023

Accepted: 31 May 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.391000.1333

Abstract

Introduction: Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is the most widely used natural fiber and the most important dual-purpose industrial plant in the world. Delayed transplanting of cotton using early cultivars is one of the effective methods to increase the cultivated area and increase the production of this strategic crop. Plant growth regulators can be effective in the source-sink balance in different plants and are progressively used to increase yield in many plants. Cytokinins are one of the most important plant growth regulators, which increase cell division and differentiation, reduce the effect of terminal dominance, increase leaf surface development, increase the number of lateral branches, increase mobility of nutrients, prevent chlorophyll decomposition, and prevent aging. Growth regulators containing mepiquat chloride, such as pix, reduce vegetative growth in cotton by preventing the synthesis of gibberellic acid. Controlling the growth of cotton as a result of the use of pix, allocates the photosynthetic assimilates to the fruit organs and growing bolls, which increases the weight of the bolls.

Materials and Methods: To investigate the effect of foliar application of 6-benzylaminopurine and pix on the growth and yield of cotton (cv. May 344) in delayed transplanting, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in Sabzevar during 2020. The factors studied were foliar application of pix at two levels of no foliar application and foliar application at the rate of 1.5 liters per hectare and 6-benzylaminopurine (BAP) foliar application at five concentrations of 0, 5, 25, 50 and 100 mg l⁻¹. May 344 cotton cultivar was used in this experiment.

Results and Discussion: The results showed that foliar application of pix significantly increased the content of chlorophyll a compared to the no foliar application conditions. Foliar application with concentrations of 50 and 100 mg l⁻¹ BAP also caused a significant increase in the content of chlorophyll a compared to the no foliar application conditions. The highest content of chlorophyll a was observed in the concentration of 50 mg l⁻¹ BAP, which had an increase of 17.7% compared to the control treatment. The highest height of the plant (67.9 cm) was obtained by foliar application of 25 mg l⁻¹ BAP alone, which showed an increase of 15.1% compared to the control. The lowest plant height (51.6 cm) was also observed in the treatment of foliar application of pix along with 100 mg l⁻¹ BAP. Foliar application of pix along with 25 mg l⁻¹ BAP produced the highest number of bolls per plant, which was 29.8% higher than the control. The highest average boll weight (5.4 g) and the highest percentage of open bolls (83.8%) were obtained in the foliar application treatment of pix with 100 mg l⁻¹ BAP, which was not significantly different from the control treatment. Foliar application of 1.5 liters per hectare of pix alone produced the highest seed cotton yield (2754.3 kg ha⁻¹), which had a 40.2% increase compared to the control. The highest biological yield was produced in the foliar application treatment of PIX along with 5 mg l⁻¹ of BAP, which had an increase of 26.5% compared to the control treatment. The lowest biological yield was obtained in the treatment of foliar application with 100 mg l⁻¹ of BAP, which was not significantly different from the control treatment. The highest percentage of lint (52.2%) was observed in the pix foliar application treatment along with 50 mg l⁻¹ BAP, which showed an increase of 20.3% compared to the control.

Conclusion: According to the results, foliar application of 1.5 liters per hectare of pix is recommended to produce high seed cotton yield and increase the percentage of lint in delayed transplanting cotton.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Cytokinin, Delayed planting, Mepiquat chloride

اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود دامی بر برخی از خصوصیات رشدی گیاه بومادران (*Achillea millefolium* L.) در شرایط اقلیمی کرمانشاه

مریم دارابی^۱، فرزاد مندنی^{۲*}، معصومه عامریان^۲

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

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

* مسئول مکاتبه: f.mondani@razi.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.402106.1348

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

چکیده

با هدف بررسی تأثیر تاریخ کشت و سطوح کودی بر برخی از خصوصیات رشدی گیاه بومادران آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی و پژوهشی دانشگاه رازی اجرا شد. تیمارها شامل کود دامی گوسفندی (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ تن در هکتار) به عنوان عامل اصلی و تاریخ کاشت (۱۵ فروردین، ۴ اردیبهشت، ۲۴ اردیبهشت) به عنوان عامل فرعی بود. صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، وزن خشک کل، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و عملکرد دانه بودند. نتایج نشان داد با افزایش سطوح کود دامی شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و وزن خشک کل در هر سه تاریخ کاشت افزایش یافت. بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۳/۱۵)، سرعت رشد محصول (۵/۸۳ گرم در متر مربع در روز) و وزن خشک کل (۸۱۰ گرم در متر مربع) در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و کاربرد ۳۰ تن کود دامی در هکتار و کمترین آنها در تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت و عدم مصرف کود دامی مشاهده شد. بیش‌ترین (۱/۷ گرم در متر مربع) و کمترین (۰/۲ گرم در متر مربع) عملکرد دانه به ترتیب در تیمار ۳۰ تن کود دامی در هکتار و تاریخ کشت ۱۵ فروردین و عدم مصرف کود دامی و تاریخ کشت ۲۴ اردیبهشت حاصل شد. بر اساس نتایج این تحقیق، تاریخ کشت ۱۵ فروردین و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی به علت بهبود عملکرد دانه و صفات رشدی برای کشت بومادران در شرایط کرمانشاه مناسب است.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، وزن خشک کل

مقدمه

تحت آن شرایط پتانسیل بالقوه خود را ظاهر کند. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان میزان کود دامی و زمان تاریخ کاشت این گیاه را نام برد (Aram et al., 2009).

هدف جامعه جهانی حرکت به سمت کشاورزی پایدار، در راستای کاهش یا حذف نهاده‌های شیمیایی و دستیابی به ثبات عملکرد و کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی می‌باشد (Koocheki et al., 2015).

یکی از رکن‌های اصلی در این نوع کشاورزی، استفاده از کود زیستی و دامی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و نیز افزایش باروری خاک است (Momeni et al., 2014). طبق مطالعات انجام شده استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود که ناشی از اسیدی شدن، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی، از دست دادن خواص فیزیکی خاک و کمبود عناصر ریزمغذی در کودهای

گیاهان دارویی سهم قابل توجهی در تولید داروهای موجود دارند (Sharifi Ashorabadi et al., 2009). بومادران گیاهی دارویی چندساله و علفی متعلق به خانواده ستاره آسراها (Asteraceae) است که از مهم‌ترین گیاهان صنعتی، دارویی و زینتی می‌باشد. ساقه، برگ و گل آن دارای خاصیت دارویی و ضد باکتریایی است. از جمله خواص این گیاه دارویی مقوی، ضد عفونی کننده، ضد تشنج، رفع بواسیر، مناسب برای درمان سرماخوردگی، قاعده‌آور، منعقد کننده خون، کاهش فشار خون و التیام‌دهنده زخم و جراحات می‌باشد (Taheri Boukani and Najafzadeh, 2019). عوامل محیطی تأثیر به سزایی روی کیفیت و کمیت محصول به دست آمده از گیاهان دارویی دارد. اما امکان کنترل تمام این عوامل نیست ولی با مدیریت زراعی مناسب می‌توان اثرات محیطی را به گونه‌ای تغییر داد که گیاه

مناسب تأثیر زیادی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی دارد و سایر تاریخ‌های کشت باعث کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Seghat Al-Eslami and Mousavi, 2008). در تحقیقی تاریخ کاشت ۱ و ۱۵ فروردین ماه در بیرجند باعث افزایش عملکرد دانه سیاهدانه (*Nigella sativa*) شد (Javadi, 2008). در تحقیق دیگر تاریخ کاشت ۱۵ فروردین ماه بر عملکرد و افزایش طول دوره رشد گیاه همیشه بهار اثر مثبت داشت (Seghat Al-Eslami and Mousavi, 2008). طبق نتایج به‌دست آمده در مشهد بهترین تاریخ کشت بومادران ۱۰ مرداد است که باعث بهبود ساقه‌دهی، گل‌دهی، ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه بومادران می‌شود (Ghani et al., 2021). تأخیر در کاشت بهاره گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) باعث کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد این گیاه شد (Shahsavari et al., 2012).

تاکنون تحقیقی در رابطه با تاریخ کشت این گیاه در کرمانشاه انجام نشده است و با توجه به اینکه تاریخ کشت و کود دامی تأثیر مثبتی بر رشد گیاه بومادران دارند، لذا این تحقیق به‌منظور تعیین سطح کود دامی گوسفندی و تاریخ کاشت مناسب گیاه دارویی بومادران در شرایط اقلیمی کرمانشاه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی کشاورزی ارگانیک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصافی در سه تکرار اجرا گردید.

تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح کود دامی گوسفندی (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ تن در هکتار) به‌عنوان عامل اصلی و سه تاریخ کاشت (۱۵ فروردین، ۴ اردیبهشت و ۲۴ اردیبهشت) به‌عنوان عامل فرعی بود. موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است.

قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متر جهت آنالیز خاک و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌برداری صورت گرفت و نتایج آزمون در جدول ۲ ذکر شده است.

شیمیایی است (Valiki and Ghanbari, 2015). کودهای دامی، دامنه وسیع‌تری از عناصر غذایی را در مقایسه با کودهای شیمیایی دارا هستند همه عناصر غذایی موجود در کود دامی در سال اول قابل استفاده توسط گیاه نخواهند بود. به‌طوری‌که در سال اول فقط ۵۰ درصد نیتروژن در دسترس گیاه زراعی خواهد بود (Azizi et al., 2019). کاربرد کودهای دامی به جای کودهای شیمیایی می‌تواند در سلامت بوم‌نظام زراعی و افزایش کیفیت محصولات زراعی نقش مهمی داشته باشد (Jalilian et al., 2021).

کاربرد کودهای آلی تأثیر زیادی بر صفات رشدی گیاه بومادران دارد (Mahmoud, 2009). در گیاه بومادران استفاده از ۶ کیلوگرم در مترمربع کود گاوی باعث افزایش ارتفاع گیاه، وزن خشک گیاه و اسانس شد (Ferraz et al., 2014; Abdou et al., 2015). در تحقیقی افزایش سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد و کیفیت اسانس ریحان (*Ocimum basilicum*) در نتیجه استفاده از ۵ تن در هکتار کود دامی گزارش شد (Anwar et al., 2007).

طبق نتایج به‌دست آمده استفاده از کود دامی در همیشه بهار (*Calendula officinalis*)، علاوه بر بهبود ساختمان خاک باعث افزایش ارتفاع گیاه، شاخه‌ها، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، وزن گل، تعداد گل در بوته، طول ساقه گل‌دهنده و قطر گل شده است (Shadpor et al., 2011). در تحقیقی دیگر ۹۴۷۰ کیلوگرم در هکتار کود دامی باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و اندام هوایی، درصد اسانس مریم گلی (*Salvia officinalis*) شد (Ghanbari Odivi et al., 2021). در گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea* L.) کاربرد ۶۰ تن کود گاوی در هکتار باعث بهبود خصوصیات رشدی از جمله ارتفاع گیاه و تعداد برگ شد (Liwanda et al., 2023).

در تحقیقی استفاده از کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی در کلم بروکسل (*Brassica oleracea* L. Var. italica) عملکرد را افزایش داد (Nyori et al., 2023).

تأخیر در کاشت به‌علت کوتاه شدن طول دوره رشد و افزایش دمای هوا در زمان گل‌دهی روی رشد و نمو گیاه اثرات نامطلوبی دارد، به‌طوری‌که باعث عدم باروری گل‌ها و در نهایت کاهش دانه خواهد شد (Javadi et al., 2021). تاریخ کشت

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی محل اجرای آزمایش

Table 1- Geographical and climatic location of the test site

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
	April	May	June	July	August	September
بارندگی Rainfall (mm)	3.8	8	0	0	0	0
روزهای ابری Rainy days	6	5	0	0	0	0
متوسط دما Average temperature (°C)	14.3	21.3	25.9	30.4	29.5	26.5
حداکثر مطلق دما Absolute maximum temperature (°C)	30	36.3	42.3	41.3	42.6	39.7
حداقل مطلق دما Absolute minimum temperature (°C)	-2.4	5.5	9.8	15.3	15.8	10.4
متوسط رطوبت Average humidity (%)	38	30	17	13	16	14
ساعات آفتابی Sunny hours	240.3	307.4	364.2	368.1	314.6	335.9
روزهای یخبندان Frosty days	4	0	0	0	0	0

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۳۰ سانتی‌متری

Table 2- Physical and chemical characteristics of experimental field soil at a depth of 30 cm

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds m ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg Kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg Kg ⁻¹)
رسی-لومی Clay-Loamy	7.7	0.87	0.11	13	280

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم نیمه‌عمیق، دیسک‌زنی، تسطیح کردن و کرت‌بندی در اسفند ماه سال ۱۳۹۹ انجام شد. حدود ۲ هفته قبل از کاشت کود دامی با توجه به تیمارهای مورد نظر به خاک مزرعه اضافه و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد که مشخصات کود گوسفندی استفاده شده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه کود گوسفندی استفاده شده در مزرعه آزمایشی

Table 3- Analysis results of sheep manure used in the experimental farm

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (ds m ⁻¹)	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg Kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg Kg ⁻¹)
7.76	0.54	0.71	8600	17500

در تحقیق انجام شده هر کرت فرعی شامل ۴ ردیف کاشت به طول ۸ متر بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر و

می‌شود، c حداکثر سرعت رشد نسبی و x ، زمان بر حسب روز پس از سبز شدن است. سطح ویژه برگ (SLA) و وزن ویژه (SLW) برگ نیز از طریق روابط زیر محاسبه شدند:

$$SLA = \frac{LA_1 + LA_2}{\frac{LW_1 + LW_2}{2}} \quad (۴)$$

$$SLW = \frac{\frac{LW_1}{LA_1} + \frac{LW_2}{LA_2}}{2} \quad (۵)$$

در این روابط LA_1 و LA_2 ، به ترتیب میانگین سطح برگ در دو فاصله زمانی مورد اندازه‌گیری و LW_1 و LW_2 ، به ترتیب میانگین وزن برگ در دو فاصله زمانی مورد اندازه‌گیری است. در زمان رسیدگی بذور بومادران (۲۱۵ روز پس از نشاء) نیز جهت اندازه‌گیری عملکرد پس از حذف اثرات حاشیه، ۵ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی برداشت و سپس بوته‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها عملکرد دلنه اندازه‌گیری شد. در پایان تجزیه داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

شکل ۱ روند تغییرات شاخص سطح برگ را در سطوح کودی و تاریخ کاشت‌های مختلف نشان می‌دهد. افزایش میزان کود دامی از صفر تن در هکتار به ۳۰ تن در هکتار باعث افزایش ۳۷ درصدی شاخص سطح برگ شد. تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت در تمام تیمارهای کودی دارای کم‌ترین شاخص سطح برگ بود، درحالی‌که تاریخ کاشت ۱۵ فروردین در تمامی تیمارهای کودی بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ را داشت. به‌طور کلی کم‌ترین میزان شاخص برگ ($1/18$) در بالاترین میزان خود طی دوره‌ی رشد در تیمار عدم مصرف کود دامی و تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت و بیش‌ترین میزان شاخص برگ ($3/15$) در سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی و تاریخ کاشت ۱۵ فروردین مشاهده شد.

تراکم نهایی مزرعه ۱۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. بذور مورد نیاز از شرکت پاکان بذور با قوه نامیه مناسب تهیه گردید. میزان بذور مورد نیاز برای تولید نشاء $2/5$ تا 3 کیلوگرم در هکتار بود. بذرها در سینی‌های نشاء در داخل گلخانه کشت و سپس در مرحله ۴ تا ۶ برگی نشاءها به زمین اصلی منتقل شدند. کاشت نشاءها به‌صورت دستی و در عمق مناسب ۵ تا ۸ سانتی‌متر به تفکیک تاریخ‌های کاشت صورت گرفت. پس از انتقال نشاءها به زمین اصلی آبیاری به روش تحت فشار از نوع بارانی و هر ۷ تا ۱۰ روز یکبار انجام گرفت. جهت کنترل علف‌های هرز وجین دستی در طول دوره انجام شد.

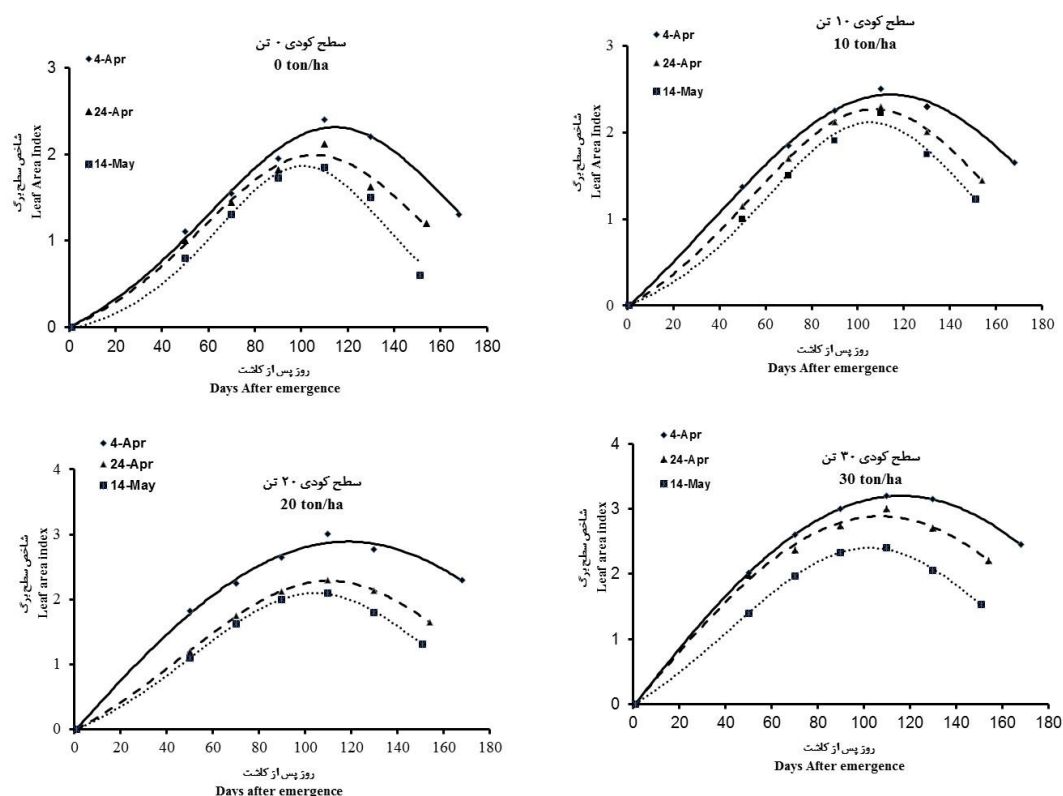
اندازه‌گیری صفات به دو صورت نمونه‌برداری تخریبی و نهایی انجام شد. صفات تخریبی حدود پنجاه روز بعد از استقرار نشاء (قبل از ساقه‌دهی بومادران) در زمین آغاز شد. در زمان نمونه‌برداری‌های تخریبی صفاتی نظیر شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه، برگ و اندام‌های زایشی، سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول با برداشت ۵ بوته به‌صورت کاملاً تصادفی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از روش پردازش تصویر و نرم افزار JmicroVision استفاده شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک کل، نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس توزین شدند. برای برآورد مقادیر وزن خشک کل روزانه بر حسب گرم در متر مربع از برازش رابطه ۱ استفاده گردید (Mondani et al., 2019). هم‌چنین برای محاسبه سرعت رشد محصول (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) از روش مشتق‌گیری از معادله وزن خشک کل و به ترتیب از روابط ۲ و ۳ استفاده شد.

$$TDM = \frac{a}{(1+b \times e^{(-c \times x)})} \quad (۱)$$

$$CGR = \frac{a \times b \times c \times e^{(-c \times t)}}{(1+b \times e^{(-c \times t)})^2} \quad (۲)$$

$$RGR = \frac{b \times c \times e^{(-c \times t)}}{(1+b \times e^{(-c \times t)})} \quad (۳)$$

در این روابط a ، حداکثر تجمع وزن خشک بر حسب گرم در متر مربع، b ، زمانی که وزن خشک کل وارد مرحله خطی



شکل ۱- اثر کاربرد کود دامی و تاریخ کاشت بر روند تغییرات شاخص سطح برگ بومادران
The effect of manure application and sowing date on leaf area index of yarrow –Figure 1

بستگی دارد. بنابراین چنین انتظار می‌رود که گیاهان کشت شده در تاریخ ۱۵ فروردین و با تیمار کودی ۳۰ تن در هکتار مدت زمان بیشتری فتوسنتز انجام داده و نهایتاً ماده خشک بیشتری تولید کنند که دلیل آن می‌تواند افزایش و فراهمی و جذب بهتر عناصر باشد. در نتیجه مصرف کود دامی باعث بهبود شاخص سطح برگ در تمام طول فصل رشد شد. به نظر می‌رسد کاربرد کود دامی از طریق بهبود ویژگی‌های خاک نظیر مقدار نیتروژن کل، یون نترات، یون آمونیوم و آهن باعث بهبود حاصل‌خیزی خاک و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ بومادران می‌شود (Ghanbari Odiv et al., 2021). تاریخ کاشت نیز در افزایش روند شاخص سطح برگ مؤثر بود و در تیمارهای کشت تأخیری به دلیل برخورد با شرایط نامساعد محیطی شاخص سطح برگ یک عامل محدود کننده عملکرد محسوب می‌شود (Khayat and Gohari, 2009). در گلرنگ و ریحان کود دامی اثر مثبتی بر شاخص سطح برگ داشت (Sharifi Ashorabadi et al 2009 ; Rahimpour and fallah, 2018). کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی باعث افزایش

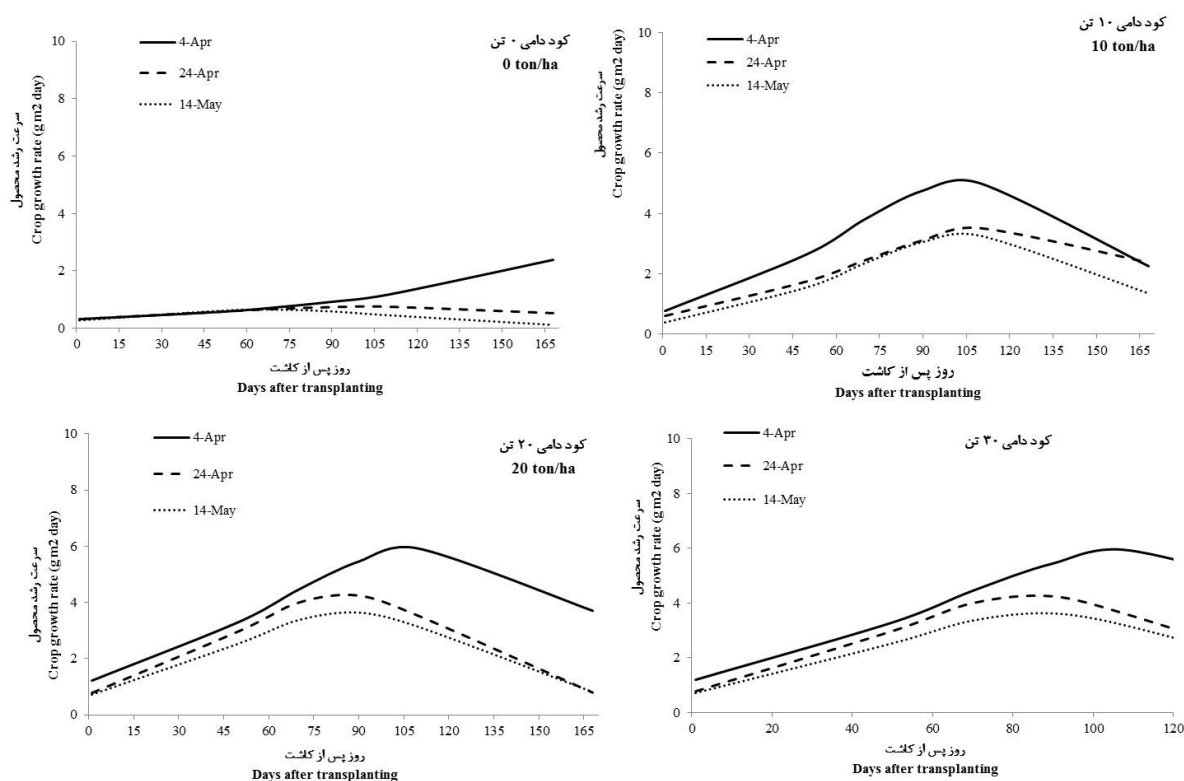
شاخص سطح برگ نشانگر ظرفیت فتوسنتزی گیاه بوده و به تعداد و اندازه برگ‌ها در هر مرحله از رشد بستگی دارد. به‌طور کلی سطح برگ به‌عنوان معیار اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی پذیرفته شده است. بومادران در اوایل رشد سطح برگ کمی داشته و در زمان گل‌دهی به حداکثر شاخص سطح برگ خود می‌رسد و سپس به دلیل سایه‌اندازی، پیری و ریزش برگ‌ها شاخص سطح برگ سیر نزولی می‌گیرد. در تاریخ کشت ۱۵ فروردین شرایط محیطی اعم از طول روز و درجه حرارت مناسب بوده و احتمالاً گیاه توانسته است حداکثر شاخص سطح برگ را از طریق افزایش در تعداد برگ و سطح تک برگ تولید نماید. استفاده کود دامی در اوایل دوره رشد موجب توسعه و گسترش برگ می‌شود و کود دامی باعث تأمین اکثر نیازهای غذایی ماکرو و میکرو گیاه (Araji et al., 2001) و بهبود خصوصیات از خاک مانند افزایش ظرفیت نگهداری آب (در بخش سطحی خاک) و حاصلخیزی خاک (Thierfelder et al., 2004) می‌شود. شاخص سطح برگ در طول دوره رشد گیاه به عواملی مانند میزان دما، نیتروژن، تراکم کشت و آب

برگ و جذب تشعشع کم، سرعت رشد محصول بسیار پایین بود، بعد از گذشت ۷۰ روز پس از سبز شدن به دلیل توسعه سطح برگ و افزایش جذب تشعشع و رشد ریشه‌ها و در نتیجه امکان فتوسنتز بیش‌تر، سرعت رشد محصول شدت یافت و در اواسط دوره رشد (حدود ۱۱۰ روز پس از سبز شدن) به حداکثر میزان خود رسید (شکل ۲).

قابل توجه شاخص سطح برگ آویشن (*Thymus vulgaris*) نسبت به تیمار شاهد شد (Askary et al., 2009).

سرعت رشد محصول (CGR)

روند سرعت رشد محصول در تیمارهای مورد بررسی مشابه نبود، به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد به دلیل داشتن سطح



شکل ۲- اثر کاربرد کود دامی و تاریخ کاشت بر روند تغییرات سرعت رشد محصول بومادران

Figure 2- The effect of manure application and sowing date on crop growth rate of yarrow

شد. به نظر می‌رسد با افزایش میزان کاربرد کود دامی، روند سرعت رشد محصول هم‌زمان با افزایش شاخص سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت میزان ماده خشک کل به دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی، به‌طور چشم‌گیری در تاریخ‌های مختلف کاشت بهبود یافته است (Yousefi and Daneshian, 2018). هم‌چنین با گذشت زمان، پس از رسیدن به حد نهایی خود با پیر شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز خالص (افزایش میزان تنفس)، سرعت رشد محصول کاهش یافت. در تحقیقی دیگر مشخص شد که استفاده از ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقابل تیمار عدم مصرف کود دامی سرعت رشد محصول آویشن افزایش یافته است (Askary

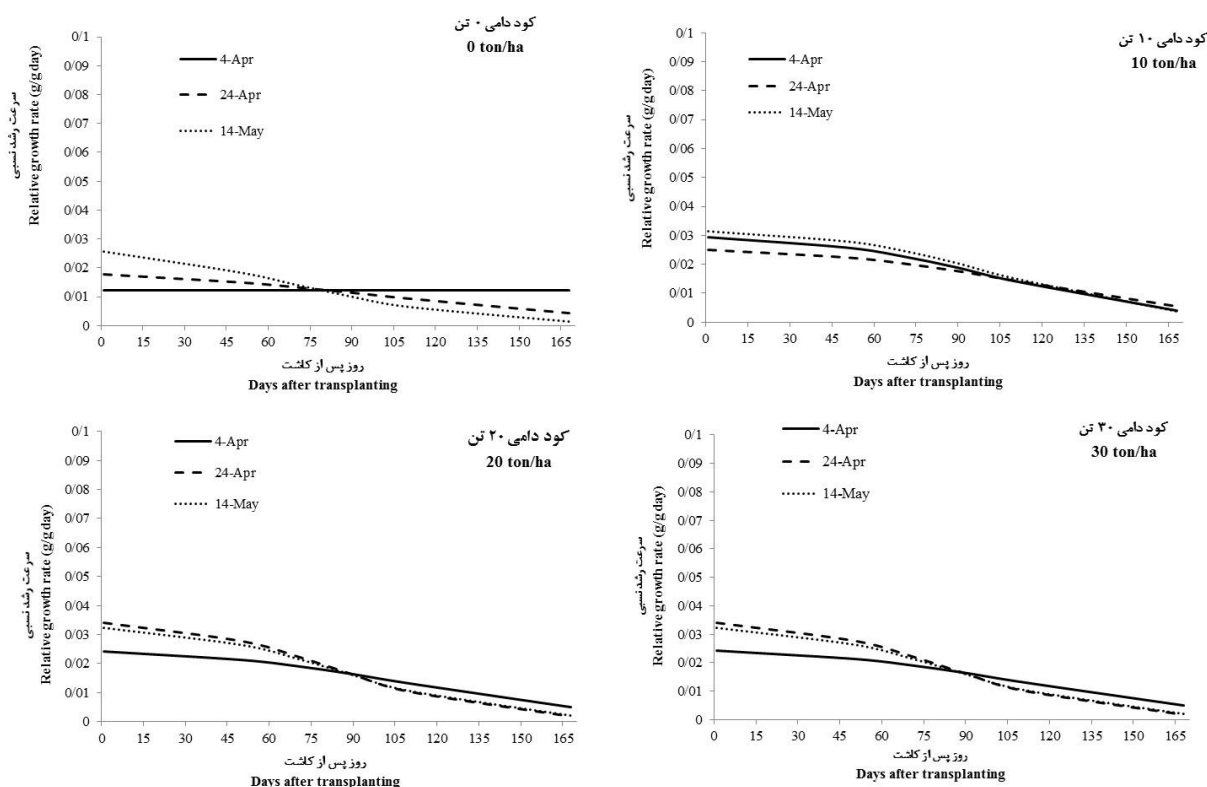
سپس گیاه به جای تولید مواد جدید به انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های مختلف به دانه پرداخته و تقریباً وزن کل گیاه ثابت ماند، در ادامه با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی دانه تعدادی از برگ‌ها غیر فعال و از بین رفته و سطح فتوسنتز کاهش پیدا کرد به همین خاطر سرعت رشد محصول دچار نزول شد (Yousefi and Daneshian, 2018). نتایج نشان داد که بیش‌ترین سرعت رشد در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین در شرایط ۳۰ تن در هکتار کود دامی (۵/۸۳ گرم بر متر مربع در روز) بود که این مقدار با افزایش ۱۳/۲۵ درصدی همراه بود و کم‌ترین سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت در شرایط عدم مصرف کود دامی (۰/۴۴ گرم بر متر مربع در روز) مشاهده

(et al., 2019).

پیدا کرد (Yousefi and Daneshian, 2018). مقادیر سرعت رشد نسبی در تمامی سطوح کود دامی در تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت بیش تر و روند کاهش آن نسبت به تاریخ کاشت ۱۵ فروردین سریع تر اتفاق افتاده است که این نتیجه با نتایج تحقیقات دیگر که در مورد گیاه نخود بود مطابقت داشت (Seyedi and Hamzei, 2021) و دلیل آن احتمالاً به تنش خشکی آخر فصل مربوط بوده است به گونه ای که در اثر خشکی، رقابت گیاهان برای به دست آوردن آب و مواد غذایی بیش تر بوده و در نتیجه آن فتوسنتز و سرعت رشد نسبی کاهش یافت.

سرعت رشد نسبی (RGR)

روند سرعت رشد نسبی در تیمارها مشابه نبود (شکل ۳)، به طوری که بیش ترین سرعت رشد نسبی گیاه در اوایل فصل رشد به دلیل پایین بودن هزینه های تنفس، نگهداری بوته ها به علت وزن خشک کم مشاهده شد و به تدریج با ادامه رشد، افزایش سن، افزایش بافت غیر زنده در گیاه و همچنین سایه اندازی برگ ها روی یکدیگر و در نتیجه همه این موارد، غیرفعال شدن بعضی از برگ ها مقدار سرعت رشد نسبی کاهش



شکل ۳- اثر کاربرد کود دامی و تاریخ کاشت بر روند تغییرات سرعت رشد نسبی بومادران

Figure 3- The effect of manure application and sowing date on changes in the relative growth rate of yarrow

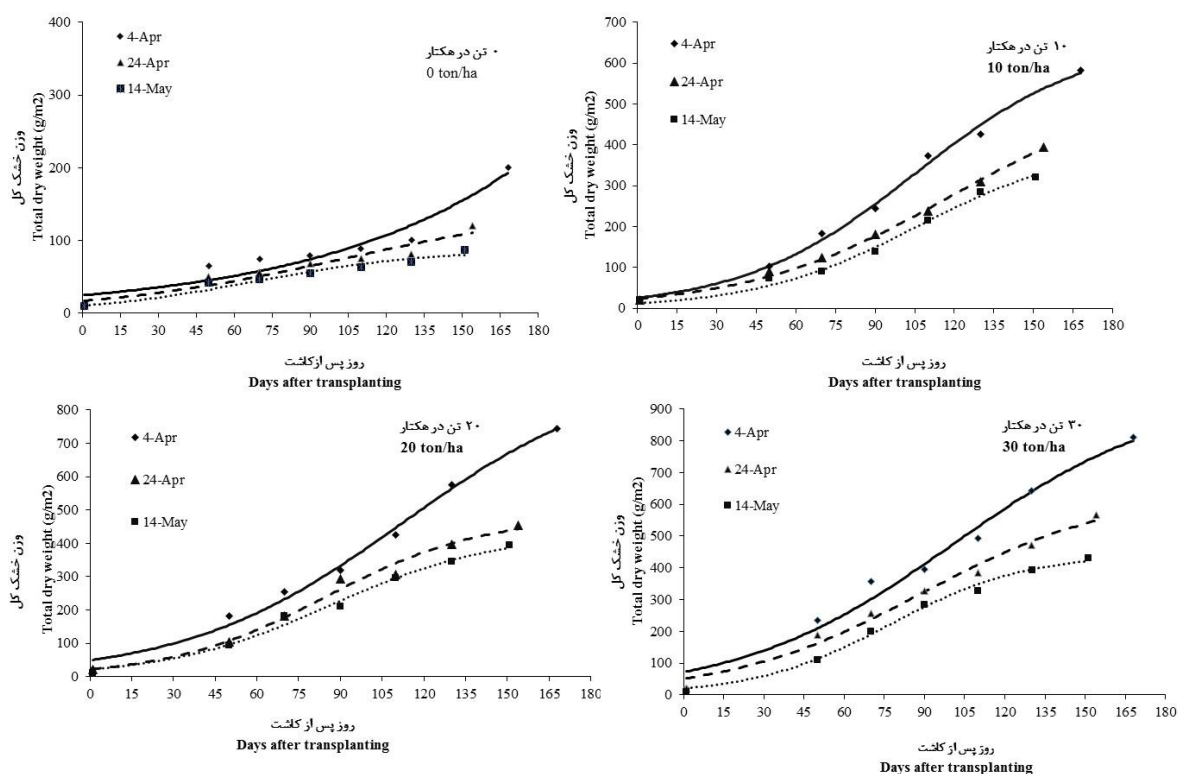
وزن خشک بوته به تبعیت از روند تغییرات شاخص سطح برگ به علت افزایش میزان فتوسنتز و تولید بیش تر برگ و اندام هوایی به تدریج افزایش یافت. روند وزن خشک در نتیجه کاربرد کود دامی برای تیمار ۱۰، ۲۰، ۳۰ تن در هکتار کود دامی تقریباً از ۵۰ روز پس از کاشت کند و بعد از آن به سرعت افزایش یافت. با شروع فاز زایشی گیاه در حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت مقدار وزن خشک دانه ها آغاز گردید. این روند افزایشی تا انتهای

وزن خشک کل

روند افزایش وزن خشک کل بومادران در نتیجه استفاده از کود دامی در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت در طی فصل رشد مشابه نبود (شکل ۴). در اوایل دوره رشد وزن خشک کل در بین سطوح مختلف کودی در تیمارهای تاریخ کاشت به علت کوچک بودن بوته ها بسیار ناچیز بود و تفاوت چندانی در روند تغییرات وزن خشک مشاهده نشد. اما در ادامه دوره رشد میزان

برگ ضعیف وارد فاز زایشی می‌شود و در نتیجه توان تولید کاهش می‌یابد (Khayat and Gohari, 2009). به‌طور کلی وزن خشک گیاه نشان‌دهنده توانایی گیاه در تولید و ذخیره شیره پرورده ساخته شده در طول فصل رشد است و تولید ماده خشک گیاهی به‌عنوان تابعی از نور جذب شده در طول دوره رشد و راندمان استفاده از نور تحت تأثیر ساختار کانوپی و شرایط محیطی است (Beheshti et al., 2002). در نتیجه کشت بومادران در ۱۵ فروردین و طولانی شدن فصل رشد منجر به تولید شیره پرورده بیش‌تر و در نهایت وزن خشک بیش‌تر شده است.

دوره‌ی رشد ادامه داشت. بیش‌ترین میزان وزن خشک کل در سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی و تاریخ کاشت ۱۵ فروردین (۸۱۰ گرم در متر مربع) و کم‌ترین میزان آن در تیمار عدم مصرف کود دامی و تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت‌ماه (۸۷ گرم در متر مربع) مشاهده شد. افزایش میزان کود دامی از صفر تن در هکتار به ۳۰ تن در هکتار کود دامی و طولانی بودن دوره رشد در تاریخ کاشت ابتدای فصل باعث افزایش ۸۹ درصدی شاخص وزن خشک کل در انتهای فصل رشد این گیاه دارویی شد. این مقادارها در تاریخ کاشت‌های مختلف متفاوت بود و دلیل آن را می‌توان تأخیر در کشت این گیاه عنوان کرد؛ زیرا در کشت تأخیری گیاه مرحله رویشی را به‌خوبی طی نکرده و با پتانسیل



شکل ۴- اثر کاربرد کود دامی و تاریخ کاشت بر روند تغییرات وزن خشک کل بومادران
The effect of manure application and sowing date on changes in dry weight of yarrow –Figure 4

اساس تحقیق دیگری در گیاه بومادران، محققین گزارش دادند که استفاده از کود دامی باعث افزایش وزن خشک کل این گیاه شد (Massoud et al., 2016; Abdou et al., 2015).

سطح ویژه برگ (SLA)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود دامی، تاریخ کاشت و نیز اثر متقابل آن‌ها بر سطح ویژه برگ در سطح

تاریخ کاشت ۱۵ فروردین‌ماه بر سایر تاریخ‌های کاشت برتری داشت و پس از آن تاریخ کاشت‌های ۴ و ۲۴ اردیبهشت‌ماه قرار داشتند. در تحقیقی مشخص شد وزن خشک کل در مریم گلی با میزان مصرف کود دامی ارتباط مستقیمی دارد (Ghanbari Odivi, 2021). در تحقیق انجام شده بر بومادران افزایش کود دامی در این گیاه باعث افزایش وزن خشک لندام هوایی این گیاه دارویی شد (Feraz et al, 2014). هم‌چنین بر

لذا تلفات نوری کم تر و توان فتوسنتزی آن بیش تر است (Asghari Lalami *et al.*, 2021). در نتیجه کشت بومادران در ۱۵ فروردین ماه و ۱۰ تن کود دامی باعث افزایش میزان سطح ویژه برگ و فتوسنتز شده است.

وزن ویژه برگ (SLW)

تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود دامی، تاریخ کاشت و اثر متقابل آن ها بر وزن ویژه برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴).

احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین کم ترین سطح ویژه برگ ($0.028/0$ متر مربع بر گرم) در سطح ۱۰ تن در هکتار کود دامی و تاریخ کاشت ۱۵ فروردین ماه و بیش ترین سطح ویژه برگ در تیمار عدم مصرف کود دامی و تاریخ کاشت ۴ اردیبهشت ماه ($0.098/0$ متر مربع بر گرم) بود (جدول ۴). این نتیجه با تحقیق دیگری که روی دو گونه آویشن باغی و دناپی انجام شده بود مطابقت داشت (Askary *et al.*, 2019). سطح ویژه برگ نشان دهنده ضخامت برگ است و هر چه کوچک تر باشد، برگ ضخیم تر است و تعداد کلروپلاست و غلظت کلروفیل سلول های مزوفیل آن بیشتر است

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود دامی و تاریخ کاشت بر برخی از صفات رشدی گیاه بومادران
Table 4- The results of analysis of variance (mean square) of the effect of manure and sowing date on some growth traits of yarrow plant

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	سطح ویژه برگ Specific leaf area	وزن ویژه برگ Specific leaf Weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.002 ^{ns}	23.09 ^{ns}	288.58 ^{ns}
کود دامی Farmyard manure (FM)	3	0.0026 ^{**}	21136.94 ^{**}	174246.35 ^{**}
خطای اصلی Main error	6	0.502	24.98	194.28
تاریخ کاشت Sowing Date (SD)	2	0.048 ^{**}	2187.74 ^{**}	159386.37 ^{**}
FM × SD	6	0.0034 ^{**}	153.68 ^{**}	669452.93 ^{**}
خطای فرعی Sub error	16	9.56	9.27	1543.53
CV (%) ضریب تغییرات	-	10.13	10.39	12.98

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

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

دارد (Gilani *et al.*, 2018). در روزهای ابتدایی رشد شاخص سطح برگ کند و تدریجی بود و سپس تولید برگ توسط گیاه با سرعت زیادی افزایش و در مرحله گل دهی به حداکثر مقدار خود رسید. از طرف دیگر افزایش وزن برگ نیز اتفاق افتاد که این امر ارتباط مستقیمی با افزایش وزن ویژه برگ داشت. محققین دیگر نیز گزارش کردند که استفاده از ۳۰ تن در هکتار

بر اساس نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که بیش ترین میزان وزن ویژه برگ در سطح کودی ۳۰ تن در هکتار و ۱۵ فروردین ماه (۱۷۸/۹۹ گرم بر متر مربع) و کم ترین وزن ویژه برگ در تیمار عدم مصرف کود دامی همراه با تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت ماه (۵۲/۱۸ گرم بر متر مربع) بود (جدول ۵). نسبت وزن ویژه برگ به تغییرات سطح سبز و وزن خشک برگ بستگی

کود دامی باعث افزایش وزن ویژه برگ در آویشن شد (Askary *et al.*, 2019). طبق نتایج به دست آمده کشت بومادران در ۱۵ فروردین ماه با افزایش سطح برگ همراه بوده است که می تواند دلیلی برای افزایش وزن ویژه برگ باشد. کشت بومادران در تاریخ ۱۵ فروردین ماه و کاربرد کود دامی که با فراهمی مواد غذایی همراه بوده موجب افزایش وزن ویژه برگ شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کاربرد کود دامی و تاریخ کاشت بر برخی از صفات رشدی گیاه بومادران

Table 5- Comparison of the average effect of manure application and sowing date on some growth characteristics of yarrow plant

کود دامی Farmyard manure (ton ha ⁻¹)	زمان انتقال نشاء Transplantation time (month)	سطح ویژه برگ Specific leaf area (m ² g ⁻¹)	وزن ویژه برگ Specific leaf Weight (g m ⁻²)	عملکرد دانه Grain yield (g m ⁻²)
0	۱۵ فروردین April 4	0.0064 ^b	64.16 ⁱ	0.4 ^d
	۴ اردیبهشت April 24	0.0094 ^a	57.7 ^j	0.27 ^d
	۲۴ اردیبهشت May 14	0.0069 ^b	52.18 ^k	0.20 ^d
10	۱۵ فروردین April 4	0.0028 ^f	161.657 ^c	0.5 ^d
	۴ اردیبهشت April 24	0.0037 ^{cd}	124.55 ^g	0.4 ^d
	۲۴ اردیبهشت May 14	0.0038 ^c	121.25 ^h	0.34 ^d
20	۱۵ فروردین April 4	0.0030 ^{ef}	167.93 ^b	1.1 ^b
	۴ اردیبهشت April 24	0.0036 ^{cd}	152.70 ^e	0.81 ^c
	۲۴ اردیبهشت May 14	0.0033 ^{de}	147.19 ^f	0.47 ^d
30	۱۵ فروردین April 4	0.0030 ^{ef}	178.99 ^a	1.7 ^a
	۴ اردیبهشت April 24	0.0038 ^c	156.11 ^d	1.04 ^b
	۲۴ اردیبهشت May 14	0.0035 ^{cd}	153.03 ^e	0.8 ^c

میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using Duncan

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود دامی، تاریخ کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه (۱/۷ گرم در متر مربع) در تیمار تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد و کم‌ترین عملکرد دانه (۰/۲ گرم در متر مربع)

مربوط به تیمار عدم مصرف کود دامی و تاریخ کاشت ۲۴ اردیبهشت بود (جدول ۵). افزایش سطح کود دامی و تاریخ ۱۵ فروردین، به دلیل تأثیر مثبتی که بر جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم دارند باعث بهبود عملکرد دانه می‌شوند (Mohammadzadeh Toutounchi, 2021). افزایش سطح برگ در تاریخ کشت ۱۵ فروردین‌ماه می‌تواند بخشی از افزایش عملکرد دانه بومادران را توصیف کند

(شکل ۱). شاخص سطح برگ از شاخص‌های مهم فیزیولوژیک در عملکرد دانه محسوب می‌شود که اگر در مرحله گل‌دهی این شاخص بالا باشد میزان عملکرد نیز افزایش می‌یابد. بین وزن خشک و عملکرد دانه نیز ارتباط مثبتی وجود داشت و بیش‌ترین وزن خشک نیز در تیمار تاریخ کاشت ۱۵ فروردین و سطح ۳۰ تن در هکتار کود دامی بود (شکل ۴). در مطالعات دیگر گزارش شد که کود دامی روی عملکرد دانه گلرنگ بهاره تأثیر مثبت دارد (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2014). در کنجد (*Sesamum indicum*) نیز با افزایش میزان کود دامی، عملکرد دانه افزایش یافت (Jalilian *et al.*, 2021). در گیاه بومادران (Ghani *et al.*, 2011) و سویا (*Glycine max*) (van Versendaal *et al.*, 2023) نیز کشت دیرهنگام با کاهش

عملکرد همراه بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد در گیاه بومادران با افزایش کود گوسفندی تا ۳۰ تن در هکتار و تاریخ کشت ۱۵ فروردین ماه خصوصیات رشدی مورد مطالعه مانند شاخص سطح برگ، وزن خشک، سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی افزایش یافت. هم‌چنین تاریخ کاشت ۱۵ فروردین ماه و کاربرد کود دامی ۳۰ تن در هکتار تأثیر چشم‌گیری بر میزان عملکرد دانه داشتند. بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان از تاریخ کشت ۱۵ فروردین و ۳۰ تن در هکتار کود گوسفندی برای کشت بومادران در شرایط کرمانشاه استفاده نمود.

References

- Abdou, M.A.H., Aly, M.K., Ahmed, K.Z., Hassan, E.A. and Kamel, H.M., 2015. Effect of compost, bio and NPK fertilization on essential oil production of yarrow flowering tops, *Achillea millefolium* L. *Plant. Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 2(2), pp.167-174. Doi: 10.21608/sjfp.2015.5109.
- Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Kumar Alpesh, A. and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(13-14), pp.1737-1746. <https://doi.org/10.1081/CSS-200062434>
- Aram, Sh., Faramarzi, A., Fabodi, M. and Khorshid, M., 2009. The effect of manure levels and planting date on sweet corn yield and yield components in the Mianeh region. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(12), pp.1-11. [In Persian].
- Araji, A.A., Abdol, Z.O. and Joyce, P., 2001. Efficient use of animal manure on cropland-economic analysis. *Bioresource Technology*, 79, pp.179-191. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00042-6).
- Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Jamialahmadi, M. and Mahmoodi, S., 2019. Effects of water stress and application of manure on growth indices and accumulation of dry matter of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. *Journal of Agroecology*, 11(2), pp.703-721. doi: 10.22067/jag. v11i2.63227. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.63227>
- Asghari Lalami, H., Valadabadi, S.A., Yazdani, M., Zakrin, H., and Gholipour, M.A., 2021. Effect of rotational irrigation on physiological growth indexes and water use of four rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Gilan Province. *Journal of Agroecology*, 12(4), pp.595-612. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/agry.2020.37569>.
- Azizi, E., Asadi, G.A., Ghorbani, R. and Khorramdel, S., 2019. The effect of cropping pattern and manure rates on competitive indices and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Plant Production*, 6(1), pp.199-213. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/jopp.2019.15825.2420>.

- Beheshti, A., Koocheki, A. and Nassiri Mahallati, M., 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Seed and Plant*, 18(4), pp.417-431. [In Persian].
- Ferraz, E., Bertolucci, S., Pinto, J.P., Braga, A.F. and Costa, A.G., 2014. Organic systems in the growth and essential-oil production of the yarrow. *Revista Ciência Agronômica*, 45(1), pp.111-119. DOI:10.1590/S1806-66902014000100014.
- Ghanbari Odivi, A., Fallah, S., Karimi, M. and Lorigooini, Z., 2021. Effect of animal manure on growth, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), pp.181-196. [In Persian]. SID. <https://sid.ir/paper/1050522/en>
- Ghanbari, A., Fakheri, B., Amiri, E. and Tavassoli, A., 2014. Evaluation nitrogen and radiation use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) under irrigation levels. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(1), pp.41-56. [In Persian].
- Ghani, A., Tehranifar, A., Azizi, M. and Ebadi, M.T., 2011. Effect of the date of planting on morphological characteristics, yield and essential oil content of *Achillea millefolium* sub sp millefolium. L in Mashhad climatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(3), pp.447-453. [In Persian].
- Ghani, A. and Azizi, M., 2009. The Effect of different drying methods on quantity and quality characteristics of five yarrow species (*Achillea*). *Plant Productions*, 32(1), pp.1-11. [In Persian]. https://plantproduction.scu.ac.ir/article_12205.html?lang=en.
- Gilani, A., Ataallah Siadat, A., Jalali, S. and Limouchi, K., 2018. Study of physiological indices and yield of the rice varieties in north regions of Khuzestan. *Journal of Plant Production Science*, 7(2), pp.73-88. [In Persian]. Doi: 10.2./jpps.2018.541927.
- Jalilian, S., Mondani, F., Fatemi Ghomeshe, A. and Bagheri, A.R., 2021. Effect of farmyard manure and green manure application on yield, yield components and grain oil content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under organic conditions. *Applied Field Crops Research*, 33(4), pp.62-83. [In Persian]. Doi: 10.22092/aj.2021.341662.1451.
- Javadi, H., 2008. Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), pp.59-66. [In Persian]. DOI:10.17660/ActaHortic.2010.853.13.
- Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Rashed Mohasel, M.H. and Seghatoleslami, M.J., 2021. Effect of organic, chemical and biological fertilizers on yield and efficiency of nitrogen and phosphorus in porslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), pp.271-293. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/GSC.V19I1.84776>.
- Khayat, M. and Gohari, M., 2009. Planting date effect on yield, seed yield, growth index and phonologic traits canola (*Brassica napus* L.) Genotypes in Ahvaz condition. *New Finding in Agriculture*, 3(3), pp.233-248. [In Persian].
- Koocheki, A., Nasiri mahalati, M., Moradi, R. and Alizade, Y., 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(1), pp.1-13. [In Persian]. Doi: 10.22067/gsc.v13i1.48310.

- Liwanda, N., Nurinayah, I., Mubayyinah, H., Rinka, A.R., Pratiwi, T.W., Ashari, R.Z., Aisyah, S.I. and Nurcholis, W., 2023. Effect of cow manure fertilizer on growth, polyphenol content, and antioxidant activity of purslane plants. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 23(1), pp.43-54.
- Mahmoud, A.W.M., 2009. Physiological Effects of Zeolite and Organic Fertilizers on Achillea Plant Grown Under Clean Agriculture. 4th Conference on Recent Technologies in Agriculture, PP: 11.
- Massoud, H., Abdel-Kader, H., Ibrahim, F. and Ibrahim, A., 2016. Effect of Mineral Fertilizer and Compost on Vegetative Growth and Essential Oil Content of Yarrow (*Achillea millefolium* L.) Plant. *Journal of Plant Production*, 7(6), pp.559-565. DOI:10.21608/jpp.2016.45523.
- Mohammadzadeh Toutounchi, P., 2021. Effect of vermicompost and manure on morphological traits, yield and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Plant Production Science*, 10(1), pp.78-91. [In Persian].
- Momeni, A.A., Bahmanyar, M.A. and Pirdashti, H., 2014. The Effects of green and farmyard manure and biofertilizer on nitrogen dynamics in soil, leaves and grains in corn (*Zea mays* L. cv. Sc704). *Journal of Agroecology*, 6(3), pp.595-606. [In Persian].
- Mondani, F., Khani, K., Jalali Honarmand, S. and Saeidi, M., 2019. Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (*Glycine max*) under water deficit stress condition. *Agricultural Water Management*, 213(1), pp.707-713. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.004>.
- Nyori, B., Singh, S. and Saxena, A.K., 2023. Effect of organic manure on growth, yield and economics of sprouting broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) under low hills of Uttarakhand. *The Pharma Innovation Journal*, 12(4), pp.493-500.
- Rahimpoor, M. and Falah, S., 2018. Effect of organic and chemical fertilizers on growth and yield of green basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, 10(1), pp.146-159. [In Persian]. Doi: 10.22067/jag.v10i1.54975.
- Rezvani Moghaddam, P., Norouzian, A. and Seyyedi, S.M., 2014. Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 7(3), pp.331-343. [In Persian]. Doi: 10.22067/jag.v7i3.52367
- Seghat Al-Eslami, M.J. and Mousavi, G.R., 2008. Effect of sowing date and plant density on grain and flower yield of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(2), pp.263-270. [In Persian]. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.826.52.
- Seyedi, S.M. and Hamzei, J., 2021. Study effect of sowing dates on quantitative and qualitative yield of chickpea cultivars under dryland condition. *Journal of Plant Production Research*, 28(4), pp.65-83. [In Persian]. Doi: 10.22069/jopp.2020.17459.2608
- Shadanpour, F., Mohammadi Torkashvand, A. and Hashemi Majd, K., 2011. The effect of cow manure vermicompost as the planting medium on the growth of Marigold. *Annals of Biological Research*, 2(6), pp.109-115.
- Shahsavari, M.R., Yasari, T. and Omid, A.H., 2012. Effects of planting date on developmental stages and some

- agronomic traits of spring safflower varieties. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2), pp.392-400. [In Persian]. Doi: 10.22067/gsc.v10i2.16287
- Sharifi Ashorabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi, B. and Allahverdi Mamaghani, B., 2009. Effect of water deficit on yield and essential oil in (*Achillea millefolium* L.). *Environmental Sciences*, 7(1), pp.193-203. [In Persian].
- Taheri Boukani, K. and Najafzadeh, R., 2019. Evaluation of growth characteristics, essential oil percentage and ecological factors of some different species of yarrow (*Achillea* spp.). *Journal of Crop Breeding*, 11(31), pp.28-41. [In Persian]. Doi:10.29252/jcb.11.31.28.
- Thierfelder, C., Amézquita, E. and Stahar, K., 2004. Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. *Soil and Tillage Research*, 68, pp.101-108. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.018>.
- Valiki, S.R.H. and Ghanbari, S., 2015. Comparative examination of the effect of manure and chemical fertilizers on yield and yield components of rosemary (*Rosemarinus officinalis* L.). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 6(2), pp.29-37.
- Van Versendaal, E., Carcedo, A.J.P., Adey, E., Sassenrath, G., Dooley, S., Lingenfelser, J. and Ciampitti, I.A., 2023. Integrating field data and a modeling approach to inform optimum planting date × maturity group for soybeans under current and future weather conditions in Kansas. *Sustainability*, 15(2), pp.1-12. DOI:10.3390/su15021081
- Yousefi, M. and Daneshian, J., 2018. Effect of cattle manure and mycorrhiza on growth physiological indices of naked seed pumpkin in different moisture conditions. *Research in Agriculture*, 10(1), pp.71-85. [In Persian].
- Zamani, Gh.R. and Javadi, H., 2019. Effect of planting date on yield, yield components and oil content of different safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(37), pp. 1-12. [In Persian].

The effect of sowing date and animal manure application on some growth traits of yarrow (*Achillea millefolium* L.) under climatic conditions of Kermanshah

Maryam Darabi¹, Farzad Mondani^{2*}, Masoomeh Amerian²

¹ MSC Student of Agroecology, Plant Production and Genetics Department, Razi University, Kermanshah, Iran

² Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

*Corresponding Author: f.mondani@razi.ac.ir

Received: 14 June 2023

Accepted: 18 October 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.402106.1348

Abstract

Introduction: Medicinal plants have a significant contribution in the production of existing medicines. Yarrow plant is one of the most important medicinal plants. The goal of the global community is to move towards sustainable agriculture, in order to reduce or eliminate chemical inputs and achieve performance stability and reduce adverse environmental effects. Sowing date is one of the factors that play a fundamental role in achieving the right conditions during the growth period to obtain the maximum yield of the plant. Finding the right level of fertilizer and the best sowing date it will help farmers to grow it as well as possible. Therefore, the purpose of this research was to investigate the effect of sowing date and fertilizer levels on some growth characteristics of yarrow.

Materials and Methods: This research was carried out in the organic agriculture form in Campus of Agriculture and Natural Resources at Razi University in 2019-2020. The experiment was conducted in the form of split plots based on complete blocks design in three replications. Experimental treatments included four levels of farmyard manure (zero, 10, 20, 30 ton ha⁻¹) as the main factor and three sowing dates (April 15, May 4, and May 24) as sub factors. The examined traits included leaf area index, total dry weight, crop growth rate, relative growth rate and grain yield. Traits were measured in two ways: destructive and final sampling. Destructive traits started about 50 days after planting the seedlings in the ground. To calculate the crop growth rate and relative growth rate the derivation method from the total dry weight equation was used. At the time of harvest, in order to measure the yield after removing the marginal effects, 5 plants were randomly picked from each plot and then the plants were transferred to the laboratory. After drying the samples, the grain yield was measured. Finally, data analysis was done using SAS software version 4.9 and Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$) was used to compare the mean of the data.

Results and Discussion: The results showed that with the increase in the levels of animal manure application, the leaf area index, the crop growth rate and the total dry weight increased in all three sowing dates. So that the highest (3.15, 5.83 g m⁻² d⁻¹ and 810 g m⁻², respectively) and the lowest leaf area index, crop growth rate and total dry weight (1.185, 0.44 g m⁻² d⁻¹ and 87 g m⁻², respectively) were observed the treatment of the first sowing date and 30 ton ha⁻¹ animal manure application and the treatment of the third sowing date and 0 ton ha⁻¹ animal manure application, respectively. Animal manure had a significant effect on grain yield so the highest (1.7 g m⁻²) and the lowest (0.2 g m⁻²) grain yield were observed in the treatment of the first sowing date and 30 ton ha⁻¹ of animal manure application and 0 ton ha⁻¹ animal manure application and the third sowing date, respectively.

Conclusion: The results showed that for the yarrow plant, with the increase of sheep manure up to 30 tons per hectare and the sowing date of April 15, the studied growth characteristics such as leaf area index, total dry weight, crop growth rate, and relative growth ratio increased. Also, the sowing date of April 15 and the use of 30 tons of manure per hectare had a significant effect on the seed yield. According to the obtained results, the sowing date of April 15 was suitable which increased the growth period of yarrow plant. Therefore, using animal manures instead of chemical fertilizers can be a suitable alternative to increase yield and avoid the environmental harm of chemical fertilizers.

Keywords: Crop growth rate, Grain yield, Leaf area index, Relative growth rate, Total dry weight

مطالعه واکنش برخی از ژنوتیپ‌های کنجد به تنش خشکی در شرایط آب و هوایی مهران

زهرا طهماسبی^{۱*}، حسین محمدی دهبالایی^۲، مریم محمودی^۳

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

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

* مسئول مکاتبه: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.395235.1339

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰

چکیده

منطقه مهران از مناطق کشت کنجد در کشور می‌باشد. هدف از این مطالعه کشت ارقام کنجد در منطقه مهران در سال زراعی ۱۴۰۱ در شرایط آبی و تنش خشکی به منظور شناسایی ارقام برتر از لحاظ عملکرد و متحمل به تنش خشکی است. ۱۴ رقم کنجد به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقات کشاورزی دانشگاه ایلام در مهران کاشته شد. عامل اصلی شامل بدون تنش و تنش خشکی و عامل فرعی ژنوتیپ‌های کنجد بود. آبیاری در محیط آبی براساس ۱۰۰ و در محیط تنش براساس ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده عملکرد اقتصادی، تعداد کپسول در بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ، طول کپسول، عرض کپسول، وزن تر و خشک کپسول و ارتفاع بوته بودند. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ کلیه صفات تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در هر دو محیط آبی و تنش داشتند. تنش بر کلیه صفات به استثنای طول کپسول، تعداد برگ، تعداد کپسول در بوته و تعداد شاخه فرعی تأثیر داشت. در شرایط آبی رقم یلووات بیشترین و رقم ناشکوکا کمترین عملکرد را داشتند. در شرایط تنش رقم هلیل دارای بیشترین و ناز چند شاخه دارای کمترین عملکرد بودند. شاخص‌های STI، GMP و MP بیشترین همبستگی را با عملکرد در شرایط آبی و تنش داشتند و لذا به عنوان بهترین شاخص انتخاب شدند. با استفاده از بای پلات دشتستان^۲، شوین و هلیل به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط بدون تنش و با تنش معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد، هلیل، همبستگی

مقدمه

کنجد به خشکی، خشکسالی شدید یا طولانی مدت بر تعداد کپسول‌ها تأثیر می‌گذارد و عملکرد دانه، روغن و کیفیت آن را کاهش می‌دهد (Kadkhodaie et al., 2014). بنابراین، شناسایی ژنوتیپ‌های کنجد مقاوم به خشکی برای برنامه‌های اصلاحی اهمیت زیادی دارد (Pathak et al., 2014).

در مناطق خشک و نیمه خشک جهان خشکسالی یک مشکل جدی برای تولید محصولات زراعی است. خشکسالی به صورت کمبود طولانی مدت آب که بر رشد و بقای گیاه تأثیر می‌گذارد و در نهایت موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود، در زراعت تعریف می‌شود. در علوم گیاهی، کمبود آب زمانی اتفاق می‌افتد که میزان تعرق از جذب آب بیشتر شود (Bray, 1997). اولین واقعه در تنش خشکی از دست دادن آب سلول است. کم آبی معمولاً پیام‌هایی را ارسال می‌کند که با هورمون‌های گیاهی از جمله آبسزیک اسید ارتباط دارد (Blum, 2015). در کشورهای مختلف کنجد دارای ارقام بومی بسیاری است.

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یکساله متعلق به خانواده Pedalaceae و باستانی است که از حدود ۷۵۰۰ سال قبل در آسیا و آفریقا کشت و کار شده است. کنجد دارای ۶۰-۴۰ درصد روغن است و به این علت به عنوان گیاه روغنی در کشورهای زیادی (کشورهای چین، هند، سودان و میانمار مهمترین تولید کنندگان کنجد در جهان بشمار می‌روند) کاشته می‌شود (Baraki et al., 2020). به دلیل اینکه کنجد می‌تواند در انواع مختلف خاک رشد کند، کشت آن نسبتاً ساده است. همچنین این گیاه نیازی به آبیاری بیش از حد ندارد، متحمل به دماهای بالا است و با محصولات دیگر در برنامه‌های کشت متناوب به خوبی تناسب دارد (Langham, 2007). کنجد اغلب در مناطق خشک و نیمه خشک و در شرایط دیم کاشته می‌شود و به این دلیل در معرض تنش خشکی پایان فصل و متناوب قرار می‌گیرد (Boureima et al., 2016). با وجود تحمل نسبی

شاخص بهره‌وری (MP) و شاخص تحمل (TOL) را پیشنهاد کردند که ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، بر اساس مقادیر کم TOL و مقادیر بالای MP انتخاب می‌گردند (Rosielle and Hamblin, 1981).

منطقه مهران از مناطق کشت کنجد در کشور است که بروز تنش خشکی در زراعت کنجد در این منطقه رایج است و معمولاً از اواخر شهریورماه به بعد رخ می‌دهد. بنابراین هدف از این مطالعه کشت برخی از ارقام کنجد به همراه رقم محلی آن در این منطقه در شرایط آبی و تنش خشکی به منظور شناسایی ارقام برتر از لحاظ عملکرد و تحمل به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

۱۳ رقم کنجد که از موسسه اصلاح بذر کرج بخش تحقیقات دانه‌های روغنی تهیه شدند به همراه رقم بومی استان ایلام (جدول ۱) به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام واقع در مهران با عرض جغرافیایی ۳۳/۴۰ درجه شمالی از خط استوا و طول جغرافیایی ۴۶/۱۰ شرقی از نصف النهار مبدأ، با ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا، کاشته شد. عامل اصلی سطوح آبیاری شامل آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A (آبیاری متداول) و آبیاری پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A (تنش خشکی) و عامل فرعی ژنوتیپ‌های کنجد مورد مطالعه بود. به منظور آماده‌سازی زمین ابتدا به کمک گاوآهن زمین را شخم زده و سپس با دو مرتبه دیسک عمود بر هم و کلوخ شکن، بستر کشت نرم شد. سپس به کمک لولر تسطیح انجام گرفت. خطوط کشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر و طول خطوط کشت ۲ متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود. در مرحله ۶ برگه عملیات تنک کردن انجام شد. در کل دوره رشد، وجین علف‌های هرز طی سه مرتبه به صورت دستی انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات ۱۰ بوته از ۲ خط میانی هر کرت و با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد اقتصادی: دانه‌های به‌دست آمده از ۱۰ بوته که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند با ترازوی دقیق و با دقت ۰/۱ گرم وزن شدند؛ تعداد کپسول در بوته: متوسط تعداد کپسول در ۱۰ بوته؛ تعداد شاخه فرعی: متوسط تعداد شاخه‌های فرعی در ۱۰ بوته؛ تعداد

بنابراین باید قابلیت سازگاری آن‌ها برای کشت در مناطق خشک و نیمه خشک جهان ارزیابی شود. در اصلاح ارقام کنجد، جهت شناسایی صفات مرتبط به مقاومت به خشکی و انتخاب ارقام متحمل به خشکی، بررسی عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و آبی امری ضروری است (Afshari et al., 2015). در کنجد تنش خشکی در مرحله گل‌دهی بیشتر از مرحله گیاهچه‌ای تأثیرگذار است. در مرحله گیاهچه‌ای تنش خشکی بیشتر بر وزن هزار دانه تأثیر دارد. ولی در مرحله گل‌دهی بر ارتفاع، اندازه کپسول، عملکرد اقتصادی در بوته و وزن خشک ریشه اثرگذار است. (Sun et al., 2010). اما پاسخ‌های انواع گیاهان و حتی ارقام مختلف به تنش ممکن است یکسان نباشد (Zabet et al., 2003). تجزیه همبستگی صفات مختلف با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی بر کنجد نشان داد که ارتفاع بوته و تعداد کپسول در گیاه همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه دارند (Srvanthi et al., 2021). در مطالعه ۷۶ ژنوتیپ کنجد در شرایط آبیاری نرمال و تنش آبی انتهای فصل به منظور شناسایی صفات مرتبط با عملکرد دانه در هر دو شرایط، نشان داد که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا دمای کنوپی پایین، محتوای نسبی آب و شاخص برداشت بالایی داشتند (Pandey et al., 2021). در مطالعه عملکرد اجزای عملکرد و درصد روغن ارقام کنجد در شرایط تنش خشکی، افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول در مقایسه با شرایط تنش خشکی ۲۸/۶۷ درصد بود (Dahie-Zehi et al., 2022).

شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های حساس، متحمل و مقاوم به تنش خشکی، از مهمترین برنامه‌های اصلاحی در مدیریت تنش خشکی در گیاهان است. برای این منظور پژوهشگران روش‌های مختلفی را ارائه داده‌اند. جهت تعیین نحوه تظاهر و واکنش ژنوتیپ‌های در شرایط تنش و بدون تنش شاخص تحمل به تنش (STI) پیشنهاد شده است (Fernandez, 1992). ژنوتیپی تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالاتری دارد که مقادیر STI آن بالاتر باشد. شاخص حساسیت به تنش (SSI) برای شناسایی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها به تنش، ارائه شده است (Fisher and Maurer, 1978) بر این اساس ژنوتیپ‌هایی که توسط SSI انتخاب می‌شوند، عملکرد ذاتی پایینی دارند اما در شرایط تنش عملکرد آن‌ها زیاد است. محققین

GMP: شاخص میانگین هندسی بهره‌وری:

$$GMP = \sqrt{(Y_S)(Y_P)}$$

Harm: شاخص میانگین هارمونیک:

$$Harm = [2(Y_P \times Y_S)] / (Y_P + Y_S)$$

Y_P : عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط آبیاری، Y_S : عملکرد هر

ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی.

$\bar{Y}_P$: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری،

$\bar{Y}_S$: میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی.

داده‌ها پس از جمع‌آوری، ابتدا از لحاظ مفروضات تجزیه

واریانس از جمله نرمال بودن و عدم وجود داده پرت با نرم افزار

Minitab 16 آزمون شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها

به روش LSD برای صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار

SAS 9.1 انجام شد. جهت محاسبه ضرایب همبستگی پیرسونی

بین شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد در محیط آبی و

تنش خشکی از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد. جهت تجزیه به

مولفه‌های اصلی و رسم نمودار بای پلات شاخص‌های تحمل به

خشکی از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد.

برگ: متوسط تعداد برگ در ۱۰ بوته؛ طول کپسول: متوسط

طول ۱۰ کپسول (برحسب سانتی‌متر)؛ عرض کپسول متوسط

عرض ۱۰ کپسول (برحسب سانتی‌متر)؛ وزن کپسول: وزن ۱۰

کپسول که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند با ترازوی دقیق و

با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند و ارتفاع بوته: متوسط ارتفاع ۱۰

بوته (برحسب سانتی‌متر) بود (Zabet et al., 2014).

در ادامه طبق روابط زیر (Fisher and Maurer, 1978;

Rosielle and Hamblin, 1981; Fernandez, 1992)

شاخص‌های مختلف مربوط به مقاومت به تنش در همه ارقام

محاسبه شد:

SSI: شاخص حساسیت به تنش:

$$SSI = [1 - (Y_S/Y_P)] / 1 - (\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)$$

STI: شاخص تحمل تنش:

$$STI = (Y_P/\bar{Y}_P)(Y_S/\bar{Y}_S)(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)$$

TOL: شاخص تحمل:

$$TOL = Y_P - Y_S$$

MP: شاخص بهره‌وری متوسط:

$$MP = (Y_P + Y_S) / 2$$

جدول ۱- اسامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1- Name of studied genotypes

شماره No.	نام ژنوتیپ Genotype name	شماره No.	نام ژنوتیپ Genotype name
1	ناز تک شاخه Nazunib	8	داراب ۱ Darab1
2	دشتستان Dashtestan	9	TC-25
3	دشتستان ۲ Dashtestan2	10	یلو وایت Yellow white
4	محلی مهران Mahali Mehran	11	داراب ۱۴ Darab14
5	ناشکوف Nashekhifa	12	اولتان Oltan
6	هلیل Holeil	13	داراب ۲ Darab2
7	شوین Shevin	14	ناز چند شاخه Nazmultib

نتایج و بحث

تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و صفات

ریختی و بررسی تغییرات ناشی از تنش صفات

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از لحاظ صفات اندازه‌گیری شده در شرایط بدون تنش و تنش خشکی از خود نشان دادند که بیان می‌کند به احتمال زیاد تنوع ژنتیکی بین این ارقام وجود دارد و امکان‌پذیر است ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی هست (جدول ۲ و ۳). نتایج جدول نشان داد که اثر آبیاری برای صفات وزن تر کپسول، عملکرد اقتصادی و عرض کپسول اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد و برای صفات وزن خشک کپسول و ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان داد که بیانگر این مطلب است که صفات مورد بررسی در شرایط تنش دچار تغییر می‌شوند. سایر صفات اختلاف معنی‌داری نداشتند. گیاه کنگد در مرحله رشد گیاهچه‌ای، مرحله گلدهی و اوایل دانه‌بندی نسبت به خشکی بسیار حساس است (Khajehpour, 2004). در ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف کنگد، با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در واحد سطح به طور معنی‌داری کاهش یافت (Eskandari et al., 2009). هم‌چنین بررسی نتایج حاصل از آزمون F برای اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نشان داد که اثر این عامل، برای همه صفات به جز وزن تر کپسول، عملکرد اقتصادی و طول کپسول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲ و ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ شوین بیشترین و ژنوتیپ ناشکوکا کمترین وزن تر کپسول (به ترتیب به میزان ۱۱/۸۶ و ۴/۵۸ گرم) را داشتند. محلی مهران با میانگین ۷۸۴۲/۹۴ کیلوگرم/هکتار بیشترین و ناز چند شاخه با میانگین ۶۵۹/۵۳ کیلوگرم/هکتار کمترین مقدار عملکرد اقتصادی را در بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد. ژنوتیپ محلی مهران بیشترین و ژنوتیپ ناز چند شاخه کمترین وزن خشک کپسول به ترتیب به میزان ۳/۸۱ و ۱/۷۱ گرم را داشتند. بیشترین طول کپسول مربوط به ژنوتیپ دشتستان ۲ به میزان ۲/۸۱ سانتی‌متر و کمترین آن مربوط به ناز چند شاخه به میزان ۱/۱۸ بود. سه ژنوتیپ محلی مهران، شوین و دشتستان بیشترین عرض کپسول به ۰/۶۷ (سانتی‌متر) را داشتند و کمترین عرض کپسول مربوط به ژنوتیپ ناز چند شاخه به میزان ۰/۵۳ سانتی‌متر بود. بیشترین

میانگین ارتفاع بوته مربوط به هلیل به میزان ۱۲۷/۲۵ سانتی‌متر و کمترین آن مربوط به ناز چند شاخه به میزان ۶۲/۲۱ سانتی‌متر بود. ژنوتیپ داراب ۱ با ۱۹۲/۸۳ و ناز تک شاخه با ۴۲/۱۳ عدد برگ به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد برگ را داشتند (جدول ۴).

در شرایط آبی ژنوتیپ شوین بیشترین و ناشکوکا کمترین میزان وزن خشک کپسول به ترتیب به میزان ۱۳/۵۹ و ۵/۴۹ گرم را داشتند. ژنوتیپ یلووایت با ۷۷۹۷/۲۳ کیلوگرم/هکتار و ناشکوکا با ۴۷۹/۵۸ کیلوگرم/هکتار به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد اقتصادی را داشتند. بیشترین و کمترین وزن تر کپسول به ترتیب مربوط به محلی مهران با ۵/۷۳ و ناز شاخه با ۲/۱۶ گرم بود. بیشترین طول کپسول مربوط به رقم دشتستان ۲ با ۳/۱۹ سانتی‌متر طول و کمترین آن مربوط به رقم ناشکوکا با ۱/۸۲ سانتی‌متر بود (جدول ۵). در مطالعه‌ای نشان دادند که عملکرد دانه با صفات طول کپسول، تعداد کپسول در بوته، عملکرد اقتصادی و تعداد دانه در کپسول همبستگی مثبت و بالا داشت (Salehi and Saeidi, 2010).

هم‌چنین ارقام اولتان و T2-25 بیشترین عرض کپسول (۰/۷۱ سانتی‌متر) و رقم ناز تک شاخه کمترین عرض کپسول (۰/۵۶ سانتی‌متر) را داشتند. بیشترین ارتفاع بوته به هلیل (۱۵۳/۶۳ سانتی‌متر) و کمترین آن به ناز تک شاخه (۷۲ سانتی‌متر) تعلق داشت. رقم هلیل با میانگین ۲۰۷/۷۶ عدد بیشترین و ناز تک شاخه با ۴۴/۸۰ عدد کمترین برگ را داشتند. بیشترین تعداد شاخه فرعی به میزان ۷/۶۶ مربوط به رقم یلووایت و کمترین آن به میزان ۲ عدد در بوته مربوط به شوین بود. هم‌چنین بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به رقم یلووایت به میزان ۱۴۴/۹۳ عدد و کمترین آن به میزان ۴۰/۷۶ عدد مربوط به رقم TC-25 بود (جدول ۵).

در مطالعه‌ای بر روی ۵۰ ژنوتیپ کنگد نشان داده شد که عملکرد دانه همبستگی بسیار قوی و مثبت با ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه، ارتفاع تا اولین گره میوه‌دهنده، تعداد کپسول روی ساقه اصلی و شاخه‌های فرعی، روز تا برداشت، طول کپسول، شاخص برداشت و تولید ماده خشک داشت. هم‌چنین تعداد دانه در کپسول با همه صفات همبستگی منفی داشت (Reddy and Doraiaj, 1994). در شرایط تنش خشکی، بیشترین و کمترین وزن خشک کپسول به ترتیب به

شوین (۱۰/۱۲ گرم) و رقم ناشکوف (۳/۶۷ گرم) مربوط می‌شد. در این تحقیق، بیشترین عملکرد اقتصادی مربوط به رقم هلیل (۴۶۵۶/۵۴ کیلوگرم/هکتار) و کمترین آن مربوط به رقم ناز چند شاخه (۶۷/۵۸ کیلوگرم/هکتار) بود (جدول ۵). در بررسی تنش خشکی در دو منطقه کرج و مغان در ژنوتیپ‌های کنجد گزارش شد که تنش خشکی تأثیر معنی‌دار و منفی از طریق تأثیر بر اجزای عملکرد و عملکرد نهایی دارد (Gharibeshghi and Mansoori, 2006). هم‌چنین در تحقیقی که در شرایط آب و هوایی پارس آباد انجام شده بود بیشترین عملکرد دانه برای رقم اولتان با ۱۱۲۶/۹۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد در شرایط تنش خشکی برای رقم هندی ۱۴ با ۲۸۶/۳۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در پژوهشی دیگر در شرایط آب و هوایی منطقه مغان بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ کرج ۱ با ۱۸۸۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ هندی ۱۲ با ۷۷۸ کیلوگرم در هکتار بود (Eshghi et al., 2011). در تحقیق حاضر بیشترین میانگین وزن تر کپسول به رقم محلی مهران (۵/۳ گرم) و کمترین آن به رقم ناز چند شاخه (۲/۱۶ گرم) تعلق داشت. رقم محلی مهران با ۲/۶۳ سانتی‌متر طول بیشترین و رقم ناشکوف با ۱/۶۵ سانتی‌متر طول کمترین

طول کپسول را داشتند. دشتستان ۲ و ناز تک شاخه به ترتیب با ۰/۶۹ و ۰/۵۱ سانتی‌متر بیشترین و کمترین عرض کپسول را در این شرایط داشتند. بیشترین ارتفاع بوته ۱۲۷/۳ و کمترین آن ۴۷/۹۳ سانتی‌متر و به ترتیب مربوط به رقم دشتستان ۲ و ناز چند شاخه بود. بیشترین تعداد شاخه فرعی به میزان ۶/۱۳ مربوط به رقم TC-25 و کمترین آن به میزان ۱/۳۰ عدد در بوته مربوط به رقم ناز تک شاخه بود. هم‌چنین بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به رقم TC-25 به میزان ۹۵/۹۰ عدد و کمترین آن به میزان ۲۶/۲۳ عدد به رقم ناشکوف بود (جدول ۵). مطالعه بر روی ۲۵ ژنوتیپ کنجد نشان داده است که تعداد کپسول در بوته یکی از تعیین‌کننده‌ترین و حیاتی‌ترین صفات زراعی در ایجاد ارقام پرمحصول کنجد می‌باشد (Baraki et al., 2020). در شرایط تنش خشکی، دوره رشد رویشی گیاه کوتاه می‌شود و با کم شدن ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد. گیاه برای جبران کاهش عملکرد دانه که ناشی از کاهش تعداد کپسول در بوته می‌باشد، تعداد دانه در کپسول و نیز وزن هزار دانه را افزایش می‌دهد. به عبارتی دیگر در شرایط تنش خشکی اجزای عملکرد دانه نقش جبران‌کننده را بازی می‌کنند (Asadi et al., 2020).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در شرایط آبی و تنش

Table 2- Analysis of variance for some studied traits under water and stress conditions

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		وزن تر کپسول Capsule fresh weight	عملکرد اقتصادی Economic yield	وزن خشک کپسول Capsule dry weight
بلوک Block	2	2.77	0.86	0.22
آبیاری Irrigation	1	188.55**	46.65**	14.26*
خطای Error a	2	4.07	0.059	0.3
ژنوتیپ Genotype	13	21.31**	4.22**	2.31**
آبیاری×ژنوتیپ genotype×Irrigation	13	3.38 ^{ns}	0.74 ^{ns}	2.38**
خطای Error b	52	4.27	1.21	0.19
ضریب تغییرات CV (%)		23.54	41.49	15.40

ns, * و **: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس سایر صفات مورد مطالعه در شرایط آبی و تنش

Table 3- Analysis of variance for other studied traits under water and stress conditions

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		ارتفاع بوته Plant height	عرض کپسول Capsule width	طول کپسول Capsule length	تعداد برگ Number of leaves	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches
بلوک Block	2	598.001	0.128	2.02	1175.36	5198.33	16.69
تیمار آبیاری Irrigation treatment	1	105160.64*	0.50**	15.79 ^{ns}	430093.71 ^{ns}	159023.4 ^{ns}	190.15 ^{ns}
خطای a Error a	2	1350.77	0.004	1.29	34445.31	30142.07	46.71
ژنوتیپ Genotype	13	23425.97**	0.08**	5.55**	127016.05**	25553**	96.73**
آبیاری×ژنوتیپ genotype× Irrigation	13	8283.85**	0.046**	0.83 ^{ns}	54260.18**	18094**	47.37**
خطای b Error b	808	543.31	0.007	0.72	4484.14	1921.61	5.39
ضریب تغییرات CV (%)		22.73	13.12	36.48	53.82	61.75	56.61

ns, * و **: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار و وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

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

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات در بررسی تحمل تنش کنگد

Table 4- Comparison of mean of traits in the study of drought stress tolerance of sesame

Genotype number	وزن تر کپسول Capsule fresh weight (gr)	عملکرد اقتصادی Economic yield (kg/ha)	وزن خشک کپسول Capsule dry weight (gr)	طول کپسول Capsule length (cm)	عرض کپسول Capsule width (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ Number of leaves	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant
1	6.39 ^{ef}	1998.57 ^k	2.28 ^{cd}	2.05 ^{de}	0.64 ^{bcd}	69.00 ^h	42.13 ^f	1.73 ^h	46.05 ^{fg}
2	9.67 ^b	5080.36 ^d	3.51 ^a	2.33 ^{cd}	0.67 ^{ab}	118.83 ^{bc}	145.83 ^b	4.81 ^{bc}	79.88 ^{bc}
3	9.64 ^b	4640.16 ^f	3.61 ^a	2.81 ^a	0.66 ^{abc}	124.03 ^{ab}	143.68 ^b	4.33 ^{cd}	69.05 ^{cde}
4	7.95 ^{bcd}	7842.94 ^a	3.81 ^a	2.64 ^{ab}	0.67 ^a	121.61 ^{ab}	175.48 ^a	5.30 ^{ab}	105.70 ^a
5	4.58 ^f	1736.72 ^m	2.14 ^{de}	1.74 ^f	0.61 ^e	82.01 ^g	75.75 ^{ed}	2.86 ^{fg}	51.08 ^f
6	9.27 ^{bc}	6103.64 ^b	2.86 ^b	2.47 ^{bc}	0.65 ^{abcd}	127.25 ^a	176.32 ^a	5.35 ^{ab}	92.20 ^{ab}
7	11.86 ^a	4605.2 ^g	2.82 ^b	2.66 ^{ab}	0.67 ^a	110.08 ^d	80.35 ^d	2.20 ^{gh}	58 ^{def}
8	9.08 ^{bc}	5259.24 ^c	3.65 ^a	2.48 ^{bc}	0.63 ^{de}	110.96 ^{cd}	192.83 ^a	5.65 ^a	83.48 ^{bc}
9	8.63 ^{bcd}	2842.52 ^j	2.62 ^{bcd}	2.28 ^{cd}	0.66 ^{abc}	107.60 ^{de}	127.03 ^{bc}	4.30 ^{cd}	68.33 ^{cde}
10	7.83 ^{bcd}	4931.87 ^e	2.62 ^{bcd}	2.23 ^{cd}	0.61 ^e	98.60 ^e	124.15 ^{bc}	5.96 ^a	95.21 ^{ab}
11	7.39 ^{cde}	4294.98 ^h	2.79 ^b	2.40 ^{bc}	0.64 ^{bcd}	101.03 ^{fe}	139.50 ^{bc}	4.03 ^{cde}	83.56 ^{bc}
12	6.25 ^{ef}	1991.61 ^l	2.72 ^{bc}	2.39 ^{bc}	0.63 ^{de}	101.18 ^{fe}	145.13 ^b	3.76 ^{de}	56.58 ^{ef}
13	6.50 ^{def}	3919.89 ⁱ	2.42 ^{bcd}	2.27 ^{cd}	0.63 ^{cde}	101.21 ^{fe}	119.52 ^c	3.66 ^{def}	79.35 ^{dc}
14	5.98 ^{ef}	659.53 ⁿ	1.71 ^e	1.18 ^{ef}	0.53 ^f	61.21 ⁱ	54.13 ^{ef}	3.45 ^{ef}	32.33 ^g

میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون LSD ندارند.

Means with the same letter are not significantly different from each other (P>0.05 followed by LSD test)

جدول ۵- میانگین صفات ژنوتیپ‌های کنجد در شرایط آبی و تنش خشکی

Table 5- Means of traits of sesame genotypes in water and drought stress conditions

تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عرض کپسول Capsule width (cm)	طول کپسول Capsule length (cm)	وزن خشک کپسول Capsule dry weight (gr)	عملکرد اقتصادی Economic yield (kg/ha)	وزن تر کپسول Capsule fresh weight (gr)	شماره ژنوتیپ Genotype number	نیمار آبیاری treatment Irrigation
56.46 ^f	2.16 ^e	44.80 ^f	72.00 ^e	0.61 ^{ab}	2.07 ^{ab}	2.43 ^d	654.93 ^f	8.65 ^{cd}	1	بدون تنش آبی No water stress
99.16 ^c	5.16 ^b	175.5 ^c	127.00 ^c	0.70 ^a	2.36 ^{ab}	4.73 ^b	4958 ^c	11.04 ^b	2	
64.23 ^e	4.06 ^c	148.70 ^d	120.00 ^c	0.64 ^{ab}	3.19 ^a	4.07 ^b	2081.05 ^e	10.73 ^b	3	
117.83 ^b	5.73 ^b	197.23 ^b	126.36 ^c	0.69 ^a	2.65 ^{ab}	5.73 ^a	5585.14 ^b	8.55 ^{cd}	4	
79.93 ^d	3.33 ^d	102.20 ^{de}	108.96 ^c	0.64 ^{ab}	1.82 ^b	2.59 ^d	479.58 ^c	5.49 ^f	5	
106.26 ^b	5.56 ^b	207.76 ^b	153.63 ^a	0.68 ^a	2.66 ^{ab}	2.88 ^d	3974.12 ^d	9.29 ^c	6	
66.83 ^e	2.00 ^e	76.5 ^e	118.23 ^c	0.68 ^a	2.88 ^{ab}	2.66 ^d	1844.50 ^e	13.59 ^a	7	
95.00 ^c	6.80 ^a	261.46 ^a	132.86 ^b	0.68 ^a	2.75 ^{ab}	2.90 ^c	4503 ^c	9.82 ^c	8	
40.76 ^g	2.46 ^e	73.30 ^e	98.70 ^d	0.71 ^a	2.46 ^{ab}	3.24 ^c	1442.90 ^e	9.77 ^c	9	
144.93 ^a	7.66 ^a	161.06 ^c	129.90 ^b	0.62 ^{ab}	2.23 ^{ab}	2.93 ^c	7797.23 ^a	9.86 ^c	10	
104.7 ^b	4.90 ^{bc}	190.83 ^b	111.43 ^d	0.69 ^a	2.57 ^{ab}	2.74 ^d	1947.42 ^e	9.19 ^c	11	
81.10 ^d	5.23 ^b	198 ^b	111.06 ^d	0.71 ^a	2.65 ^{ab}	3.30 ^c	3827.92 ^d	8.34 ^d	12	
96.83 ^c	5.00 ^b	155.80 ^c	106.20 ^d	0.65 ^{ab}	2.37 ^{ab}	2.95 ^c	4512.27 ^c	9.32 ^c	13	
36.50 ^g	4.00 ^c	65.46 ^e	74.50 ^e	0.56 ^b	1.84 ^b	2.16 ^d	664.3 ^f	7.00 ^e	14	

میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون LSD ندارند.

Means with the same letter are not significantly different from each other ($P>0.05$ followed by LSD test)

شاخص‌های تحمل به خشکی

برای گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده رتبه‌بندی شدند (جدول ۶). با توجه به اینکه هر چه شاخص‌های SSI و TOL کوچک‌تر باشد، تحمل به خشکی آن ژنوتیپ بهتر است، در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش متحمل‌ترین ژنوتیپ، ژنوتیپ هلیل بود. هم‌چنین بالاترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM مربوط به رقم هلیل بود. بنابراین از لحاظ این شاخص‌ها نیز این رقم به عنوان متحمل‌ترین انتخاب می‌گردد. با توجه به شاخص‌های SSI، GMP، MP و STI کمترین تحمل مربوط به ژنوتیپ ناشکوا می‌باشد. ولی با توجه به شاخص TOL کمترین تحمل مربوط به ژنوتیپ اولتان بود و باتوجه به شاخص HARM کمترین تحمل مربوط به ژنوتیپ ناز چند شاخه بود.

در ارزیابی ۲۷ ژنوتیپ کنجد در شرایط عادی و تنش رطوبتی بر پایه شاخص تحمل فرناندز (STI) ژنوتیپ ورامین ۲۸۲۲ با تحمل متوسط و رقم‌های کرج ۱، ناز تک شاخه و

ژنوتیپ ورامین ۲۳۷ با تحمل بالا و مناسب برای شرایط تنش خشکی تشخیص داده شدند (Hassanzadeh *et al.*, 2009). در تحقیقی بر روی ۲۱ گونه ویگنا (از حبوبات) در دو محیط آبی و تنش رطوبتی، نشان داده شد که انتخاب بر اساس شاخص MP به نفع ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالاست، در حالی که انتخاب بر اساس شاخص SSI به نفع ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با پتانسیل عملکرد پایین است و گزینش بر اساس شاخص TOL به نفع ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد کم است (Fernandez, 1992). وی در این تحقیق شاخص جدید STI را پیشنهاد نمود که ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را شناسایی می‌نماید و نیز به جای شاخص MP، شاخص GMP را معرفی نمود و آن را مناسب‌تر از MP دانست. در مطالعه دیگر در ارزیابی تحمل به خشکی در ۳۲ ژنوتیپ کنجد از شاخص STI به عنوان بهترین شاخص جهت انتخاب ارقام متحمل و حساس به خشکی استفاده شد (Asadi *et al.*, 2021).

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش خشکی در ژنوتیپ‌های کنگد مورد بررسی

Table 6- Drought stress tolerance and susceptibility indices in the studied sesame genotypes

ژنوتیپ	YS	YP	SSI	رتبه	STI	رتبه	TOL	رتبه	MP	رتبه	GMP	رتبه	HARM	رتبه
Genotype				Rank		Rank		Rank		Rank		Rank		Rank
1	0.14	0.58	0.07	11	0.027	2	0.44	7	0.65	2	0.28	2	1.22	12
2	1.32	2.5	-0.21	7	1.12	11	1.18	11	3.16	10	1.81	11	0.61	9
3	1.91	4.89	-0.86	2	1.05	10	-0.29	2	2.57	8	1.75	10	-0.16	2
4	1.94	1.62	-0.50	4	1.57	13	0.43	6	3.34	13	2.14	13	0.19	5
5	0.17	0.30	0.25	14	0.017	1	0.13	5	0.38	1	0.22	1	0.55	8
6	2.98	1.87	-1.27	1	1.90	14	-1.11	1	3.36	14	2.36	14	-0.45	1
7	1.62	1.38	-0.85	3	0.76	7	-0.24	3	2.19	5	1.49	7	-0.16	3
8	1.77	2.37	-0.18	8	1.43	12	0.60	8	3.25	12	2.04	12	0.28	6
9	1.12	1.77	-0.43	5	0.67	6	0.65	9	2.33	6	1.40	6	0.44	7
10	1.003	2.69	-0.31	6	0.92	9	1.68	13	3.19	11	1.64	9	0.91	11
11	0.90	0.93	-0.057	10	0.286	5	0.03	4	1.38	4	0.91	5	0.032	4
12	0.35	2.36	0.16	12	0.282	4	2.01	14	2.53	7	0.90	4	1.48	13
13	1.15	2.33	-0.17	9	0.91	8	1.18	12	2.90	9	1.63	8	0.67	10
14	0.12	0.91	0.18	13	0.037	3	0.79	10	0.97	3	0.33	3	1.53	14

همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی

همبستگی عملکرد با ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) با شاخص‌های تحمل به خشکی محاسبه شد (جدول ۷). اساساً شاخص‌هایی که دارای همبستگی بالایی با عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش باشند، به عنوان بهترین شاخص شناخته می‌شوند (Fernandez, 1992). زیرا این شاخص‌ها قادر به جداسازی و شناسایی ارقامی هستند که علاوه بر تحمل به خشکی، پتانسیل عملکرد بالایی را هم دارند. با توجه به همبستگی عملکرد در شرایط تنش (YS) و بدون تنش (YP) با شاخص‌های تحمل به خشکی، شاخص‌های GMP، STI و MP به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۳، ۰/۹۰۵ و ۰/۸۵۳ با عملکرد به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط تنش و شاخص‌های GMP، STI و TOL به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۸۴، ۰/۹۳۵ و ۰/۹۲۵ و ۰/۷۳۵ با عملکرد به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل در شرایط بدون تنش بودند (جدول ۷) که با نتیجه آزمایش پژوهش دیگر (Khammari et al., 2013) هم‌خوانی دارد. از این شاخص‌ها می‌توان جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش آبی با عملکرد بالا بهره برد. بر این اساس رقم هلیل به عنوان متحمل‌ترین رقم به تنش خشکی معرفی می‌گردد. در بررسی مقاومت به خشکی ۱۱ رقم گندم نان مشخص شد که انتخاب ارقام براساس شاخص تحمل TOL موجب کاهش عملکرد در شرایط عادی می‌شود (Sio-Se Mardeh, 2006).

شاخص‌های STI و GMP برای شناسایی لاین‌هایی که در هر دو شرایط عادی و تنش عملکرد مطلوبی تولید می‌کنند، پیشنهاد شدند (Fernandez, 1992). محققین در بررسی این شاخص‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآمدی شاخص‌های انتخاب، به شدت تنش محیط و هدف بستگی دارد. شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، در صورتی شاخص‌های STI، MP و GMP برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (Sio-Se Mardeh, 2006).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای پلات ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های تنش

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول حدود ۹۰/۱ درصد تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۸). بنابراین استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها تنها موجب از دست رفتن بخش ناچیزی از تغییرات می‌شود و تفسیر نتایج براساس دو مؤلفه اول و دوم کارایی بالایی دارد. با توجه به این امر ترسیم بای پلات نیز براساس دو مؤلفه فوق صورت گرفت (شکل ۱). مؤلفه اول ۵۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبتی با STI، MP، GMP، YP و YS نشان داد (جدول ۸). از آنجا که مقادیر بالای این شاخص‌ها برای ما مطلوب است و با توجه به رابطه مثبت مؤلفه اول با این شاخص‌ها اگر میزان بالای آن را انتخاب کنیم، ژنوتیپ‌هایی را برمی‌گزینیم که عملکرد بالایی در محیط‌های نرمال و تنش

عنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در هر دو محیط نرمال و تنش معرفی شدند. ژنوتیپ اولتان با کمترین عملکرد در محیط نرمال و تنش در ناحیه چپ و بالای بای پلات قرار گرفت. بنابراین، ناحیه سمت چپ و بالای بای پلات مربوط به ژنوتیپ با عملکرد پایین در شرایط نرمال و تنش است و بنابراین مطلوب نخواهد بود.

به‌طور کلی، از تجزیه بای پلات این نتیجه حاصل می‌شود که ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش خشکی و عملکرد مکان‌های مختلفی از بای پلات را اشغال کرده‌اند. بنابراین، تنوع ژنتیکی کافی در ژنوتیپ‌های مطالعه شده برای این صفات وجود دارد و این تنوع زمینه مناسب برای اصلاح این صفات را فراهم می‌کند.

دارند، از این رو آن را مؤلفه پتانسیل عملکرد در دو محیط نام می‌گذاریم. از طرف دیگر، مؤلفه دوم ۳۷/۱ درصد از تغییرات موجود را به خود اختصاص داد و همبستگی مثبت و بالایی با SSI، TOL و HARM داشت (جدول ۸). از این رو آن را مؤلفه حساسیت به تنش نامیدیم. با توجه به آنکه مقادیر پایین این شاخص‌ها مورد نظر ماست و با توجه به رابطه مثبت مؤلفه دوم با این شاخص‌ها، اگر میزان این مؤلفه را پایین بگیریم، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و با عملکرد بالا در محیط تنش را انتخاب خواهیم کرد. با توجه به این نکات قسمت مطلوب بای پلات، پایین و سمت راست خواهد بود. بنابراین، ژنوتیپ‌های مطلوب دشتستان ۲، شوین و هلیل است (شکل ۱). بنابراین به

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت در بررسی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های کنجد مورد مطالعه

Table 7- Correlation coefficients between yield and tolerance and susceptibility indices in study of drought tolerance in the studied sesame genotypes

	YS	YP	SSI	STI	TOL	MP	GMP
YP	0.746**						
SSI	-0.38 ^{ns}	0.308 ^{ns}					
STI	0.905**	0.925**	0.017 ^{ns}				
TOL	0.097 ^{ns}	0.735**	0.850**	0.461 ^{ns}			
MP	0.853**	0.984**	0.139 ^{ns}	0.967**	0.602*		
GMP	0.93**	0.935**	-0.03 ^{ns}	0.983**	0.447 ^{ns}	0.983**	
HARM	-0.43 ^{ns}	0.270 ^{ns}	0.979**	-0.048 ^{ns}	0.841 ^{ns}	0.096 ^{ns}	-0.08 ^{ns}

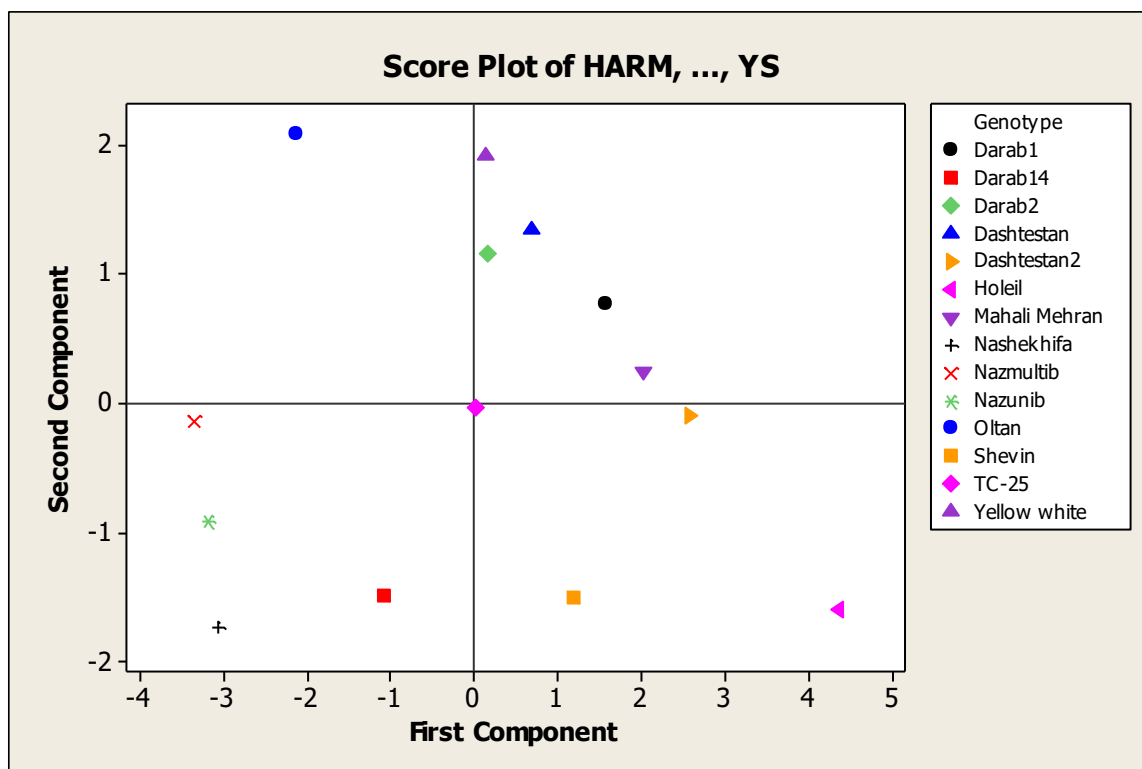
ns, * و **: به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار و وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability respectively.

جدول ۸- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه به دست آمده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل حساسیت در بررسی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های کنجد

Table 8- Eigen values and Eigen vectors of components analysis of tolerance - susceptibility indices in study of drought tolerance in sesame genotypes

HARM	GMP	MP	TOL	STI	SSI	YS	YP	واریانس تجمعی Variance Proportion (%)	واریانس Variance	مقادیر ویژه Eigen value	مولفه Component
-0.020	0.482	0.478	0.237	0.474	0.000	0.442	0.250	53	53	4.24	1
0.575	-0.018	0.083	0.500	0.005	0.577	-0.223	-0.169	90.1	37	2.96	2



شکل ۱- بای پلات بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برای ۱۴ ژنوتیپ کنجد با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

Figure 1- Drawing bi-plot based on first and second components for 14 sesame genotypes by using drought stress index

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق به‌طور کلی در شرایط آبی رقم یلووات بیشترین و رقم ناشکوکا کمترین عملکرد را داشتند. در شرایط تنش رقم هلیل بیشترین عملکرد و ناز چند شاخه کمترین عملکرد را داشتند. شاخص‌های GMP، STI و MP بیشترین همبستگی را با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش آبی داشتند و به‌عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب شدند. با استفاده از بای پلات تجزیه به مولفه اصلی دشتستان ۲، شوین و هلیل به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب با عملکرد بالا در محیط بدون تنش و با تنش معرفی شدند. همچنین تجزیه بای پلات تنوع ژنتیکی و پراکنش مناسبی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از این

ژنوتیپ‌ها در مطالعات آبی در ایجاد تحمل به تنش خشکی در کنجد است.

تعارض منافع

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

سپاسگزاری

داده‌های این مقاله مربوط به طرح پژوهشی مصوب دانشگاه ایلام می‌باشد و هزینه‌های این پژوهش توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه ایلام تأمین گردیده است.

References

- Afshari, F., Golkar, P. and Mohammadinejad, G., 2015. Evaluation of drought tolerance in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at different growth stages. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 4(2), pp.90-95. [In Persian]. doi: 20.1001.1.2008790.1393.4.2.8.9
- Asadi, H., Baradaran, R., Seghatoleslami, M.J. and Mousavi, S.G., 2021. Evaluation of drought tolerance in some

- sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes based on stress tolerance indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(4), pp.413-433. [In Persian]. **doi: 10.22067/JCESC.2020.88165**
- Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Berhe, M., Teame, G., Hassen, M., Gebremedhin, Z., Abadi, A., Negash, W., Atsbeha, A. and Araya, G., 2020. Multivariate analysis for yield and yield-related traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Heliyon*, 6(10), p.e05295. **doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05295**
- Blum, A., 2015. Stress, strain, signaling, and adaptation –not just a matter of definition. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), pp.562-565. **doi: 10.1093/jxb/erv497**
- Boureima, S., Diouf, M., Amoukou, A.I. and Damme, V.P., 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 4, pp.45-60. **doi: 10.18782/2320-7051.2218**
- Bray, E.A., 1997. Plant responses to water deficit. *Trends Plant Science*, 2(2), pp.48-54. **doi: 10.1016/s1360-1385(97)82562-9**
- Dahie-Zehi, F., Ramroudi, M. and Raissi, A., 2022. Investigation of Some Morphological Traits, Yield, Yield Components, and Oil Percentage of Sesame Genotypes under Drought Stress Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 24(1), pp.41-51. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2021.316826.2499**
- Eshghi, A. Gh., Muzaffari, J. and Azizov, A., 2011. Evaluation of different sesame genotypes in terms of tolerance to limited irrigation conditions using multivariate analysis methods. First National Congress of Advanced Agricultural Sciences and Technologies, Zanjan University, 10-21 September. pp.58 [In Persian].
- Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S. and Ghasemi Golezami, K., 2009. Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science*, 20(1), pp.39-51. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.24764310.1389.20.1.4.5**
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan.
- Fischer, R.A. and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), pp.897-912. **doi: 10.1071/ar9780897.**
- Gharibeshghi, A. and Mansoori, S., 2006. Response of sesame to water deficit. The first international conference on the theory and practical in biological water saving, 6-8 Dec, Beijing. China. pp.110-111.
- Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Jamaati-e-Somarin, S., Saeidi, M. and Gholipouri, A., 2009. Investigation of water stress on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan region. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3(2), pp.239-244. [In Persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2017.214318.654179**
- Kadkhodaie, A., Razmjoo, J., Zahedi, M. and Pessarakli, M., 2014. Oil content and composition of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes as affected by irrigation regimes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91, pp.1737-1744. [In Persian]. **doi: 10.1007/S11746-014-2524-0**
- Khajepour, M.R., 2004. Industrial plants. Isfahan University of Technology Press. pp.564 . [In Persian].

- Langham, D.R., 2007. Phenology of sesame. In *Issues in New Crops and New Uses*; Janick, J., Whipkey, A., Eds.; ASHS Press: Alexandria, VA, USA, pp.144-182.
- Pandey, B.B., Ratnakumar, P., Usha Kiran, B., Dudhe, M.Y., Lakshmi, G.S., Ramesh, K. and Guhey, A., 2021. Identifying traits associated with terminal drought tolerance in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 12, p.739896. doi: **10.3389/fpls.2021.739896**
- Pathak, N., Rai, A.K., Kumari, R., Thapa, A. and Bhat, K.V., 2014. Sesame crop: An underexploited oilseed holds tremendous potential for enhanced food value. *The Journal of Agricultural Science*, 5, pp.519-529. doi: **10.4236/as.2014.56054**
- Reddy, O.U.K. and Doraiaj, M.S., 1994. Path coefficient analysis in sesame. *Madras Agriculture of Journal*, 81, pp.446-447. doi: **10.9734/ijpss/2022/v34i1831075**
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J., 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and Non-Stress Environment. *Crop Science*, 21(6), pp.943-946. doi: **10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x**
- Salehi, M. and Saedi, C., 2010. Multivariate analysis of yield and yield components in four Sesame cultivars. 3th International congress of oilseed, pp. 85-86. [In Persian].
- Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. *Field Crops Research*, pp.222-229. doi: **10.1016/j.fcr.2006.02.001**
- Sravanthi, A.L., Ratnakumar, P., Reddy, S.N., Eswari, K.B., Pandey, B.B., Manikanta, C.H.L.N., Ramya, K.T., Sonia, E., Mohapatra, S., Gopika, K. and Anusha, P.L., 2021. Morpho-physiological, quality traits and their association with seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.) indigenous collection under deficit moisture stress. *Plant Physiology Reports*, pp.1-11. doi: **10.1007/s40502-021-00621-0**
- Sun, J., Rao, Y., Yan, T., Yan, X., Zhou, H., 2010. Effects of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 32(4), pp.525-33.
- Zabet, M., Hosein Zade, A.H., Ahmadi, A. and Khialparast, F., 2003. Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in Mung Bean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 34(4), pp.889-898. [In Persian].
- Zabet, M. and Samadzadeh, A.R., 2014. Evaluation of tolerance to water stress in some sesame genotypes. *Applied Crop Breeding*, 2(2), pp.185-197. [In Persian].

Response of some sesame genotypes to drought stress in Mehran climate

Zahra Tahmasebi^{1*}, Hossein Mohammadi Dehballae², Maryam Mahmoodi³

¹ Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

² Plant Breeding and Biotechnology Department, , Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³ Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

*Corresponding Author: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

Received: 30 April 2023

Accepted: 8 August 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.395235.1339

Abstract

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an annual plant and an ancient plant that has been cultivated in Asia and Africa for about 7500 years. Sesame seeds contains 40-60% oil and for this reason, it is cultivated as an oil plant in many countries. Drought is a serious problem for crop production in arid and semi-arid regions of the world. One of the most important research programs in drought management in different plants is the identification and grouping of sensitive, drought-tolerant genotypes. Mehran region in Ilam province is one of the sesame growing regions in the country. Therefore, the purpose of this study was to cultivate sesame cultivars in Mehran under drought non- stress and stress conditions in order to identify superior cultivars in terms of yield and tolerance to drought stress.

Materials and Methods: 14 sesame cultivars were planted in the form of a split-plot design based on a randomized complete block with three replications in the Agricultural Research Farm of Ilam University in Mehran. The main factor of irrigation levels included irrigation after 100 mm of evaporation from the class a pan (conventional irrigation) and irrigation after 200 mm of evaporation from the class a pan, and the secondary factor was the studied sesame genotypes. Traits were measured based on 10 plants harvested from two central lines and taking into account the marginal effect. The measured traits were economic yield and number of capsules per plant, number of sub-branches, number of leaves, capsule length, capsule width, capsule weight and plant height. In order to determine resistant and sensitive cultivars to stress, various indices related to stress resistance were calculated.

Results and Discussion: The studied genotypes showed a significant difference in terms of the traits measured in the conditions of no stress and drought stress. The results of the table show that the effect of irrigation for the characteristics of capsule fresh weight, seed weight and capsule width showed a significant difference at the level of 1% and for capsule dry weight and plant height showed a significant difference at the level of 5%. Which indicates that the studied traits change under stress conditions. Other traits did not have significant differences. In the evaluation of tolerance to drought stress in different genotypes of sesame, plant height, biological yield and grain yield per surface unit decreased significantly with increasing drought stress intensity. According to the correlation of performance under stress (YS) and no stress (YP) conditions with drought tolerance indices, GMP, STI and MP indices have a correlation coefficient of 0.93, 0.905 and 0.853, respectively. Performance as the best indicators of drought tolerance in stress conditions and MP, GMP, STI and TOL indicators with correlation coefficient of 0.984, 0.935, 0.925 and 0.735 respectively with performance as the best indicator. The tolerances were under stress-free conditions. These indices can be used to identify genotypes tolerant to water stress with high yield. Based on this, Holeil variety is introduced as the most tolerant variety to drought stress.

Conclusion: In water conditions, the cultivar Yellow white had the highest yield and the cultivar Nashkofa had the lowest yield. Under stress conditions, Holeil variety had the highest yield and Nazmultib had the lowest yield. GMP, STI and MP indices had the highest correlation with

performance in water and stress conditions and therefore were chosen as the best indices. Based on this, Holeil variety is introduced as the most tolerant variety to drought stress.

Keywords: Correlation, Drought tolerance index, Holeil, Yield

بررسی کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم توسط گیاه دارویی موراله (*Chenopodium album* L.)

محدثه جهاننیک^۱، مهدی دهمرده^{۲*}، احمد غلامعلی زاده آهنگر^۳، سمیه شهرکی^۴، عیسی خمیری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آگروتکنولوژی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- گروه خاکشناسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۴- گروه شیمی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.292953.1100

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹

چکیده

استفاده از کلات‌کننده‌ها از شیوه‌های مؤثر در کاهش سمیت عناصر سنگین می‌باشد؛ بنابراین پژوهشی به منظور بررسی توانایی گیاه‌پالایی موراله در حضور کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA انجام شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۹۹ در دانشگاه زابل اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵) به ترتیب به عنوان عامل اول و دوم و کادمیوم در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰) به عنوان عامل سوم بودند. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین میزان کلروفیل a (۸۷۸/۳۳ میلی گرم بر گرم) و کارتنوئید (۶۵۵/۶ میلی گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۱/۵ میلی گرم در کیلوگرم EDTA و بیشترین میزان کلروفیل b (۷۵۲ میلی گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم PIOA در خاک فاقد کادمیوم بود که نسبت به شاهد به ترتیب حدود ۳/۷۵، ۱۰/۱۵ و ۱۳/۵۲ درصد افزایش نشان دادند. بیشترین کادمیوم اندام هوایی (۸/۵۷ میلی گرم بر کیلوگرم) و کادمیوم ریشه (۴۰/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم خاک زراعی) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی گرم در کیلوگرم کلات-کننده EDTA و بیشترین کادمیوم خاک (۱/۱۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم EDTA و خاک دارای ۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم کادمیوم به گونه‌ای که نسبت به شاهد حدود ۸۳/۴۴ درصد افزایش نشان داد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که گیاه موراله در حضور کلات‌کننده EDTA در خاک زراعی بخوبی عمل گیاه‌پالایی را انجام داده و موجب کاهش کادمیوم خاک گردد.

واژه‌های کلیدی: اندام هوایی، فلزات سنگین، کادمیوم ریشه، کلروفیل

مقدمه

این گیاه نوعی علف هرز می‌باشد که مقاوم به شوری است. سایر محققان نیز از این گیاه برای پالایش محیط‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده نموده‌اند (Mehdi Borghei et al., 2013). فلزات سنگین به دلیل ایجاد سمیت، اثرات تجمعی، زمان ماندگاری طولانی در محیط، سرطان‌زایی و غیرقابل تجزیه بودن، به عنوان یک مشکل زیست‌محیطی مهم به شمار می‌روند (Mico et al., 2006). این عناصر به دلیل تحرک کم در مدت‌زمان‌های طولانی در خاک انباشته می‌شوند. کادمیوم از جمله عناصر سنگین و غیرضروری برای گیاهان است که بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی دارد. این عنصر به علت سمیت و تحرک زیاد، یک آلاینده اساسی به شمار می‌رود (Benavides et al., 2005). نمک‌های کادمیوم به راحتی جذب گیاهان شده و سبب آسیب‌های سلولی و بافتی می‌شوند (Prasad, 1995). برای

امروزه آلودگی خاک از جمله مسائل زیست‌محیطی مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. فعالیت‌های صنعتی باعث آلودگی و تجمع فلزات سنگین در خاک می‌شوند (Canbay et al., 2010). میزان جذب آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین به وسیله گیاهان مختلف متفاوت است. چنانچه بتوان گیاهان مقاومی یافت که قادر باشند مقداری از آلودگی‌های موجود در آب و یا خاک را کاهش دهند می‌توان از آن‌ها برای رفع آلودگی منابع آلوده استفاده کرد (Alipour et al., 2015). موراله یا سلمه تره (*Chenopodium album* L.) از خانواده اسفنجیان (*Chenopodiaceae*) گیاهی یک‌ساله، دو جنسه و به ارتفاع ۳۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. ارتفاع این گیاه بر حسب آب و هوا و نوع خاک تغییر می‌کند. برگ‌های موراله خوراکی است.

لازم و ضروری است. نظر به این که ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک بوده و خاک بخش‌های زیادی از کشور با مشکل شوری مواجه هستند، هدف از انجام این پژوهش بررسی توانایی گیاه شورپسند موراله (سلمه تره) به عنوان علف هرزی با رویش جغرافیایی گسترده در کشور، در جذب آلودگی فلز کادمیوم است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۹۸ در گلخانه پژوهشکده کشاورزی بقیه‌الله اعظم دانشگاه زابل واقع در شهرستان زهک با موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. قبل از شروع آزمایش به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش تعداد ۱۰ نمونه خاک بصورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از زمین‌های کشاورزی منطقه تهیه گردید. سپس یک نمونه مرکب انتخاب شد و به آزمایشگاه منتقل گردید و تجزیه شیمیایی و فیزیکی روی آن انجام گرفت. نتایج به دست آمده از تجزیه نمونه خاک در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

نمونه خاک جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل، نمونه در مجاورت هوا خشک و از لک ۲ میلی‌متری عبور داده و میزان سنگریزه نیز هم‌زمان با کوبیدن و عبور از لک تعیین گردید. آزمایشات شیمیایی و فیزیکی مورد نیاز روی نمونه انجام شد. تعیین درصد اجزاء رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، اسیدیته خاک در عصاره ۱:۱ خاک-آب مقطر توسط pH متر (McLean, 1982)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط هدایت‌سنج (Miller et al., 2006) تعیین شد. اندازه‌گیری گچ به روش استون، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Allison and Moodie, 1965)، کربن آلی با روش والکلی و بلاک اصلاح شده (Nelson and Sommers, 1996) تعیین شد. هم‌چنین اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم محلول به روش کمپلکسومتری و تیتراسیون با EDTA، سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از استات آمونیوم یک نرمال (Knudson and Peterson, 1982) با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش باور (Rhoades, 1982)، فسفر قابل استفاده با بی‌کربنات

پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک وجود دارد. پالایش گیاهی یکی از روش‌های بیولوژیک، ساده، ارزان و دوست‌دار محیط‌زیست بوده که در آن از گیاهان برای زدودن آلودگی از خاک استفاده می‌شود. استخراج مؤثر فلزات سنگین با استفاده از گیاهان بیش‌اندوز به عمق‌های کمتر از ۲۴ اینچ محدود می‌شود. چنان‌چه آلودگی در اعماق بیشتر باشد می‌توان از درختان با ریشه‌های عمیق استفاده کرد. موفقیت در پالایش گیاهی به شناسایی گونه‌های گیاهی با تولید زیست‌توده بالا که قادر به ذخیره فلزات سنگین هستند وابسته است (Pulford and Watson, 2003).

گیاه‌پالایی شیمیایی روشی است که در آن از کلات‌کننده‌های مختلف جهت افزایش جذب فلزات توسط گیاه استفاده می‌شود. در این حالت ماده خشک تولید شده افزایش یافته و موجب می‌گردد مقدار زیادی عناصر فلزی که با تیمارهای شیمیایی اعمال شده، جذب گیاه گردند (Sun et al., 2011). کمپلکس این کلات‌کننده‌ها با عناصر سنگین در مقایسه با کلات‌کننده‌های آلی پایداری بیشتری در خاک دارد. در میان اصلاح‌کننده‌ها، EDTA به عنوان ماده‌ای که حلالیت فلزات را در خاک افزایش می‌دهد، بسیار مناسب پیشنهاد شده است (Evangelou et al., 2007). در تحقیقی مشخص گردید که اثرات کادمیوم، کودهای پتاسیم و برهمکنش آن‌ها بر مقدار کادمیوم ریشه و اندام‌های هوایی، وزن خشک و پتاسیم ریشه اثر معنی‌داری داشته است (Ghorbanpoor et al., 2019). در پژوهش دیگری اثر EDTA بر جذب سرب و کادمیم توسط کلزا بررسی و مشخص شد کاربرد EDTA حلالیت سرب و کادمیوم را در محلول خاک افزایش داده و منجر به جذب بیشتر سرب در کاه و کلش و دانه کلزا گردید. بررسی غلظت سرب و کادمیوم در کاه و کلش گیاه کلزا نشان داد در تیمارهای آلوده، غلظت کادمیوم (۲۳/۱-۷/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در هر دو سطح EDTA و غلظت سرب (۴۸/۲۷۵-۱۰۶/۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) تنها در حضور EDTA در حد سمیت مشاهده شد (Mirkhani et al., 2018).

پژوهش‌های انجام شده در مورد گیاه‌پالایی رو به گسترش است، از این‌رو انجام تحقیقاتی به منظور شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی مناسب برای گیاه‌پالایی فلزات سنگین از خاک،

در نمونه با روش هضم با اسید فلئوئوریک و تیزاب سلطانی (محلول اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت یک به سه) (Hossner, 1996) با استفاده از دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری تعیین شد.

سدیم ۵/۰ مولار به روش اولسن و همکاران (Olsen et al., 1954) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. تعیین میزان نیتروژن کل به روش کج‌دال (Page et al., 1982) صورت گرفت. هم‌چنین اندازه‌گیری غلظت کل کادمیوم

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

بافت	رس	شن	سیلت	عمق	هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن تبدادی	نیتروژن کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	ماده آلی	آهن	روی	مس	منگنز
Texture	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	Depth (cm)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	T.N.V (%)	Total N (%)	Pava (ppm)	Kava (ppm)	O.C (%)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
لوم شنی	23	55	22	0-30	2.1	7.6	12.5	0.03	12	170	0.32	4.08	0.42	0.59	3.83
Sandy loam															

جدول ۲- آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه خاک (meq.L⁻¹)Table 2- Anions and cations in soil sample (meq.L⁻¹)

مشخصات	کلسیم	منزیم	سدیم	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبدادی	پتاسیم	ظرفیت تبادل کاتیونی	چگالی ظاهری
Properties	Ca	Mg	Na	SAR	ESP	K (meq.L ⁻¹)	CEC (Cmol.kg ⁻¹)	Bd (g.cm ⁻³)
-	8	4	7.5	3.06	3.1	1.5	5.7	1.71

استفاده از نمک کلرور کادمیوم اقدام به آلوده کردن مصنوعی خاک شد؛ بنابراین غلظت کادمیوم کل خاک به ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رسانیده شد و به صورت محلول به خاک اضافه و کاملاً مخلوط گردید.

برای اجرای آزمایش گلخانه‌ای تحت شرایط کنترل شده با ۱۲ ساعت روشنایی، متوسط رطوبت نسبی ۷۰ درصد، دمای ۲۵ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد (در فصل زمستان) گلدان‌های ۵ کیلوگرمی (ارتفاع و عرض گلدان به ترتیب ۳۰ و ۲۵ سانتی‌متر) با خاک (گذرانیده شده از الک ۲ میلی‌متری) پر شد. سپس سایر عناصر غذایی نیز با توجه به آزمون خاک اضافه گردید. هم‌چنین به منظور بررسی تغییرات غلظت کادمیوم، در انتهای آزمایش میزان کادمیوم در خاک و گیاه اندازه‌گیری شد.

در هر گلدان ۴ نشاء موراله تهیه شده از خزانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل در عمق ۱۰ سانتی‌متری کشت شد. در طول دوره رشد، آبیاری با آب مقطر جهت نگهداری رطوبت در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به روش توزین انجام شد. حد ظرفیت زراعی نمونه خاک قبل از شروع آزمایش با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد.

گیاهان قبل از رسیدن به رشد زایشی برداشت شدند. سپس

پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به ترتیب به عنوان عامل اول و دوم و کادمیوم در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک زراعی) از منبع نترات کادمیوم به عنوان عامل سوم بودند.

این تحقیق به منظور بررسی توانایی گیاه‌پالایی موراله (*Chenopodium album* L.) در حضور کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA در یک خاک منتخب از منطقه زهک سیستان به صورت آزمایش گلدانی روی یک خاک آلوده شده به کادمیوم، در گلخانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد. نمونه خاک تهیه شده از مزارع کشاورزی شهرستان زهک و در مجموع با ۱۴۴ گلدان مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا با یک پیش‌آزمایش سطوح غلظتی کادمیوم در حجم کمتری از خاک مشخص گردید. به این منظور برای ایجاد شرایط واقعی و رسیدن به زمان تعادل (نحوه هموزن) ۳ یا ۴ هفته کادمیوم در خاک باقی‌ماند. با توجه به عدم وجود کادمیوم در خاک مورد آزمایش و برای افزایش غلظت کادمیوم در خاک با

ریشه‌ها در چندین مرحله قرار دادن در آب و شستشو (خارج کردن آب روی ریشه‌ها) به آرامی از خاک آن جدا شده و تمیز گردید. تعیین غلظت کادمیوم با استفاده از روش ویلسون (Wilson, 1983) انجام پذیرفت. به این منظور پس از خشک کردن نمونه‌های گیاهی داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، جهت انجام تجزیه گیاه، نمونه‌ها آسیاب شده و خاکستر گردیدند. عصاره گیاه به روش خاکسترسازی (خشک سوزانی) (روش اسید نیتریک- پرکلرید) (روش هضم خشک) آماده گردیدند (Benton Jones and Case, 1990). غلظت کادمیوم در عصاره حاصل از هضم با دستگاه جذب اتمی

(مدل Konikwov M300 ساخت کشور استرالیا) تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئیدها، مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی ساییده شد و پس از افزودن ۲۰ میلی‌متر استون ۸۰ درصد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، سانترفیوژ گردید و جذب محلول بالای در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتوفتومتر معین شد. سپس با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه بدست آمد (Arnon, 1965).

$$\text{Chlorophyll a} = (11/75 \times A_{664} - 2/350 \times A_{645}) \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (18/61 \times A_{645} - 3/960 \times A_{664}) \quad (2)$$

$$\text{Carotenoids} = 1000(A_{470}) - 2/270 (\text{mg chl. a}) - 81/4 (\text{mg chl. b})/227 \quad (3)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

کلروفیل a و b

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که میزان کلروفیل a تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۳). کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کلروفیل a در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان کلروفیل a (۸۷۸/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA و خاک فاقد کادمیوم بود که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۳/۷۵ درصد افزایش نشان داد. کمترین میزان کلروفیل a (۱۸۵/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و فاقد PIOA بود (جدول ۴). نتایج نشان داد کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کلروفیل a در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید. در آزمایش دیگری محققان گزارش کردند که با افزایش غلظت EDTA غلظت سرب در خردل هندی (*Brassica Juncea* L.) افزایش و

بیشترین انباشتگی در غلظت ۵ میلی‌مول در کیلوگرم EDTA مشاهده شد و غلظت‌های بیشتر سرب موجب نکرز و ریزش برگ‌ها گردید (Sarsar et al., 2012).

میزان کلروفیل b به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b (۷۵۲ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم PIOA و خاک فاقد کادمیوم و کمترین میزان کلروفیل b (۲۰۵/۳ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و فاقد PIOA بود. به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۱۳/۵۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

می‌توان گفت آلودگی با فلزات سنگین روی کمپلکس جذب‌کننده نور، کمپلکس و ساختمان سیتوکروم کلروپلاست برگ تأثیر می‌گذارند و بازده فتوسنتز کل را کاهش می‌دهند (Prasad and Strzalka, 1999). در پژوهشی که بر گیاه *Matthiola flavidia* که از خانواده شب بو می‌باشد انجام گرفت نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم و روی غلظت کلروفیل a و b نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (Mohtadi and Hooshyari, 2016). هم‌چنین در تحقیقی روی دو علف هرز *Digitaria* و *Cyperus* انجام گرفت کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل در اثر اعمال ۲۰ میلی‌گرم در

کیلوگرم کادمیوم دیده شد اما افزایش درصد کلات‌کننده‌ها موجب افزایش کلروفیل b در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید (Ewaise, 1997). در پژوهش دیگری کاربرد کلات‌کننده EDTA در گیاه ذرت موجب افزایش میزان کلروفیل در گیاهان تحت تأثیر آلودگی سرب گردید (Mojahedi et al., 2012).

کاروتنوئید

میزان کاروتنوئید به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان کاروتنوئید (۶۵۵/۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده EDTA و خاک فاقد کادمیوم بود که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۱۰/۱۵ درصد افزایش نشان داد. کمترین میزان کاروتنوئید (۲۱۳/۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار فاقد کلات‌کننده و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم بود (جدول ۴). لذا

می‌توان گفت کاهش کاروتنوئید به دلیل فرونشانی غیرفتوشیمیایی کلروفیل‌های برانگیخته است که توسط کاروتنوئیدها انجام و موجب برهم‌ریختن ساختارشان می‌گردد. کاروتنوئیدها در سمیت‌زدایی کلروفیل برانگیخته سه‌تایی نقش دارند. کاروتنوئیدها در چند سطح باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند که از آن جمله واکنش با کلروفیل برانگیخته برای ممانعت از تشکیل رادیکال‌های فعال اکسیژن است. کاروتنوئیدها به‌عنوان یک سیستم حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو القاء شده از بین می‌روند (Sanita et al., 1999). در مقابل کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کاروتنوئید در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، در همین راستا (Mohsenian and Roosta, 2012) نشان دادند که محلول-پاشی منابع مختلف کلات‌کننده روی گیاه فلفل سبب افزایش رشد رویشی، عملکرد و رنگ‌گیری بهتر میوه در سیستم آکوپونیک و هیدروپونیک گردید و هم‌چنین باعث افزایش مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و قندهای محلول شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کیفی و کادمیوم در خاک، ریشه و اندام هوایی

Table 3- Analysis of variance of qualitative traits and cadmium in soil, root and shoots

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	کادمیوم اندام هوایی Shoots cadmium	کادمیوم ریشه Root cadmium	کادمیوم خاک Soil cadmium
نوع کلات‌کننده Chelator types	1	125.72**	0.18 ^{ns}	5000.36**	8.688**	260.33**	0.0854*
سطوح کلات‌کننده Chelator levels	3	755.49**	981.20**	222.26**	20.76**	770.58**	0.512**
سطوح کادمیوم Cadmium levels	2	1389.121**	167.63**	722.35**	130.69**	4106.44**	2.086**
نوع کلات‌کننده × سطوح کلات‌کننده Chelator types × Chelator levels	3	287.05**	407.33**	2037.32**	0.325 ^{ns}	1.993 ^{ns}	0.295**
نوع کلات‌کننده × کادمیوم Cadmium × Chelator types	2	167.24**	167.17**	6667.12**	2.146**	97.65**	0.154**
سطوح کلات‌کننده × کادمیوم Cadmium × Chelator levels	6	463.20**	870.11**	418.00**	6.578**	207.47**	0.167**
نوع کلات‌کننده × سطوح کلات‌کننده × کادمیوم Cadmium × Chelator types × Chelator levels	6	759.20**	352.18**	2037.22**	0.250**	2.563**	0.1906**
خطای آزمایش Error	48	5142.43	44.611	628.44	0.1713	1.34	0.0168
ضریب تغییرات Coefficient of Variance (%)	-	4.12	1.66	5.17	0.414	1.16	0.129

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

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

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات کیفی و کادمیوم در خاک، ریشه و اندام هوایی

Table 4- Means comparison of qualitative traits and cadmium in soil, root and shoots

نوع کلات کننده Chelator types	سطوح کلات کننده Chelator levels (mg.kg ⁻¹)	سطوح کادمیوم Cadmium levels (mg.kg ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	کاروتنئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)	کادمیوم اندام هوایی Shoots cadmium (mg.kg ⁻¹)	کادمیوم ریشه Root cadmium (mg.kg ⁻¹)	کادمیوم خاک Soil cadmium (mg.kg ⁻¹)
EDTA	0	0	845.33 a	416.66 de	589 bc	0.523 k	2.23 k	0.197 f
		15	490 def	364 efg	270.3 fg	2.227 hi	6.10 k	0.367 ef
		30	255 hi	302.33 ghi	349.3 ef	3.123 ef	17.18 h	1.137 ab
	0.5	0	852.66 a	520.33 c	640.6 b	0.593 j	2.23 l	0.197 f
		15	760 ab	390 def	648 ab	2.267 gh	17.97 h	1.017 b
		30	312.33 ghi	315 ghi	447.6 ef	5.100 d	33.70 c	1.190 a
	1	0	843.66 a	586.33 b	623.3 ab	0.697 j	2.50 l	0.220 f
		15	418.33 efg	391 def	393 ef	3.467 e	23.77 f	0.930 cd
		30	360.33 ghi	343.6 fgh	488.3 ef	6.833 b	37.98 b	0.793 cd
	1.5	0	878.33 a	426.3 d	655.6 a	0.767 j	2.00 l	0.267 ef
		15	810 a	414.3 d	425.6 ef	4.560 d	29.53 d	0.263 ef
		30	467.33 ef	318 ghi	553.3 de	8.57 a	40.03 a	0.123 f
PIOA	0	0	519 de	650.3 b	575 d	0.427 l	1.97 l	0.263 ef
		15	396.66 efg	222.6 kl	594 bc	1.837 i	5.10 l	0.320 ef
		30	185.33 j	205.3 l	213.6 g	2.707 g	7.84 l	0.950 c
	0.5	0	669.66 bc	752 a	564.6 d	0.457 kl	2.14 l	0.300 ef
		15	359.66 ghi	357 ghi	586 d	1.860 i	14.97 g	0.753 d
		30	219.6 j	236 jkl	245.3 f	3.107 f	27.53 e	1.090 ab
	1	0	680.66 bc	737.3 a	595.6 bc	0.580 jk	2.47 l	0.277 ef
		15	368 fgh	249.6 jkl	629.6 ab	2.597 g	20.23 g	0.170 f
		30	231 ij	250.6 jkl	253.3 ef	5.583 c	29.77 d	0.763 d
	1.5	0	596.33 cd	594.6 bc	623.3 c	0.697 j	1.86 l	0.267 ef
		15	413 efg	286.3 ijk	264.6 f	3.513 e	24.47 f	0.200 f
		30	249.33 hi	264.3 jkl	371 ef	7.03 b	31.27 d	0.503 e

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

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

کادمیوم اندام هوایی

میزان کادمیوم اندام هوایی به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین کادمیوم اندام هوایی (۸/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده EDTA و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان کادمیوم اندام هوایی (۰/۴۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) بود (جدول ۴). می‌توان اذعان داشت که کادمیوم به علت قابلیت تحرک بیشتر شاخص انتقال بالایی به گیاه دارد (Wang et al., 2016). در همین

راستا محققان دیگر بیان داشتند که بین مقدار عناصر سنگین در آب آبیاری، تجمع این عناصر در خاک و مقدار این عناصر در گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد (Sillanpaa and Jansson, 1992). در مطالعه‌ای که روی آبیاری گیاه برنج با پساب حاوی عناصر سنگین انجام شده، نشان داده شد که اندام‌های مختلف گیاه آبیاری شده با پساب مقدار قابل توجهی از عناصر نیکل، سرب و کادمیوم را جذب نمودند (Mireles et al., 2004). در مطالعه دیگری غلظت عناصر سنگین در گیاه رازیله در اثر آبیاری با آب آلوده به سرب و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم در آب آبیاری، غلظت کادمیوم در خاک‌های تحت کشت و به دنبال آن در

پژوهش دیگری به‌منظور پالایش سبز خاک‌های آلوده به سرب توسط گونه *Maximowiczii anabidens* گزارش گردید که توزیع سرب در گیاه به ترتیب: ریشه < ساقه < برگ بوده و تحرک سرب خاک و غلظت سرب در گیاهان، هر دو با استفاده از EDTA افزایش یافتند (Hong et al., 2007).

کادمیوم خاک

میزان کادمیوم خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده و درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین کادمیوم خاک (۱/۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA با سطح ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان کادمیوم خاک (۰/۱۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA با سطح ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم بود (جدول ۴). کاربرد کلات‌کننده موجب کاهش کادمیوم خاک در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۸۳/۴۴ درصد کاهش نشان می‌دهد، این به دلیل آن است که EDTA اضافه شده قادر بوده که حلالیت کادمیوم محلول خاک را افزایش دهد. در نتیجه منجر به افزایش جذب کادمیوم بیشتری در گیاه شده است.

توانایی EDTA در افزایش غلظت فلزات در محلول خاک تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله غلظت فلزات و EDTA، حضور کاتیون‌های رقابتی، گونه‌های فلزی و توزیع آن‌ها در بین بخش‌های خاک، pH خاک، جذب فلزات آزاد یا کمپلکس شده روی ذرات باردار خاک و ثبات تشکیل ترکیبات فلز-لیگاند می‌باشد (Dushenkov et al., 1997). در پژوهش دیگری نیز مشاهده گردید که فاکتور تغلیظ زیستی در اندام‌های زیرزمینی گیاه بویا (*Scirpusmaritimus* L.) به‌طور نسبی بالاتر بوده و غلظت سرب و کروم در ریشه > ریزوبیوم > برگ > ساقه بود (Ebrahimi and Shahsavand, 2014).

در یک مطالعه آزمایشگاهی اثر غلظت‌های مختلف EDTA در آبشویی فلزات کادمیم، مس، سرب و روی بررسی و گزارش گردید که آبشویی این فلزات با افزایش غلظت EDTA افزایش یافته و ۴ تا ۷۸ درصد از کل سرب موجود در خاک پس از استفاده از EDTA حذف شده است. از طرفی کاربرد

گیاهان کشت‌شده در گلدان‌ها افزایش داشته است (Merikhi'pour and Izadi'far, 2016)، که نتایج پژوهش حاضر را مورد تأیید قرار می‌دهد.

کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کادمیوم اندام هوایی در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید که به دلیل بالا بودن تمایل پیوند EDTA به فلزات است. وقتی EDTA در غلظت‌های بالایی استفاده می‌شود، تأثیر بالقوه‌ای بر آزاد شدن فلزات از فاز جامد با تشکیل کمپلکس‌های محلول دارد و تشکیل کمپلکس‌های EDTA با فلزات در محلول خاک ممکن است تعادل رسوب و جذب را به سمت حل شدن فلزات پیش ببرد (Dushenkov et al., 1997). محققان با ارزیابی پالایش سبز توسط پیاز سبز و سرخس گزارش کردند که EDTA به مقدار قابل توجهی غلظت سرب را در ساقه پیاز سبز افزایش داده است (Cho et al., 2009). میزان کادمیوم ریشه نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده قرار گرفت، کادمیوم به علت قابلیت تحرک بیشتر شاخص انتقال بالایی به گیاه دارد (Wang et al., 2016).

کادمیوم ریشه

میزان کادمیوم ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده قرار گرفت ولی برهمکنش نوع کلات‌کننده و درصد آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین کادمیوم ریشه (۴۰/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک زراعی) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده EDTA و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان کادمیوم ریشه (۱/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده PEOA و خاک فاقد کادمیوم بود. کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کادمیوم ریشه در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۹۴/۴۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در آزمایشی که بر گیاه چغندر انجام شد، نتایج نشان داد که تجمع کادمیوم در ریشه‌های چغندر قند ۵ تا ۱۰ برابر بیش از اندام هوایی آن بوده است، افزودن کلات‌کننده به خاک موجب افزایش کادمیوم ریشه در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید (Larsson et al., 1998). همچنین در

EDTA بطور معنی داری نسبت به PIOA قابلیت حل کادمیوم بیشتری توسط گیاه از خاک را داشت.

در مجموع نتایج این تحقیق گویای آن است که گیاه موراله یک گیاه مقاوم به آلودگی های خاک است و می تواند سطوح آلودگی را تا میزان مشخصی تحمل نماید که با حضور کلات کننده این گیاه سطوح بالاتری از عنصر کادمیوم را جذب نموده بود و به عبارتی گیاه پالایی و جدا کردن فلز کادمیوم از خاک توسط گیاه بهتر انجام پذیرفت. به دلیل بالا بودن تمایل پیوند EDTA به فلزات، وقتی EDTA در غلظت های بالایی استفاده شود، تأثیر بالقوه ای بر آزاد شدن فلزات از فاز جامد با تشکیل کمپلکس های محلول دارد و تشکیل کمپلکس های EDTA با فلزات در محلول خاک ممکن است تعادل رسوب و جذب را به سمت حل شدن فلزات پیش ببرد.

سپاس گذاری

بدین وسیله از همکاری ریاست محترم و کارکنان زحمت کش پژوهشکده کشاورزی بقیه الله الاعظم دانشگاه زابل که ما را در اجرای این پژوهش یاری رساندند تشکر و قدردانی می شود.

کلات کننده موجب کاهش کادمیوم خاک در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، این به دلیل آن است که EDTA اضافه شده قادر بوده که حلالیت کادمیوم محلول خاک را افزایش دهد. در نتیجه منجر به افزایش جذب کادمیوم بیشتری در گیاه شده است (Wu et al., 2004). در پژوهش دیگری گزارش گردید که جابجایی سرب از ریشه به شاخساره ها می توانند به طور چشم گیری با کاربرد ترکیبات EDTA افزایش یابد (Liu et al., 2007) که با نتایج پژوهش حاضر هم خوانی دارد.

نتیجه گیری کلی

می توان بیان کرد که با کاربرد کلات کننده EDTA در خاک، گیاه قادر بوده که حلالیت کادمیوم را در محلول خاک افزایش دهد، در نتیجه منجر به افزایش جذب کادمیوم در گیاه موراله شده است. نتایج بررسی خاک حاکی از آن بود که در خاک های حاوی کلات کننده های EDTA و PIOA به صورت قابل توجهی میزان کادمیوم خاک کاهش داشته و به همان میزان کادمیوم در اندام های مختلف گیاه بخصوص ریشه که مستقیماً با آلودگی مواجه بود افزایش داشت. کلات کننده

References

- Alipour, N., Homayi, V., Asadi Kapoorchal, S. and Mazhari, M. 2015. Evaluation of resistance and excess of lead by (*Chenopodium album* L.) leek in heavy metal contaminated hub soil. *Environmental Sciences*, 13(1), pp.105-112. [In Persian].
- Allison, L.E. and Moodie, C.D. 1965. Carbonate. p. 1379-1400. In C.A. Black et al. (ed). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. 1st ed. Soil Science Society of America, Madison, WI. Alloway, B.J. 1990. *Heavy metals in soils*. John Wiley and Sons Inc., New York, ISBN 0470215984.
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(2), pp.112-121.
- Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, pp.21-34.
- Borghai, S., Arjmandi, R. and Moogouei, R. 2013. Potential of *Chenopodium album* for uptaking and accumulation of stable cesium. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(3), pp.1-11. [In Persian].
- Canbay, M., Aydin, A. and Kurtulus, C. 2010. Susceptibility and heavy-metal contamination in top soils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 70, pp.46-57. doi: 10.1016/j.jappgeo.2009.11.002
- Cho, Y., Bolick, G.A. and Butcher, D.J. 2009. Phytoremediation of lead with green onions (*Allium fistulosum*) and

- uptake of arsenic compounds by moonlight ferns (*Pteris cretica* cv. Maji). *Microchemical Journal*, 91(1), pp.6-8. doi:10.1016/j.microc.2008.05.008
- Dushenkov, S., Kapulnik, Y., Blaylock, M., Sorochinsky, B., Raskin, I. and Ensley, B. 1997. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. *Global Environmental Biotechnology*, pp.563-572.
- Ebrahimi, M. and Shahsavand, F. 2014. EDTA enhanced phytoextraction capacity of *Scirpus maritimus* L. grown on Pb-Cr contaminated soil and associated potential leaching risks. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2(10), pp.379-388.
- Evangelou, M.W.H., Ebel, M. and Schaeffer, A. 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. *Chemosphere*, 68, pp.989-1003. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.01.062
- Ewaise E.A. 1997. Effects of cadmium nickel and lead on growth, chlorophyll content and proteins of weed. *Biologia Plantarum*, 39, pp.403-410.
- Gee, G.W. and Bauder, T.W. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis, part 1: Physical and mineralogical methods 2nd ed. *Agronomy Journal*, 9(1) ASA. SSSA. Madison Publisher, Wisconsin, USA. doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15
- Ghorbanpoor, Z., Gholamalizadeh, A., Lakzian, A. and Abbaspoor, A. 2019. The Effect of potassium source on reducing cadmium stress and cadmium uptake by canola (*Brassica napus* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), pp.307-317. [In Persian]. doi: 10.22077/escs.2018.1033.1203
- Hong-qi, W., Si-jin, L., Hu, A. and Zhi-hua, Y. 2007. EDTA-enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by *Bidens maximowicziana*. *Journal of Environmental Sciences*, 19, pp.1496-1499. doi: 10.1016/S1001-0742(07)60243-5
- Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. P 49-64. In: Methods of soil analysis. (Ed. D.L. Sparks). ASA and SSSA. Madison, WI.
- Knudson, D. and Peterson, G.A. 1982. Lithium, Sodium and Potassium, P 225-246. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Argon. Monogr. 9. ASA. Madison, WI.
- Larsson, E.H., Bornman, F.J. and Asp, H. 1998. Influence of UV-B radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *Experimental Botany*, 49, pp.1031-1039. doi: 10.1093/jxb/49.323.1031
- Liu, D., Yang, T., Li X., Islam, E., Jin, X. and Mahmood, Q. 2007. Enhancement of lead uptake by hyperaccumulator plant species *Sedum alfredii* Hance using EDTA and IAA. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 78(4), pp.280-283.
- McLean, E.D. 1982. Soil pH and lime measurement. Methods of soil analysis part 2: Chemical and microbial properties. 2nd ed. *Agronomy Journal*, 9(1). ASA. SSSA. Madison Publisher. Wisconsin. USA.
- Merikhi'pour, H. and Izadi'far, Sh. 2016. Investigation of concentrations of heavy elements in fennel plant due to irrigation with water contaminated with lead and cadmium. 1st National Conference on Aromatic and Medicinal Plants. Gonbad Kavous University, 2016.

- Mico, C., Recatala, L., Peris, M. and Sa'nchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65, pp.863-872. **doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.03.016**
- Miller, P.R., Gan, Y., McConkey, B.G. and McDonald, C.L. 2006. Pulse crops for the northern Great Plains: I. Grain productivity and residual effects on soil water and nitrogen. *Agronomy Journal*, 95(4), pp.972-979. **doi: 10.2134/agronj2003.9720**
- Mireles, A., Solisa, C., Andrade, E., Lagunas Solar, M. and Flocchinib, R.G. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 12, pp.187-190. **doi: 10.1016/j.nimb.2004.01.051**
- Mirkhani, R., Saadat, S., Rezaei, H. and Rezabagheri, Y. 2018. Effect of EDTA on uptake of Lead and Cadmium by Canola. *Applied Soil Research*, 5(2), pp.52-65. [In Persian].
- Mohammadi, M., Shirvani Mahani, S. and Fotovat, A. 2007. Comparison of zinc and cadmium uptake in radishes and watercress and study of their interactions, *Soil, Environment and Sustainable Development*. Conference, Karaj, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. [In Persian].
- Mohsenian, H.R. and Roosta, Y. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae*, 146, pp.182-191. **doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.018**
- Mohtadi, A. and Hooshyari, S. 2016. Study of cadmium and zinc interaction in *Matthiola flavida* Boiss. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(1), pp.210-220. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23832592.1395.29.1.18.0**
- Mojahedi, H., Amerian, M.R., Victim, H. and Rahimi, M. 2012. The effect of application of mycorrhiza and EDAT chelates on some vegetative traits of maize plants at different levels of lead pollution, *6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*, Tehran. [In Persian].
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis*. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. *American Society of Agronomy*, Inc., Madison, WI. pp.961-1010.
- 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. *USDA Circ.*, No. 939.
- Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*, pp: 1159-1982.
- Prasad, M.N. 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environment and Experimental Botany*, 35, pp.525-545. **doi: 10.1016/0098-8472(95)00024-0**
- Prasad, M.N.V. and Strzalka, K. 1999. Impact of heavy metals on photosynthesis. In: *Heavy metal stress in plants* (Eds. Prasad, M. N. V. and Hagemeyer, J.) 117-138. Springer Verlag, Berlin.
- Pulford, I.D. and Watson, C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees- a review. *Environment International*, 29(4), pp.529-540. **doi: 10.1016/S0160-4120(02)00152-6**

- Rhoades, J.D. 1982. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. D.L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. *American Society of Agronomy*, Inc., Madison, WI. pp.417-436.
- Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41, pp.105-130. doi: 10.1016/S0098-8472(98)00058-6
- Sarsar, V., Hardeep, H., Selwal, K.K., Tanwar, R.S., Pankaj, K., Tyagi, P.K. and Anami Ahuja, A. 2012. Indian Mustard *Brassica juncea* L. Mediated Phytoremediation of Lead. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 3(4), pp.1-5.
- Sillanpaa, M. and Jansson, H. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt, and selenium in soils and plant of thirty countries. FAO soils Bulletin Rome. Italy. 65p.
- Sillen, W., Rineau, F., Weyens, N. and Vangronsveld, J. 2016. Towards an enhanced understanding of plant-microbiome interactions to improve phytoremediation: engineering the Meta organism. *Frontiers in Plant Science*, 7, pp.341-349. doi: 10.3389/fmicb.2016.00341
- Wang, X., Chen, C. and Wang, J.L. 2016. Bioremediation of cesium-contaminated soil by Sorghum Bicolor and soil microbial community analysis. *Geo microbiology Journal*, 33, pp.216-221. doi: 10.1080/01490451.2015.1067655
- Wilson, J. 1983. Effects of water stress on in vitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. *Crop & Pasture Science*, 34(4), pp.377-390. doi: 10.1071/AR9830377
- Wu, L.H., Luo, Y.M., Xing, X.R. and Christie, P. 2004. EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102(3), pp.307-318. doi: 10.1016/j.agee.2003.09.002

Evaluation of EDTA and PIOA chelates for phytoremediation of cadmium contaminated soils by Morale (*Chenopodium album* L.)

Mohadeseh Jahantigh¹, Mehdi Dahmardeh^{2*}, Ahmad Gholamalizadeh Ahangar³, Somayeh Shahraki⁴, Issa Khammari²

¹ Ms.c Student of Agro Technology, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran

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

³ Department of Soil Science, University of Zabol, Zabol, Iran

⁴ Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran

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

Received: 30 June 2021

Accepted: 31 December 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2022.292953.1100

Abstract

Introduction: Today, soil pollution is one of the important environmental issues that must be taken into consideration. Industrial activities cause pollution and accumulation of heavy metals in the soil. The rate of absorption of pollutants, especially heavy metals, by different plants is different. If resistant plants can be found that are able to reduce some of the pollution in water or soil, they can be used to remove pollution from polluted sources. Heavy metals are considered as an important environmental problem due to their toxicity, cumulative effects, long persistence time in the environment, carcinogenicity and non-degradability. Chemical phytoremediation is a method in which different chelating agents are used to increase the absorption of metals by the plant. The purpose of this research is to investigate the ability of morale as a weed with a wide geographical spread in the country, to absorb cadmium metal pollution.

Material and Methods: This research was carried out in the agricultural year of 2018-2019 in the greenhouse of agricultural Research Institute of Zabol University, located in Zahak city, with a geographic location of 61° 41' east longitude and 30° and 54' north latitude and an altitude of 483 meters above sea level. The research was carried out as a factorial experiment in the form of a completely randomized design with three replications. The experimental treatments include EDTA and PIOA chelate at four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mg/kg of soil) as the first and second factors, respectively, and cadmium at three levels (0, 15 and 30 mg/kg of soil) from the source of cadmium nitrate as the third factor. This research aims to investigate the phytoremediation ability of Morale in the presence of EDTA and PIOA chelating agents in a selected soil from the drainage area of zabol in the form of a pot test on a soil contaminated with cadmium, in the greenhouse of the agricultural research institute was done of the zabol university. In each pot, 4 morale seedlings prepared from the treasury of Zabol University Agricultural Research Institute were planted at a depth of 10 cm. Analysis of data was done using SAS software version 9.1. The mean comparison of the treatments was analyzed using Duncan's multiple range test at the 5% level.

Results and Discussion: The application of chelating agent increased chlorophyll a in all treatments affected by cadmium, so that the highest amount of chlorophyll a (878.33 mg/g) was in the treatment of 1.5 mg/kg EDTA and soil without cadmium, which ratio It showed an increase of about 3.75% compared to the control (without chelating agent and without cadmium). The highest amount of cadmium in aerial parts (8.57 mg/kg) corresponds to the treatment containing 1.5 mg/kg of EDTA chelated and soil with 30 mg/kg of cadmium and the lowest amount of cadmium in aerial parts (0.427 mg/kg) was related to the control treatment (without chelating agent and without cadmium). The application of chelating agent increased root cadmium in all treatments under the influence of cadmium, in a way that showed an increase of about 94.42% compared to the control (without chelating agent and without cadmium).

Conclusion: In sum, the results of this research show that the Morale plant is a plant resistant to soil pollution and can tolerate the levels of pollution to a certain extent. Refinement and separation of

cadmium metal from the soil was done better by the plant. Due to the high tendency of EDTA to bind to metals, when EDTA is used in high concentrations. It has a potential effect on the release of metals from the solid phase by forming soluble complexes, and the formation of EDTA complexes with metals in the soil solution may advance the balance of precipitation and absorption towards the dissolution of metals.

Keywords: Chlorophyll, Heavy metals, Root cadmium, Shoots

تأثیر کمپوست حاصل از محتویات شکمبه گوسفند و اسید هیومیک بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و عملکرد گیاه شلغم (*Brassica rapa*)

موسی الرضا طاهری^۱، علیرضا آستارایی^{*}، حجت امامی^۱

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبه: astaraei@um.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.360317.1272

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹

چکیده

در اراضی کشاورزی ایران به دلیل آهکی بودن و کمبود عناصر قابل جذب برای گیاه و شرایط فیزیکی نامناسب خاک، توجه به کودهای آلی و ریزجانداران خاک اهمیت زیادی پیدا می‌کند. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کمپوست حاصل از محتویات شکمبه گوسفند و اسید هیومیک بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و عملکرد گیاه شلغم انجام گرفت. برای این منظور از دو سطح کمپوست محتویات شکمبه صفر و ۵ تن بر هکتار و دو سطح اسید هیومیک صفر و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم استفاده شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در شرایط مزرعه اجرا شد. نتایج نشان داد که تیمارهای آزمایش تأثیر معنی داری در بهبود پارامترهای فیزیکی خاک، شامل افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک تر و خشک (۸۳ و ۴۴ درصد)، افزایش درصد پایداری خاکدانه‌ها (۶۲ درصد)، کاهش درصد رس قابل پراکنش خاک (۴۶ درصد) داشتند. اثر متقابل کمپوست شکمبه و اسید هیومیک باعث افزایش کربن و نیتروژن بایومس میکروبی (۴۳ و ۷۷ درصد)، افزایش تنفس میکروبی خاک (۷۵ درصد)، کاهش pH خاک و افزایش فراهمی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک شد. کاربرد همزمان کمپوست محتویات شکمبه و اسید هیومیک بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد شلغم (۲۲ درصد) نسبت به شاهد داشت. با توجه به نتایج بدست آمده کمپوست شکمبه و اسید هیومیک باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و زیستی خاک و به دنبال آن افزایش فراهمی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک شد و در نهایت باعث افزایش عملکرد گیاه شلغم شد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاکدانه‌ها، تنفس میکروبی، جمعیت میکروبی، عناصر غذایی

مقدمه

یک کود آلی غنی از عناصر غذایی و فاقد مشکل شوری استفاده کرد، ضایعات شکمبه است که از جیره غذایی جویده شده دام با ماهیت سلولوزی و سرشار از الیاف فیبری تشکیل شده است که سبب جذب و نگهداری بیشتر رطوبت خاک توسط آن می‌شود. همچنین این ضایعات حاوی ترشحات سیستم گوارشی دام است که نقش مثبتی در چسبندگی ذرات خاک دارد. یکی از اصلی‌ترین بخش‌های سیستم گوارشی حیوانات گیاهخوار و نشخوار کننده ریزجانداران سیستم گوارشی این حیوانات است که شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها و پروتوزوآهایی است که نقش عمده‌ای در هضم مواد غذایی دارند (Lee et al., 2000). در هر میلی گرم محتویات شکمبه بین 10^9 تا 10^{11} CFU باکتری و 10^5 تا 10^6 CFU پروتوزوآ و قارچ وجود دارد که معمولاً بی‌هوازی هستند و بین ۱۰ تا ۲۰ درصد جمعیت میکروبی شکمبه را به خود اختصاص می‌دهند (Mateos et al., 2015). وجود جمعیت زیاد ریزجانداران در کمپوست محتویات شکمبه

امروزه استفاده گسترده از کودهای شیمیایی علاوه بر این که نتوانسته عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را به صورت پایدار تأمین کند، بلکه موجب تخریب ساختمان خاک و نامساعد کردن شرایط فیزیکی خاک برای رشد گیاه شده است (Wu et al., 2020). به نظر می‌رسد که برای داشتن کشاورزی پایدار در یک خاک مسئله‌دار باید از کودهایی استفاده کرد که هر سه ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را بهبود بخشد. مواد آلی از ترکیب‌های مهم خاک هستند که اثرات قابل ملاحظه‌ای بر فراهمی عناصر غذایی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند (Liu et al., 2013). در کشاورزی پایدار می‌توان نیاز گیاه به عناصر غذایی را با کودهای آلی حاصل از بقایای گیاهی و جانوری تأمین کرد و از این راه می‌توان شرایط فیزیکی خاک را نیز بهبود بخشید (Ekpe, 2013). یکی از ترکیب‌های آلی که بعد از فراوری می‌توان به عنوان

¹ Colony forming units

به ویژه قارچ‌ها با تشکیل میسیلیوم می‌توانند تأثیر مستقیمی در خاکدانه سازی داشته باشند (Bossuyt *et al.*, 2001). کاربرد ۱۰ تن بر هکتار محتویات شکمبه‌ای تازه در یک خاک شنی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر درصد پایداری خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری خاک، درصد تخلخل خاکدانه‌ها و درصد نگهداری رطوبت خاک داشت (Ekpe, 2013). در بررسی مواد هضمی شکمبه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جنوب شرق نیجریه مشخص شد که کاربرد ۱۰۰ گرم بر کیلوگرم محتویات شکمبه تازه تأثیر قابل توجه و معنی‌داری بر افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد پایداری خاکدانه‌ها (AS) داشت (Edeh *et al.*, 2015). افزودن محتویات شکمبه به خاک سبب افزایش جمعیت قارچ‌ها، باکتری‌ها و به ویژه ازتوباکتر و همچنین افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز شد (Roy *et al.*, 2013). وجود منابع سرشار از کربن در کودهای آلی سبب افزایش کربن زیست توده میکروبی خاک می‌شود (Liu *et al.*, 2013).

اسید هیومیک یک مولکول پیچیده است که از تجزیه نهایی میکروبی و شیمیایی مواد آلی حاصل می‌شود. این ماده در گسترش ریشه و بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر است (Suman *et al.*, 2017). بین ۶۰ تا ۸۰ درصد مواد آلی از مواد هومیکی تشکیل شده که حاصل تجزیه نهایی میکرو شیمیایی مواد آلی است که بخش بزرگی از این مقدار شامل اسید هیومیک است (Pettit, 2004). مواد آلی مثل مواد هومیکی به دلیل دارا بودن کربن زیاد منبع غذایی مناسبی برای ریزجاندانان خاک می‌باشند (Li *et al.*, 2019). نتایج یک تحقیق نشان داد که استفاده از ۲ میلی گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک موجب افزایش تنفس میکروبی خاک به دلیل افزایش منبع غذایی ریزجاندانان خاک شد (Raiesi, 2004). در تحقیقی دیگر اشاره شد که اسید هیومیک موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های اوره آز و فسفاتاز شده است (Riaz *et al.*, 2013). در آزمایشی با عنوان تأثیر اسید هیومیک استخراج شده از معادن زغال سنگ بر رشد گیاه چغندر قند و جمعیت میکروبی خاک به این نتیجه رسیدند که افزودن ۲ گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک به خاک موجب افزایش باکتری‌های هوازی خاک، اکتینومیسست‌ها، قارچ‌های رشته‌ای، ریزجاندانان سلولیتیک^۱ و

باکتری‌های اکسید کننده آمونیوم و نیترات می‌شود (Li *et al.*, 2019). در تحقیق انجام شده بر روی تأثیر اسید هیومیک بر پارامترهای زیستی خاک مشخص شد که افزودن یک گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک به خاک موجب افزایش تنفس میکروبی و زیست توده میکروبی خاک شد (Erol and Coskan, 2016). وجود گروه‌های عاملی فراوان در ترکیب‌های آلی باعث تشکیل کمپلکس‌های آلی-معدنی می‌شود که نقش عمده‌ای در پایداری خاکدانه‌ها ایفا می‌کند (Adugna, 2016). مواد آلی بعد از تجزیه داخل خاک مواد اسیدی تولید می‌کنند که نقش مؤثری در افزایش حلالیت کانی‌های کلسیم دار دارند، از آنجایی که کلسیم نقش مهمی در چسبندگی ذرات رس دارد افزایش حلالیت آن در خاک باعث کاهش مقدار رس قابل پراکنش خاک می‌شود (Boyle *et al.*, 1989). فرض این تحقیق بر این است که کمپوست حاصل از محتویات شکمبه گوسفند با ظرفیت جذب آب زیاد، ریزجاندانان و آنزیم‌های مفید، و محتوای عناصر غذایی که دارد می‌تواند به عنوان یک کود مناسب برای بهبود خاک استفاده شود و کاربرد اسید هیومیک همراه با کمپوست شکمبه سبب افزایش کارایی آن شود. بر این اساس این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کمپوست حاصل از محتویات شکمبه گوسفند و اسید هیومیک بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در شرایط یک خاک شور، آهکی و رسی و تأثیر آن بر عملکرد گیاه شلغم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک خاک با بافت رسی، شور ($9/1 \text{ dS m}^{-1}$) و آهکی (۱۵ درصد) از مزارع دشت میان جلگه نیشابور (روستای شهرآباد) با طول جغرافیای ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیای ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه به اجرا درآمد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کمپوست حاصل از محتویات شکمبه گوسفند در دو سطح (S0: صفر و S1: ۵ تن بر هکتار) و اسید هیومیک در دو سطح (H0: صفر و H1: ۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بود. جهت آزمایش اولیه خاک نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک برداشت شد و بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی متری مورد ارزیابی فیزیکی و شیمیایی با روش‌های

¹ Cellulitis microorganisms

استاندارد قرار گرفت (جدول ۱). برای تهیه کمپوست محتویات شکمبه گوسفند، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم محتویات شکمبه گوسفند با ۱۰ درصد کاه گندم مخلوط شده و در یک محیط مسقف به مدت یک ماه قرار گرفت، هر هفت روز یک بار توده کمپوست هم زده و آبپاشی شد. جهت آزمایش مقدار کربن آلی موجود در کمپوست شکمبه و اسید هیومیک از روش والکی و بلک استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان فسفر و پتاسیم موجود در کمپوست شکمبه و اسید هیومیک، نمونه‌ها ابتدا به روش هضم خشک در اسید سولفوریک هضم شدند و در نهایت فسفر به روش اولسن و پتاسیم به روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شد (جدول ۲). اسید هیومیک مورد استفاده در این تحقیق از کود اسید هیومیک ساخت کشور ایتالیا با درصد خلوص ۹۵ درصد استفاده شد. آزمایش در شرایط مزرعه داخل کرت‌های یک متر مربعی با فاصله مرزی نیم متر انجام شد. تیمارهای آزمایش به صورت تصادفی به کرت‌های آزمایش اضافه شد و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک کاملاً مخلوط شد. داخل هر کرت تعداد ۱۰ گیاه شلغم رقم سفید کشت شد و به مدت ۳ ماه داخل مزرعه نگهداری شد. آبیاری هر کرت به وسیله سیفون و با مقدار برابر و با دور آبیاری هر ۱۵ روز انجام شد. بعد از گذشت ۹۰ روز از زمان کشت، گیاه شلغم برداشت شد و ویژگی‌های عملکردی گیاه اندازه‌گیری شد. از خاک کرت‌های آزمایش عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه دست نخورده و با رطوبت ظرفیت زراعی تهیه شد. نمونه به دو قسمت تقسیم شد، یک قسمت جهت اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی هوا خشک شد و قسمت دیگر در داخل کیسه پلاستیکی قرار گرفت و در دمای ۴ درجه سلسیوس برای آنالیز پارامترهای زیستی نگهداری شد.

پارامترهای فیزیکی شامل میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو حالت الک تر و الک خشک (MWD^1_{wet} , MWD^1_{dry})، درصد پایداری خاکدانه‌ها (AS^2)، درصد رس قابل پراکنش (DC^3)، و رطوبت ظرفیت زراعی خاک (FC^4) بود. مقدار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو حالت الک تر و خشک بر اساس روش کمپر و چپیل اندازه‌گیری شد (Kemper and Chepil, 1965). درصد پایداری خاکدانه‌ها (AS) با استفاده از

روش الک‌تر (Kemper and Chepil, 1965) و بعد از تصحیح شن تعیین شد. جهت اندازه‌گیری درصد رس قابل پراکنش (DC) مقدار ۲۰ گرم خاک وزن کرده و به یک استولنه ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده و به آن ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و کاملاً هم زده شد بعد از گذشت ۱۲ ساعت از عمق ۱۰ سانتی‌متری مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از سوسپانسیون برداشت شد و بعد از خشک کردن نمونه در آون درصد رس قابل پراکنش با توجه به وزن کل رس موجود در ۲۰ گرم نمونه خاک حساب شد. ظرفیت نگهداری رطوبت زراعی خاک (FC) به وسیله دستگاه صفحه فشاری تحت فشار ۰/۳ اتمسفر و بعد از اشباع کردن نمونه‌ها از کف اندازه‌گیری شد.

از پارامترهای زیستی خاک موارد کربن زیست توده میکروبی خاک (MBC^5)، نیتروژن زیست توده میکروبی (MBN^6) و تنفس میکروبی خاک (BR^7) مورد آنالیز قرار گرفت. کربن زیست توده میکروبی خاک به روش تدخین با کلروفرم-انکوباسیون و سپس تیتراسیون برگشتی با سود باقی مانده اندازه‌گیری شد (Anderson and Domsch, 1978). اندازه‌گیری نیتروژن زیست توده میکروبی به روش تدخین با کلروفرم-انکوباسیون و اندازه‌گیری آمونیوم و نترات به روش رنگ سنجی انجام شد. جهت اندازه‌گیری تنفس میکروبی از روش اندرسون استفاده شد، برای این منظور میزان CO_2 تولید شده از خاک بعد از یک هفته اندازه‌گیری شد (Anderson and Domsch, 1978).

گیاه شلغم بعد از ۹۰ روز از زمان کاشت برداشت شد. ویژگی‌های وزن تر، وزن خشک، طول غده و قطر غده اندازه‌گیری شد. برای انجام آزمایش‌های شیمیایی غده شلغم به وسیله آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک و آسیاب شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار JMP (JMP نسخه ۸) انجام شد. برای تجزیه و تحلیل معنی‌داری بین تیمارها از ANOVA یک طرفه استفاده شد. برای مقایسه میانگین بین داده‌ها از آزمون Tukey HSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها و همبستگی بین داده‌ها از نرم‌افزار Excel ورژن ۲۰۱۳ استفاده شد.

⁵ Microbial biomass carbon

⁶ Microbial biomass nitrogen

⁷ Basal Respiration

¹ Mean weight diameter

² Soil aggregates stability

³ Dispersion clay

⁴ Farm capacity

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایشی

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental soil

روش اندازه گیری	مقدار	واحد	پارامترها
Method	Amount	Unit	Parameters
pH متر (Jones Jr, 1973)	7.9	—	اسیدیته pHe
EC متر (Jones Jr, 1973)	7.2	(dS m ⁻¹)	شوری ECe
—	9.5	—	نسبت کربن به نیتروژن C/N
والکلی - بلاک (Walkley and Black, 1934)	0.38	(%)	کربن آلی Organic carbon
—	30	(%)	شن Sand
—	42	(%)	رس Clay
—	28	(%)	سیلت Silt
هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)	رسی Clay	—	بافت Texture
تیتراسیون Titration	15	(%)	آهک CaCO ₃
کج‌لدال (Bremner, 1982)	0.04	(%)	نیتروژن کل Total nitrogen
اولسن (Olsen, 1954)	5.9	(mg kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس Available phosphorus
فلیم فتومتری Flame photometric	230	(mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available potassium

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی تیمارهای آزمایش

Table 2- Some chemical characteristics of experimental treatments

روش اندازه گیری	کمپوست شکمبه	اسید هیومیک	واحد	پارامترها
Method	Rumen compost	Humic acid	Unit	Parameters
—	13	5	(dS m ⁻¹)	شوری ۱:۵ EC
—	6.7	8	—	اسیدیته ۱:۵ pH
والکلی - بلاک (Walkley and Black, 1934)	57	40	(%)	کربن آلی Organic carbon
کج‌لدال (Bremner, 1982)	4	3.2	(%)	نیتروژن کل Total nitrogen
اولسن (Olsen, 1954)	0.5	0.46	(%)	فسفر قابل دسترس Available phosphorus
فلیم فتومتری Flame photometric	2.9	2	(%)	پتاسیم قابل دسترس Available potassium

نتایج و بحث

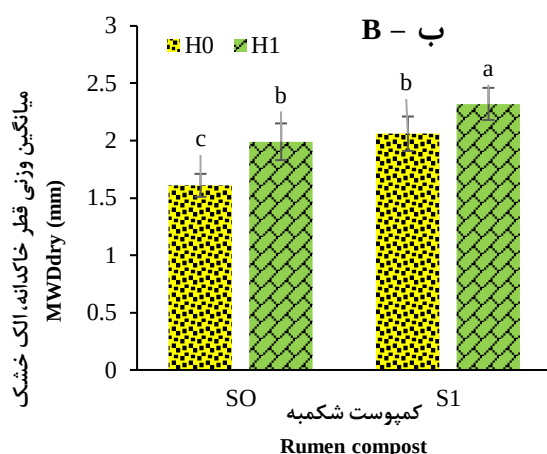
داری ($p < 0.01$) در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک دارد به جز

اسید هیومیک که تأثیر معنی‌داری بر رطوبت ظرفیت زراعی نداشت (جدول ۳).

تأثیر تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

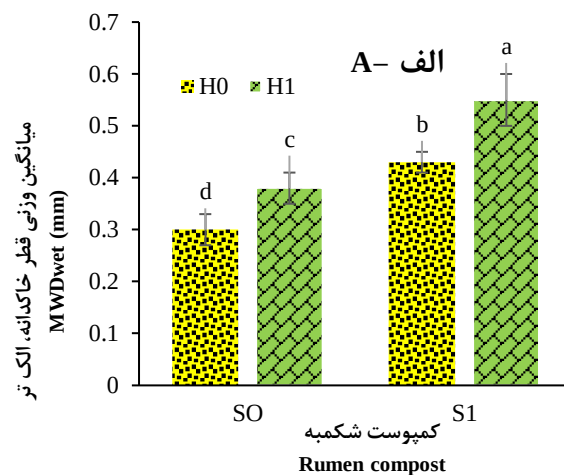
نتایج تجزیه واریانس بین داده‌ها نشان داد که تیمارهای اسید هیومیک و کمپوست شکمبه و اثر متقابل آنها تأثیر معنی

الک خشک تأثیر معنی‌داری بین کمپوست شکمبه و اسید هیومیک وجود نداشت. با توجه به نتایج ارائه شده کمپوست شکمبه و اسید هیومیک باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شدند. به نظر می‌رسد که وجود گروه‌های عاملی فراوان در ترکیبات آلی مثل شکمبه باعث تشکیل کمپلکس‌های قوی آلی- معدنی بین خاکدانه‌ها می‌شود که نقش عمده‌ای در پایداری خاکدانه‌ها ایفا می‌کند (Kurzemann *et al.*, 2021). محققان گزارش دادند که کاربرد اسید هیومیک در خاک موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد که این تأثیر اسید هیومیک را به دلیل وجود گروه‌های آروماتیک و آلیفاتیک در ساختار اسید هیومیک بیان کردند که با ایجاد یک پوشش نفوذ ناپذیر به آب در اطراف خاکدانه مانع از تخریب آن می‌شود (Khalil *et al.*, 2011).



میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دو حالت الک تر (MWDwet) و خشک (MWDdry)

نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آزمایش بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. کاربرد جداگانه یا همزمان کمپوست شکمبه و اسید هیومیک باعث افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد. اثر متقابل اسید هیومیک و کمپوست شکمبه (S1, H1) بیشترین تأثیر در افزایش MWDwet و MWDdry (۰/۵۵ و ۲/۳۳ میلی متر) داشت. کمپوست شکمبه (S1) باعث افزایش ۴۳ درصدی MWDwet و افزایش ۲۸ درصدی MWDdry در مقایسه با شاهد (S0, H0) شد. اسید هیومیک باعث افزایش ۲۶ درصدی MWDwet و افزایش ۲۳ درصدی MWDdry در مقایسه با شاهد شد. در حالت الک تر کمپوست شکمبه ۱۳ درصد بیشتر از اسید هیومیک باعث افزایش میانگین قطر خاکدانه‌ها شد. در



شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایش بر میانگین وزنی قطر خاکدانه، الک تر (الف) و الک خشک (ب). S1 و S0: کمپوست شکمبه صفر و ۵ تن در هکتار. H0 و H1: اسید هیومیک صفر و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم. حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد است.

Figure 1- The effect of treatments on mean weight diameter aggregate wet (A) and mean weight diameter aggregate dry (B). S0 and S1: 0 and 5 t ha⁻¹ rumen. H0 and H1: 0 and 5 mg kg⁻¹ humic acid. Different letters show significant differences among treatments at p<0.05. Error bars indicate standard deviation (n=3).

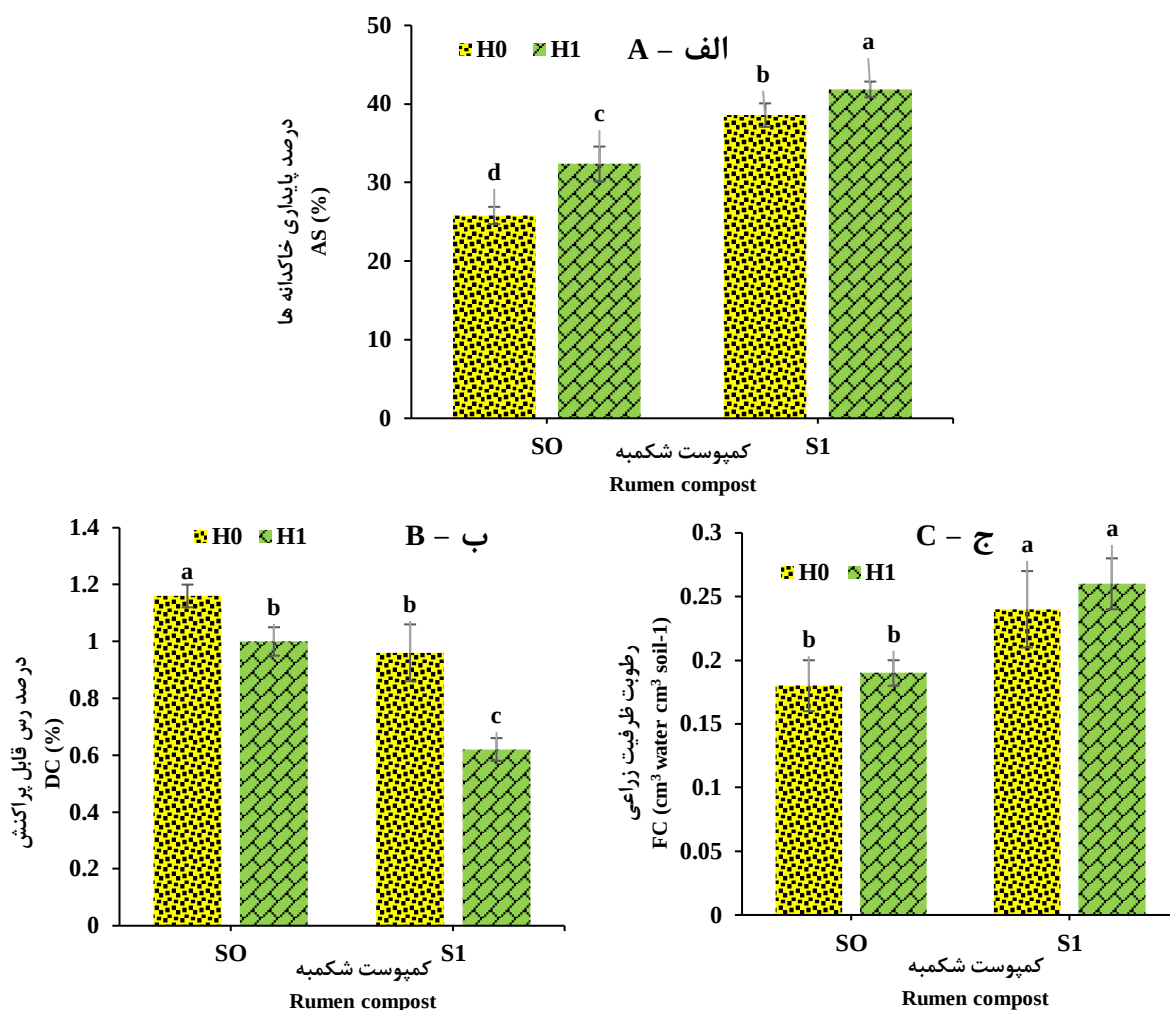
شاهد شد. وجود جمعیت زیاد ریزجنداران در کمپوست محتویات شکمبه به ویژه قارچ‌ها با تشکیل میسیلیوم می‌توانند تأثیر مستقیمی در خاکدانه سازی داشته باشند (Bossuyt *et al.*, 2001). گزارش شده که کاربرد ۱۰ تن در هکتار محتویات شکمبه‌ای تازه در یک خاک رسی تأثیر مثبت و معنی‌داری بر درصد پایداری خاکدانه‌ها داشته است (Ekpe, 2013). بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد ۴ درصد اسید هیومیک تأثیر معنی‌دار

درصد پایداری خاکدانه‌ها (AS)

نتایج تأثیر تیمارهای آزمایش بر درصد پایداری خاکدانه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. اثر متقابل اسید هیومیک و کمپوست شکمبه (S1, H1) بیشترین تأثیر در افزایش AS در مقایسه با تیمار شاهد (S0, H0) داشته است. کمپوست شکمبه (S1) باعث افزایش ۴۹ درصدی AS در مقایسه با شاهد شد. اسید هیومیک باعث افزایش ۲۵ درصدی AS در مقایسه با

ذرات خاک موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (Gümüř and řeker, 2015).

و قابل توجه‌ای بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها (AS) داشته است. مواد آلی به ویژه ترکیب‌های هومیکی با تشکیل سیمان بین



شکل ۲- تأثیر تیمارهای آزمایش بر درصد پایداری خاکدانه‌ها (الف)، درصد رس قابل پراکنش (ب) و رطوبت ظرفیت زراعی (ج). S0 و S1: کمپوست شکمبه صفر و ۵ تن در هکتار. H0 و H1: اسید هیومیک صفر و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم. حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. Figure 2- The effect of treatments on soil aggregates stability (A), dispersion clay (B), and farm capacity (C). S0 and S1: 0 and 5 t ha⁻¹ rumen. H0 and H1: 0 and 5 mg kg⁻¹ humic acid. Different letters show significant differences among treatments at p<0.05. Error bars indicate standard deviation (n=3).

درصد رس قابل پراکنش (DC)

با توجه به نتایج (شکل ۲ - ب) اسید هیومیک و کمپوست شکمبه باعث کاهش درصد رس قابل پراکنش خاک شدند. اگر چه اختلاف معنی‌داری بین کاربرد اسید هیومیک (H1) و کمپوست شکمبه (S1) وجود نداشت ولی اسید هیومیک بیشتر DC خاک را کاهش داد. اثر متقابل اسید هیومیک و کمپوست شکمبه باعث کاهش ۴۶ درصدی DC خاک نسبت به شاهد (S0, H0) شد. مواد آلی بعد از تجزیه انواع متابولیت‌ها و

اسیدهای آلی تولید می‌کنند که سبب چسبندگی بیشتر ذرات خاک می‌شود. همچنین با افزایش تجزیه مواد آلی گاز CO₂ در خاک افزایش می‌یابد که در نتیجه آن محیط خاک با تولید اسیدکربنیک اسیدی‌تر می‌شود و در ادامه این فرآیند موجب افزایش حلالیت کانی‌های کلسیم دار در خاک می‌شود و با توجه به نقش کلسیم به عنوان عامل منعقد کننده ذرات رس، انتظار می‌رود که میزان پراکنش رس‌ها کاهش یابد (Cercioglu, 2017).

رطوبت ظرفیت زراعی (FC)

به وسیله دام کاملاً جویده شده عامل این تأثیر بوده است. خاک‌های تیمار شده با محتویات تازه شکمبه نسبت به خاک‌های بدون محتویات شکمبه درصد ظرفیت نگهداری رطوبت بیشتری دارند (Ekpe, 2013).

اسید هیومیک اگر چه به مقدار کم باعث افزایش FC شد ولی از لحاظ آماری معنی‌دار نشد (شکل ۲). کمپوست شکمبه باعث افزایش ۴۴ درصدی FC نسبت به تیمار شاهد (S0, H0) شد. به نظر می‌رسد وجود الیاف فیبری در کمپوست شکمبه که

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس بین داده‌ها

Table 3- The results of analysis variance between data

SV		کمپوست شکمبه Rumen compost	اسید هیومیک Humic acid	شکمبه * اسید هیومیک Rumen × Humic	خطا Error	ضریب تغییرات CV
درجه آزادی df		1	1	1	18	-
میانگین مربعات	درصد پایداری خاکدانه‌ها	741**	145**	16.33*	2.52	5.2
	AS					
	رس قابل پراکنش	0.46**	0.40**	0.06**	0.006	8.4
	DC					
	رطوبت ظرفیت زراعی	0.03**	0.00 n.s	0.00 **	0.00	6.88
	FC					
	میانگین قطر خاکدانه الک تر	0.05**	0.13**	0.002*	0.00	5.61
	MWD wet					
	میانگین قطر خاکدانه الک خشک	0.93**	0.61**	0.02*	0.004	3.25
	MWD dry					
	تنفس میکروبی	129**	22**	5.4**	0.25	4.09
	BR					
	زیست توده میکروبی نیتروژن	495**	187**	16*	2	5.87
	MBN					
	زیست توده میکروبی کربن	4985**	320**	222*	31	11
	MBC					
	نیتروژن کل	1.25**	0.45**	0.26**	0.02	10
	N					
	فسفر قابل دسترس	0.004**	0.001**	0.00*	0.00	3.6
	P					
	پتاسیم قابل دسترس	0.54**	9.35**	0.21**	0.01	6
	K					
	اسیدیته	0.4**	0.09**	0.02**	0.00	8
	pH					
	وزن تر غده	40221**	17013**	396**	33.7	12
	Tuber wet weight					

* معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، n.s بدون تأثیر معنی‌دار.

* Significance at 5% probability level, ** Significance at 1% probability level, n.s. without significant effect.

کربن زیست توده میکروبی (MBC)

با توجه به نتایج کاربرد کمپوست شکمبه و اسید هیومیک باعث افزایش زیست توده کربن خاک شد (جدول ۴). کمپوست شکمبه و اسید هیومیک به ترتیب باعث افزایش ۴۰ و ۱۸ درصدی MBC در مقایسه با تیمار شاهد (SO, HO) شدند.

تأثیر تیمارهای آزمایش بر ویژگی‌های زیستی خاک

نتایج تجزیه واریانس بین داده‌ها نشان داد که کمپوست شکمبه و اسید هیومیک و اثر متقابل آن تأثیر معنی‌داری ($p < 0.01$) در بهبود ویژگی‌های زیستی خاک داشتند (جدول ۳).

بررسی منابع نشان می‌دهد که کربن زیست توده میکروبی ارتباط مستقیمی با مقدار کربن خاک دارد به این صورت که با افزایش مقدار کربن خاک میزان کربن زیست توده خاک نیز افزایش می‌یابد (Chen et al., 2005). اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر افزایش میزان کربن زیست توده میکروبی خاک دارد (Yang et al., 2010). اسید هیومیک به دلیل تأثیری که در کمپلکس‌کنندگی خاک دارد باعث افزایش زیست توده میکروبی خاک می‌شود. مواد آلی به دلیل تأثیری که بر بهبود شرایط رطوبتی و تهویه‌ای خاک دارند باعث افزایش کربن زیست توده خاک می‌شوند (Erol and Coskan, 2016).

جدول ۴- اثر کمپوست شکمبه و اسید هیومیک بر پارامترهای زیستی خاک

Table 4- The effect of rumen compost and humic acid on soil biological parameters

کمپوست شکمبه Rumen compost	اسید هیومیک Humic acid	تنفس میکروبی BR	زیست توده میکروبی نیتروژن MBN	زیست توده میکروبی کربن MBC
		mg CO ₂ kg ⁻¹ dry soil	mg N kg ⁻¹ dry soil	mg C kg ⁻¹ dry soil
-	-			
S0	H0	8.65 ^d	18.93 ^d	83.43 ^c
	H1	11.51 ^c	22.88 ^c	96.83 ^b
S1	H0	14.25 ^b	26.38 ^b	118.35 ^a
	H1	15.21 ^a	33.60 ^a	119.56 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌داری می‌باشند (FLSD $\alpha=0.05$). S0 و S1: کمپوست شکمبه صفر و ۵ تن در هکتار. H0 و H1: اسید هیومیک صفر و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم.

The means with common letters in each column are not statistically significant (FLSD $\alpha=0.05$). S0 and S1: 0 and 5 t ha⁻¹ rumen. H0 and H1: 0 and 5 mg kg⁻¹ humic acid.

شد (جدول ۴). اثر متقابل اسید هیومیک و کمپوست شکمبه بیشترین تأثیر (۷۵٪) در افزایش BR داشت. کمپوست شکمبه و اسید هیومیک هر کدام به تنهایی به ترتیب باعث افزایش ۶۴ و ۳۳ درصدی BR در مقایسه با تیمار شاهد (S0, H0) شدند. به نظر می‌رسد که کمپوست شکمبه به دلیل نسبت C/N بیشتر از خاک (۴۰ درصد)، مقدار کربن آلی خاک را افزایش داده که احتمالاً این افزایش کربن آلی و تأثیر مستقیم کمپوست شکمبه بر جمعیت ریزجانداران خاک باعث شده تا این تیمار بیشترین تأثیر را در بین تیمارهای آزمایشی بر BR خاک داشته باشد. مواد آلی با نسبت C/N زیاد در مقایسه با مواد با نسبت C/N کم در دراز مدت BR خاک را بیشتر افزایش می‌دهند (Yazdanpanah et al., 2016). جود مقدار زیاد کربن در خاک های تیمار شده با کودهای آلی باعث افزایش جمعیت ریزجانداران می‌شود که به دنبال آن BR خاک افزایش می‌یابد (Mariaselvam et al., 2014). قرارگرفتن کود آلی در اطراف ریزوسفر و یا خارج از ریزوسفر سرعت BR خاک را افزایش می‌دهد (Liang et al., 2005).

نیتروژن زیست توده میکروبی (MBN)

اثر متقابل اسید هیومیک و کمپوست شکمبه بیشترین تأثیر (۷۷ درصد) در افزایش MBN خاک در مقایسه با شاهد داشت (جدول ۴). اثر ساده کمپوست شکمبه (S1, H0) و اسید هیومیک (H1, S0) به ترتیب باعث افزایش ۳۹ و ۲۰ درصدی MBN نسبت به تیمار شاهد (S0, H0) شدند. به نظر می‌رسد که افزودن کودهای کمپوست شکمبه و اسید هیومیک به خاک باعث افزایش نیتروژن کل خاک شده و از این طریق موجب افزایش نیتروژن زیست توده میکروبی خاک شد. خاک‌های غنی از نیتروژن دارای نیتروژن زیست توده میکروبی بیشتری هستند (Yang et al., 2010). استفاده از منابع کودی غنی از عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و نسبت C/N کم این مواد باعث شده تا منبع غذایی مناسبی برای ریزجانداران مرتبط با نیتروژن خاک فراهم شود (El-Sharkawi, 2012).

تنفس میکروبی خاک (BR)

کاربرد اسید هیومیک و کمپوست شکمبه چه به صورت جداگانه چه همراه با هم باعث افزایش تنفس میکروبی خاک

تأثیر تیمارهای آزمایش بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد گیاه شلغم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کمپوست شکمبه (S1) و اسید هیومیک (H1) و اثر متقابل آن (S1, H1) تأثیر معنی‌داری ($p < 0.01$) بر مقدار عناصر غذایی خاک و عملکرد گیاه شلغم داشتند (جدول ۳). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵ کمپوست شکمبه تأثیر معنی‌داری در افزایش عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک (۲۳، ۳۵ و ۱۱ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد (S0, H0) داشته است. اسید هیومیک باعث افزایش ۱۲ درصدی نیتروژن، ۳۱ درصدی فسفر و ۲۲

درصدی پتاسیم خاک در مقایسه با شاهد شد. اثر متقابل کمپوست شکمبه و اسید هیومیک بیشترین تأثیر در افزایش عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک داشت. کمپوست شکمبه باعث کاهش pH خاک در مقایسه با شاهد شد. اثر متقابل کمپوست شکمبه و اسید هیومیک (S1, H1) بیشترین تأثیر را بر عملکرد گیاه شلغم داشت و باعث افزایش ۲۲ درصدی وزن تر غده نسبت به شاهد شد. اثر ساده اسید هیومیک و کمپوست شکمبه به ترتیب باعث افزایش ۶ و ۹ درصدی وزن تر گیاه شلغم شدند.

جدول ۵- اثر کمپوست شکمبه و اسید هیومیک بر برخی از پارامترهای شیمیایی خاک و عملکرد گیاه شلغم

Table 5- The effect of rumen compost and humic acid on some soil chemistry parameters and turnip yield

کمپوست شکمبه Rumen compost	اسید هیومیک Humic acid	عملکرد گیاه (وزن تر غده) Plant yield (tuber wet weight)	اسیدیته pH	پتاسیم خاک K	فسفر خاک P	نیتروژن خاک N
-	-	(g m ⁻²)	-	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(%)
S0	H0	864.5 ^d	7.76 ^a	255.2 ^d	7.9 ^c	0.065 ^d
	H1	921.4 ^c	7.68 ^a	312.1 ^b	10.5 ^b	0.073 ^d
S1	H0	950.8 ^b	7.45 ^c	285.4 ^c	10.8 ^b	0.08 ^b
	H1	1061.1 ^a	7.38 ^c	324.8 ^a	11.9 ^a	0.082 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌داری می‌باشند (FLSD $\alpha=0.05$). S0 و S1: کمپوست شکمبه صفر و ۵ تن در هکتار. H0 و H1: اسید هیومیک صفر و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم.

The means with common letters in each column are not statistically significant (FLSD $\alpha=0.05$). S0 and S1: 0 and 5 t ha⁻¹ rumen. H0 and H1: 0 and 5 mg kg⁻¹ humic acid.

همبستگی بین پارامترهای اندازه‌گیری شده

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۳ همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با عملکرد گیاه شلغم وجود دارد. پارامترهای فیزیکی خاک مثل MWDdry، MWDwet و AS همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p < 0.01$) با BR خاک نشان دادند. DC با تمام پارامترهای فیزیکی خاک، عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک همبستگی منفی و معنی‌داری ($p < 0.01$) داشت. همبستگی بین FC با پارامترهای MBC و MBN مثبت و معنی‌دار ($p < 0.01$) بود، که به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۶ و ۰/۹۴ بودند. همبستگی مثبت و معنی‌داری ($p < 0.01, 0.05$) بین پارامترهای

زیستی خاک (MBC، MBN و BR) و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک وجود داشت. pH خاک همبستگی منفی و معنی‌داری با پارامترهای زیستی (MBC و MBN) و عناصر غذایی (فسفر و پتاسیم) خاک نشان داد (شکل ۳). با توجه به نتایج همبستگی، افزایش جمعیت میکروبی خاک تأثیر مثبتی بر بهبود پارامترهای فیزیکی خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک داشته است. در یک تحقیق نشان داده شد که افزایش جمعیت میکروبی خاک از طریق افزودن بقایای گیاهی گندم به خاک موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (Bossuyt et al., 2001).

MWDdry	1														
MWDwet	0.96**	1													
AS	0.96**	0.95**	1												
DC	-0.93**	-0.98**	-0.89**	1											
FC	-0.08	0.93**	0.96**	-0.87**	1										
MBC	0.3	0.08	0.04	-0.07	0.96**	1									
MBN	-0.2	0.3	0.08	-0.09	0.94**	0.75*	1								
BR	0.95**	0.94**	0.7*	0.3	-0.3	0.99**	0.8**	1							
N	0.1	0.09	0.07	-0.84**	0.04	0.73*	0.91**	0.99**	1						
P	0.03	0.1	-0.1	-0.88**	0.2	0.85**	0.71*	0.83**	0.4	1					
K	0.3	0.06	-0.07	-0.83**	-0.08	0.2	0.3	0.65*	0.3	-0.2	1				
pH	0.04	-0.1	-0.3	0.07	0.2	-0.98**	-0.92**	-0.3	-0.2	-0.8**	-0.5	1			
عملکرد گیاه	0.65*	0.53*	0.86**	-0.99**	0.92**	0.85**	0.99**	0.74*	0.8**	0.9**	0.8**	-0.9**	1		
	+1														
	-1														
	MWDdry	MWDwet	AS	DC	FC	MBC	MBN	BR	N	P	K	pH	عملکرد گیاه		

شکل ۳- ماتریس همبستگی پیرسون بین متغیرهای اندازه‌گیری شده. MWDwet: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک تر. MWDdry: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت الک خشک. AS: درصد پایداری خاکدانه‌ها. DC: درصد رس قابل پراکنش خاک. FC: رطوبت ظرفیت مزرعه خاک. MBC: کربن زیست توده میکروبی. MBN: نیتروژن زیست توده میکروبی. BR: تنفس میکروبی خاک. K, P, N: عناصر نیتروژن، کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده.

Figure 3- Pearson correlation matrix between measured variables. MWDwet: average diameter of soil particles in the wet sieve. MWDdry: average diameter of soil particles in the dry sieve. AS: percentage of stability of soil particles. DC: Dispersible clay percentage. FC: field capacity moisture. MBC: microbial biomass carbon. MBN: microbial biomass nitrogen. BR: soil microbial respiration. N, P, K: nitrogen, phosphorus, and potassium elements.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که تیمارهای به کار برده شده در این تحقیق تأثیر معنی‌داری در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، زیستی و افزایش فراهمی عناصر غذایی خاک و افزایش عملکرد گیاه شلغم داشتند. به نظر می‌رسد که کودهای اسید هیومیک و کمپوست شکمبه به دلیل فراهم کردن عناصر غذایی به ویژه کربن و بهبود شرایط محیطی خاک مثل حفظ رطوبت سبب افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک شده و بدنبال آن با افزایش حلالیت عناصر غذایی، عملکرد گیاه افزایش یافته است.

از طرف دیگر کمپوست شکمبه خود حاوی ریزجانداران مفید و عناصر غذایی است که تأثیر مثبتی در عملکرد گیاه دارد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که استفاده از کمپوست شکمبه در بهبود ویژگی‌های پایداری و ساختمان خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی نسبت به اسید هیومیک اقتصادی‌تر و مؤثرتر باشد. این تحقیق نشان داد که کاربرد کمپوست شکمبه و اسید هیومیک سبب بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و به دنبال آن باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شلغم شد.

References

- Adugna, G., 2016. A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*, 4(3), pp.93–104. doi: 10.14662/arjasr2016.010

- Anderson, J.P.E. and Domsch, K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(3), pp.215–221. doi: 10.1016/0038-0717(78)90099-8
- Bossuyt, H., Denef, K., Six, J., Frey, S.D., Merckx, R. and Paustian, K., 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied Soil Ecology*, 16(3), pp.195–208. doi: 10.1016/s0929-1393(00)00116-5
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils 1. *Agronomy Journal*, 54(4), pp.464–465. doi: 10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
- Boyle, M., Frankenberger Jr, W.T. and Stolzy, L.H., 1989. The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. *Journal of Production Agriculture*, 2(4), pp.290–299. doi: 10.2134/jpa1989.0290
- Bremner, J.M., 1982. Total nitrogen. *Methods soil Anal. Am. Soc. Agron. Mongrn*, 10(2), pp.594–624. doi: 10.4236/oalib.1100971
- Cercioglu, M., 2017. The role of organic soil amendments on soil physical properties and yield of maize (*Zea mays* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(6), pp.683–691. doi:org/10.1080/00103624.2017.1298787
- Chen, T.-H., Chiu, C.-Y. and Tian, G., 2005. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in coastal sand dune forest. *Pedobiologia*, 49(6), pp.645–653. doi:org/10.1016/j.pedobi.2005.06.005.
- Edeh, I.G., Igwe, C.A. and Ezeaku, P.I., 2015. Effects of rumen digesta on the physico-chemical properties of soils in Nsukka, Southeastern Nigeria Ifeoma. *African Journal of Biotechnology*, 14(22), pp.1873–1879. doi: 10.5897/AJB2015.14661
- Ekpe, I.I., 2013. Effect of fresh rumen digesta on soil chemical properties and yield of cucumber (*cucumis sativus*) in Abakaliki Southeast Nigeria. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*, 3(2), pp.110–117. doi: 10.9734/IJPSS/2016/27182
- El-Sharkawi, H.M., 2012. Effect of nitrogen sources on microbial biomass nitrogen under different soil types. *International Scholarly Research Notices* 2012. doi: 10.5402/2012/310727
- Erol, H. and Coskan, A., 2016. Effect of humic+ fulvic acid application at different doses on biological activity of different region soils. *Scientific Papers-Series A, Agronomy* 59, pp.69–74. doi: 10.17221/174/2019-vetmed
- Gümüş, İ. and Şeker, C., 2015. Influence of humic acid applications on soil physicochemical properties. *Solid Earth*, 7, pp.2481–2500. doi: 10.5194/sed-7-2481-2015
- Jones Jr, J.B., 1973. Soil testing in the United States. *Commun. Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 4(4), pp.307–322. doi:org/10.1080/00103627309366451
- Kemper, W.D. and Chepil, W.S., 1965. Size distribution of aggregates. *Methods soil Anal. Part 1 physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*, 9, pp.499–510. doi: 10.1016/s0933-3630(97)00019-6
- Khalil, H.M., Ali, L.K.M. and Mahmoud, A.A., 2011. Impact of applied humic and fulvic acids on the soil physico-chemical properties and cucumber productivity under protected cultivation conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 2(2), pp.183–201. doi: 10.21608/jssae.2011.55419

- Kurzemann, F., Plieger, U., Probst, M., Spiegel, H., Sandén, T., Ros, M. and Insam, H., 2021. Long-term effect of organic amendments, mineral fertilizers and combinations thereof, on plant yield, soil physic-chemical and microbiological properties, in: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. pp. EGU21-8182. **doi: 10.5194/egusphere-egu21-8182**
- Lee, S.S., Ha, J.K. and Cheng, K.-J., 2000. Relative contributions of bacteria, protozoa, and fungi to in vitro degradation of orchard grass cell walls and their interactions. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(9), pp.3807–3813. **doi: 10.1128/aem.66.9.3807-3813.2000**
- Li, Y., Fang, F., Wei, J., Wu, X., Cui, R., Li, G., Zheng, F. and Tan, D., 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three-year experiment. *Scientific Reports*, 9(1), pp.1–9. **doi: 10.1038/s41598-019-48620-4**
- Liang, Y., Si, J., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W. and Jiang, Y., 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(6), pp.1185–1195. **doi: 10.1016/j.soilbio.2004.11.017**
- Liu, E., Yan, C., Mei, X., Zhang, Y. and Fan, T., 2013. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in northwest China. *Plos One*, 8(2), pp.45-53. **doi: 10.1371/journal.pone.0056536.**
- Mariaselvam, A.A., Dandeniya, W.S., Indraratne, S.P. and Dharmkeerthi, R.S., 2014. High C/N materials mixed with cattle manure as organic amendments to improve soil productivity and nutrient availability. *Postgraduate Institute of Agriculture, University of Peradeniya: Peradeniya. Epub ahead of print 2014*. **doi: 10.4038/tar.v25i2.8142.**
- Mateos, I., Ranilla, M.J., Saro, C. and Carro, M.D., 2015. Comparison of fermentation characteristics and bacterial diversity in the rumen of sheep and in batch cultures of rumen microorganisms. *The Journal of Agricultural Science*, 153(6), pp.1097–1106. **doi: org/10.1017/S0021859615000167.**
- Olsen, S.R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture. **doi: 10.4236/fns.2018.911094.**
- Pettit, R.E., 2004. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. *CTI Research*, 10, pp.1–7. **doi: 10.1515/johr-2017-0022**
- Raiesi, F., 2004. Soil properties and N application effects on microbial activities in two winter wheat cropping systems. *Biology and Fertility of Soils*, 40(2), pp.88–92. **doi: 10.1007/s00374-004-0741-7**
- Riaz, A.K., Haroon, K. and Dost, M., 2013. Mechanism (s) of humic acid induced beneficial effects in salt-affected soils. *Scientific Research and Essays*, 8(21), pp.932–939. **doi: 10.5897/sre12.737**
- Roy, M., Karmakar, S., Debsarcar, A., Sen, P.K. and Mukherjee, J., 2013. Application of rural slaughterhouse waste as an organic fertilizer for pot cultivation of solanaceous vegetables in India. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1), pp.1–11. **doi: 10.1186/2251-7715-2-6**
- Suman, S., Spehia, R.S. and Sharma, V., 2017. Humic acid improved efficiency of fertigation and productivity of tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 40(3), pp.439–446. **doi: 10.1080/01904167.2016.1245325**

- 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**
- Wu, L., Jiang, Y., Zhao, F., He, X., Liu, H. and Yu, K., 2020. Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil. *Scientific Reports*, 10(1), pp.1–10. **doi: 10.1038/s41598-020-66648-9**
- Yang, K., Zhu, J., Zhang, M., Yan, Q. and Sun, O.J., 2010. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology*, 3(3), pp.175–182. **doi: 10.1093/jpe/rtq022**
- Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M. and Cerdà, A., 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma*, 266, pp.58–65. **doi: 10.1016/j.geoderma.2015.11.032**

The effect of compost obtained from the contents of sheep rumen and humic acid on some physical, chemical, and biological properties of soil and yield of turnip plant (*Brassica rapa*)

Musa al-Reza Taheri¹, Ali Reza Astarai^{1*}, Hojat Emami¹

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding Author: astaraei@um.ac.ir

Received: 10 September 2022 Accepted: 27 October 2022 DOI: 10.22034/CSRAR.2024.360317.1272

Abstract

Introduction: In the arid and semi-arid lands of Iran, due to calcareousness, lack of nutrients that can be absorbed by plants, unsuitable physical conditions of the soil, and the salinity of the soil, it is very important to pay attention to organic fertilizers and soil microorganisms to improve these lands. This experiment was conducted with the aim of investigating the effect of compost obtained from the contents of sheep rumen and humic acid on the physical, chemical, and biological properties of the soil and the performance of the turnip plant in saline, sodic, and calcareous soil with a clay texture.

Materials and Methods: This study was conducted in clay-textured soil from the Meianjolgae of the Neyshabur plain (Shahrabad village), with a saline soil (ECe: 9.1 dS m⁻¹) and 15% lime. In this study, two levels of compost with rumen contents of zero and 5 tons per hectare (S0: 0 ton/ha and S1: 5 ton/ha) and two levels of humic acid of zero and 5 mg/kg (H0: 0 mg/kg and H1: 5 mg/kg) were used. To prepare rumen compost, 200 kg of fresh rumen contents were mixed with 10% wheat straw and processed according to standard composting methods. The experiment was conducted in the form of a completely randomized design with a factorial arrangement. The experiment was conducted in field conditions in one-square-meter plots with a border distance of half a meter. The experimental treatments were randomly added to the experimental plots and were completely mixed with the soil to a depth of 30 cm. 10 white turnip plants were planted in each plot and kept in the field for 3 months. Irrigation was done every 15 days and the plant was kept in the field for 4 months.

Results and Discussion: The results showed that the experimental treatments (rumen compost and humic acid) had a significant effect on improving the physical parameters of the soil, including increasing the weighted average diameter of the soil grains in wet (MWDwet) and dry (MWDdry) conditions, respectively (83 and 44 percent). 62% increase in the stability of soil grains (AS). They had a 46% reduction in soil dispersible clay (DC). The simple effect of humic acid did not have a significant effect on soil moisture retention capacity, but the simple effect of rumen compost increased the soil moisture retention capacity by 33% in the case of field crop capacity (FC). The effect of experimental treatments on rumen compost and humic acid improved soil biological parameters. The interaction effect of rumen compost and humic acid increased microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN) respectively (43% and 77%) and increased soil microbial respiration (BR) by 75%. Rumen compost and humic acid had a positive and significant effect on improving soil chemical parameters. Rumen compost and humic acid decreased the pH of the soil and increased the availability of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients in the soil. The use of rumen compost and humic acid increased the yield of turnip plants. The simultaneous application of rumen contents compost and humic acid had the greatest effect on increasing turnip yield (22%) compared to the control.

Conclusion: According to the obtained results, rumen compost and humic acid improved the physical and biological properties of the soil, followed by an increase in the availability of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients in the soil, and finally increased the yield of the turnip plant. Due to the nature of rumen compost, because it has a relatively acidic pH, the presence of beneficial microorganisms that increase the availability of soil nutrients, and fibrous fibers that maintain soil moisture, improve adverse soil conditions, and increase plant performance. It became a turnip. Humic

acid is an aromatic compound that plays a good role in chelating soil nutrients. It seems that combining humic acid with rumen compost increases the effectiveness of rumen compost in improving soil conditions. And rumen compost preserves humic acid from leaching.

Keywords: Aggregate stability, Microbial respiration, Microbial population, Nutrient elements

ارزیابی اثر همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی و فیتوشیمیایی استبرق (*Calotropis procera* Aiton)

مرضیه نوری^۱، محمود سلوکی^۲، عبدالرحمن رحیمیان بوگر^{۳*}، مهدی آران^۳، زینب محمکی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

۳- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

* مسئول مکاتبه: a.rahimian@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.379437.1309

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

چکیده

استبرق گیاهی دارویی و مؤثر در درمان سوء هاضمه، سرطان و تشنج است. در بررسی حاضر اثر همزیستی سه گونه مختلف قارچ میکوریزا با استبرق بر فیتوشیمی، فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی و جذب برخی کاتیون‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار تلقیح با گونه‌های *Glomus intraradices*، *G. fasciculatum* و *G. mosseae* و عدم تلقیح (شاهد) در ۳ تکرار و بصورت گلدانی انجام شد. شاخص‌های ارزیابی شده شامل: کلروفیل a، b و کارتنوئید، فنل، فلاونوئید، فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، پروتئین و محتوای پتاسیم، فسفر و سدیم در شاخساره بود. آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که همزیستی با گونه‌های قارچ میکوریزا تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر شاخص‌های ارزیابی شده داشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a و کارتنوئید در همزیستی استبرق با گونه قارچ *G. mosseae*، و بیشترین مقدار کلروفیل b در همزیستی با گونه‌های قارچ *G. fasciculatum* و *G. intraradices* بدست آمد. گونه *G. fasciculatum* بیشترین تأثیر را در افزایش فنل و فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی داشت. بالاترین مقدار فلاونوئید در شرایط همزیستی با *G. fasciculatum* و *G. intraradices*، و بیشترین مقدار پروتئین در شرایط همزیستی با *G. fasciculatum* و *G. mosseae* بدست آمد. همزیستی با گونه *G. intraradices* بطور معنی‌داری باعث افزایش تجمع پتاسیم و فسفر در اندام رویشی استبرق شد، درحالی‌که همزیستی با گونه *G. mosseae* باعث افزایش معنی‌دار سدیم شده است. بطور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که همزیستی استبرق با گونه‌های *G. intraradices* و *G. fasciculatum* کارآمدتر از همزیستی با قارچ *G. mosseae* بود.

واژه‌های کلیدی: آن‌تی‌اکسیدان، تلقیح، عملکرد، متابولیت ثانویه

مقدمه

داروسازی و به عنوان حشره‌کش استفاده می‌شوند (Farrar et al., 2014). عصاره این گیاه دارای کاربرد درمانی ضد نفخ، سوء هاضمه، ضد سرطان، ضد تشنج دارد (Tahir et al., 2011). پوست ریشه استبرق در درمان تب، جذام و نیش زدیگی مالاریا و مارگزیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Parrotta, 2001). هم‌چنین عصاره این گیاه دارای خاصیت آن‌تی‌اکسیدانی و ضد میکروبی است و می‌تواند از رشد سلولی جلوگیری نماید. خواص حفاظت کبدی و آن‌تی‌اکسیدانی گیاه را به فلاونوئیدهای موجود در گل نسبت داده‌اند (Qureshi et al., 2007). شیرابه گیاه استبرق منبع مهمی از ترکیبات جدید مانند فلاونوئید کوئرستین، گلیکوزیدهای فلاونوئیدی، آنتوسیانین، رزین، آنزیم‌های هضم کننده پروتئین در شیرابه، تانن، استرول،

استبرق با نام علمی *Calotropis procera* Ait از خانواده *Asclepiadaceae* از گیاهان چندساله، بیابانی و همیشه سبز می‌باشد که در نواحی جنوبی ایران به ویژه سواحل خلیج فارس و دریای عمان شامل مناطق خشک و بیابانی سیستان و بلوچستان، خوزستان، بوشهر، هرمزگان گسترش دارد (Salarpouri et al., 2019). امروزه با توجه به ارزش دارویی و اقتصادی ویژه استبرق، کشت آن با هدف ترمیم و گسترش رویشگاه‌های مناطق خشک و بیابانی انجام می‌شود (Hindi, 2013). اندام‌های گیاه استبرق به ویژه دانه‌ها و شیرابه اغلب سمی بوده (Little et al., 1974) و دارای آلکالوئیدها و گلیکوزیدهای متنوعی هستند که تعداد زیادی از آن‌ها در

ساپونین و تری ترپنوئیدها می‌باشد (Khasawneh et al., 2011; Sharma et al., 2011).

بیشتر گیاهان زراعی و باغی رابطه همزیستی با قارچ‌های میکوریزا دارند که این همزیستی افزون بر تأثیر بر افزایش جذب آب و عناصر غذایی باعث افزایش بقا و قدرت ازدیاد گیاهان می‌شود (Smith and Read, 2008). به طور کلی، توسعه و تکامل همزیستی میکوریزا نقش مهمی بر حاصلخیزی خاک در ناحیه اقتصادی ریشه^۱ دارد که می‌تواند به‌طور تئوریک و فیزیکی به فهم پیچیدگی اقتصاد ریشه کمک نماید (Yan et al., 2022). قارچ میکوریز آربسکولار^۲ دارای رایج‌ترین همزیستی با گیاهان است که تقریباً در تمامی رویشگاه‌های طبیعی تا زمین‌های کشاورزی حضور پررنگ و گسترده‌ای دارد. ریشه‌های این قارچ دارای مسیر همزیستی داخل سلولی است و تأثیر زیادی بر نحوه تکامل سیستم ریشه‌ای گیاهان دارد (Brundrett, 2002; Tedersoo et al., 2020). در محل تبادل عناصر غذایی بین دو گونه همزیست، قارچ اندام ویژه‌ای به نام آربسکول و وزیکول در پوست و ریشه گیاه میزبان به وجود می‌آورد که در ذخیره سازی و کلونیزاسیون گیاه میزبان نقش دارد (Rasouli Sedghiani et al., 2011). همزیست شدن گونه‌های مختلف گیاهان دارویی و معطر با قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش و بهبود رشد آن‌ها شده است (Gupta et al., 2002).

بررسی همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاه پروانش نشان داد که محتوی کلروفیل a, b و کربوهیدرات به طور چشم‌گیری تحت تأثیر همزیستی با قارچ‌های میکوریزا واقع شده است (Ramakrishnan and Bhuvaneshwari, 2014). همزیستی قارچ میکوریزا با گیاهان زراعی باعث بهبود جذب عناصر غذایی، هدایت روزه‌ای، پتانسیل آب برگ و فتوسنتز می‌شود (Li et al., 2014; Yang et al., 2014). همچنین این رابطه همزیستی می‌تواند باعث تولید هورمون‌های محرک رشد، آنزیم‌های ضد اکسیداتیو شود باعث افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی گردید (Mathimaran et al., 2017). بررسی تلقیح جداگانه سه گونه قارچ *Rhizophagus aggregatus*, *Claroideoglomus etunicatum* و *Funneliformis mosseae* با گیاه ذرت نشان داد که همزیستی

میکوریزا به طور قابل توجهی قدرت ریشه ذرت را به ویژه برای گیاهان تلقیح شده با *F. mosseae* بهبود بخشید، همچنین این بررسی نشان داد که همزیستی با هر سه گونه قارچ میکوریزا به‌طور قابل توجهی تجمع P, N و K را افزایش داد (Ma et al., 2022). تلقیح گیاهان گوجه فرنگی، ذرت و شبدر با قارچ‌های میکوریزا به ویژه با قارچ *Rhizophagus intraradices* باعث افزایش تحمل این گیاهان در شرایط تنش فلزات سنگین گردید (Upadhyay et al., 2012). تلقیح با دو نوع قارچ *G. macrocrpum* و *G. fasciculatum* سبب افزایش تعداد چتر در بوته، عملکرد کل، زیست توده و عملکرد اسانس در گیاه رازیانه شدند (Kapoor et al., 2004). بررسی دیگری نشان داد که قارچ‌های *Funneliformis caledonius* و *Septoglomus deserticola* و *S. constrictum* دارای همزیستی با گونه دارویی استبرق در شرایط طبیعی رویشگاه ریگان از رویشگاه‌های طبیعی استان کرمان هستند (Hatami et al., 2020).

اگرچه همزیستی قارچ‌های میکوریزا آربسکولار اختصاصی میزبان خاصی نیست، اما این قارچ‌ها ترجیح میزبان را نشان می‌دهند (Mathimaran et al., 2017). گیاه استبرق خواص دارویی فراوانی داشته و از ریشه، ساقه، برگ و گل‌های آن در طب سنتی استفاده می‌شوند. ارزش دارویی این گیاه برای داشتن ترکیبات فیتوشیمیایی متنوعی مانند فلاونوئیدها، ترکیبات پلی فنلی، آنتوسیانین‌ها، فلاونول‌ها، هیدروکربن‌ها و پروتئین‌ها است. متأسفانه، به دلیل جوانه‌زنی ضعیف بذر و استقرار نامناسب گیاهچه استبرق پراکندگی کمی در رویشگاه‌های طبیعی دارد. استفاده از قابلیت همزیستی قارچ میکوریزا با این گیاه می‌تواند باعث بهبود استقرار گیاه و ویژگی‌های رشد و نمو آن گردد. از این‌رو هدف بررسی حاضر، ارزیابی تأثیر همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا بر برخی صفات فیتوشیمیایی گیاه استبرق و جذب عناصر پتاس، فسفر و سدیم توسط این گیاه بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار شامل تلقیح با سه گونه قارچ میکوریزا *G. intraradicese*, *G.*

² Arbuscular Mycorrhizal Fungus

¹ Root economics space

اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). قارچ‌های میکوریزا از شرکت تعاونی زیست فناوری توران سمنان واقع در شهرستان شاهرود تهیه گردید. عملیات تلقیح با قارچ میکوریزا حین کاشت بذر در مرحله تولید نشاء انجام شد. آزمایش در شرایط گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل با میانگین دمای روزانه $25 \pm$ ۲۵ درجه سلسیوس و طول دوره روشنائی ۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت به مدت ۴ ماه انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک بستر کشت قبل از انجام آزمایش

Table 1- Indices of the soil of the culture bed before carry out the experiment

هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	سیلت	رس	شن
EC	pH	Nitrogen	Phosphorous	Potassium	Silt	Clay	Sand
(ds/m)		(%)	(mg/kg ⁻¹)	(mg/kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)
4.23	7.51	0.12	12	649	11	80	9

طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل *a* و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل *b* و کارتنوئید به روش (Šaponjac et al., 2021) اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان کلروفیل *a* (۱)، *b* (۲) و کارتنوئیدها (۳) بر حسب میلی گرم بر لیتر عصاره نمونه به‌دست آمد.

$$\begin{aligned} \text{Chl. a} &= 12.7 \text{ (A663)} - 2.69 \text{ (A645)} & (1) \\ \text{Chl. b} &= 22.9 \text{ (A645)} - 4.68 \text{ (A663)} & (2) \\ \text{Car.} &= 0.216\text{A663} - 1.22\text{A645} - 0.304\text{A505} + 0.452\text{A453} & (3) \end{aligned}$$

سنجش مقدار کل فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی

به منظور تهیه عصاره هیدروالکلی برای سنجش محتوی کل فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدان در گیاه استبرق برگ‌های خشک شده به وسیله آسیاب برقی پودر شد. عصاره متانولی از پودر برگ با روش ماسراسیون سرد و با نسبت ۱۰:۱ (V/W ماده خشک گیاهی) و حلال متانول ۷۰ درصد تهیه شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون حلال و روی شیکر با دور ۱۲۰ rpm در دمای اتاق خیسانده شد. پس از آن با کاغذ صافی واتمن (شماره ۱۰) صاف و برای تغلیظ به دستگاه روتاری با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد انتقال یافت و پس از تغلیظ عصاره به زیر هود انتقال یافته تا مابقی حلال به تدریج تبخیر گردد (Firouzkoobi et al., 2018).

G. mossae و *fasiculatum* و عدم تلقیح (شاهد) در سه تکرار به صورت گلدانی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل انجام شد. بذره‌های استبرق از کلکسیون گیاهان داروئی پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل تهیه و به منظور تولید نشاء بذرها بصورت تکی در گلدان‌های کوچک کشت و پس از چهاربرگی شدن دانهال به گلدان‌های ۵ کیلوگرمی حاوی بستر خاک انتقال یافتند. ویژگی‌های خاک قبل از آزمایش

شاخص‌های رشد و نمو

به منظور اندازه‌گیری وزن تر شاخساره و ریشه، نمونه‌های شاخساره استبرق پس از برداشت با آب مقطر شست و شو داده شد و رطوبت اضافی آنها بوسیله قرار دادن روی دستمال کاغذی گرفته شد و سپس بوسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند، ریشه‌های گیاه پس از پاک‌سازی خاک اطراف آنها به کمک جریان آب ملایم با آب مقطر آبکشی شدند و پس از خشک نمودن رطوبت سطحی آنها وزن شدند. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها درون پاکت کاغذی گذاشته شدند و در آن در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک آنها بوسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های فیتوشیمیایی رنگیزه‌های کلروفیل و کارتنوئید

رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل به روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شدند. به این منظور، مقدار ۰/۵ گرم برگ تازه جدا شده گیاه استبرق توزین و در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع خرد و به خوبی له شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به آن اضافه شد با سانتریفیوژ در ۶۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه تفکیک و عصاره جدا شده بالایی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای انتقال داده شد. مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در

مهار رادیکال‌های آزاد انجام شد (۴):

$$AA\% = \left[\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right] \times 100 \quad (۴)$$

AA% درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی، A₀ جذب کنترل منفی، و A₁ جذب عصاره است.

سنجش پروتئین کل

به این منظور، برگ‌های فریز شده در دمای ۸۰- درجه سلسیوس با ۲ سی‌سی فسفات پتاسیم درون هاون خرد و له شدند، میکروتیوب مخلوط بدست آمده به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس عصاره رویی برای ارزیابی پروتئین کل مورد استفاده قرار گرفت. برای سنجش پروتئین مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده درون لوله آزمایش ریخته شد و به آن ۲/۵ میلی‌لیتر معرف رنگی بیوره اضافه گردید. بعد از همگن کردن مخلوط بوسیله ورتکس محتویات لوله به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفت. سپس نمونه در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد و غلظت پروتئینی بر اساس مقایسه با منحنی استاندارد محاسبه شد (Bradford, 1976).

سنجش میزان تجمع پتاسیم، فسفر و سدیم در اندام رویشی گیاه

برای تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری میزان تجمع عناصر فسفر، پتاسیم و سدیم در اندام رویشی گیاه استبرق مقدار ۱ گرم از اندام هوایی خشک شده گیاه توزین و درون بوته چینی به مدت ۶ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس داخل کوره سوزانده شد. بعد از این زمان، و پس از سرد شدن بوته چینی در دمای اتاق مقدار ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به آن اضافه شد و به منظور انجام عمل هضم روی دستگاه گرمایی قرار داده شد. سپس مخلوط با کاغذ صافی واتمن صاف و به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتر انتقال یافت و با آب مقطر به حجم رسانده شد. غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه پس از هضم نمونه‌ها با اسید سولفو سالیسیلیک با استفاده از معرف آمونیوم مولیبدات به علاوه آمونیوم وانادات به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100 ساخت آلمان) در طول موج

برای سنجش محتوی فنل کل از معرف فولین-سیو کالتیو استفاده شد (Slinkard and Singleton, 1977). میزان ۲/۵ میلی‌لیتر واکنشگر فولین-سیو کالتیو ۰/۲ نرمال به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره هیدروالکلی (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) برگ به اضافه شد و پس از ۵ دقیقه ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات کلسیم (۷۵ گرم بر لیتر) به آن اضافه شد، در نهایت جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100 ساخت آلمان) خوانده شد. گالیک اسید برای رسم نمودار کالیبراسیون به عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت.

فلاونوئید کل با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد (Chang et al., 2002). مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره هیدروالکلی (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) برگ با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول آلومینیوم کلراید (محلول ۱۰ درصد اتانول)، ۰/۱ میلی‌لیتر از استات پتاسیم (۱ مولار)، و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. در نهایت این مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و سپس در طول موج ۴۱۵ نانومتر در مقابل بلانک قرائت شد. برای رسم نمودار کالیبراسیون از کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده شد.

تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره با روش پاکسازی رادیکال DPPH (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) انجام شد. اساس این روش بر مبنای احیاء رادیکال آزاد DPPH به وسیله آنتی‌اکسیدان‌ها در غیاب سایر رادیکال‌های آزاد در محیط می‌باشد که در فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره تغییر رنگ می‌دهد که شدت آن با دستگاه طیف سنجی قابل اندازه‌گیری است. رادیکال DPPH به عنوان پذیرنده الکترون از آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند در نتیجه آن DPPH به DPPH₂ تبدیل می‌شود و در نتیجه رنگ بنفش محیط به رنگ زرد تغییر می‌یابد، بنابراین شدت جذب در ۵۱۷ نانومتر کاهش می‌یابد و از روی اندازه‌گیری کاهش شدت جذب به وسیله طیف سنجی می‌توان به خصوصیات آنتی‌اکسیدانی آن پی برد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۲۵۰ میکرولیتر از نمونه با ۷۵۰ میکرولیتر از DPPH ترکیب و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس جذب نوری در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Singh et al., 2002; Braca et al., 2001). محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای

۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Watanabe and Olsen, 1965). پتاسیم و سدیم با استفاده از روش فلم فتومتری (Williams and Twine, 1960) اندازه‌گیری شدند.

از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تحلیل میانگین مربعات برای شاخص وزن تر و خشک شاخساره و ریشه گیاه نشان داد که همزیستی بین گونه‌های قارچ میکوریزا با گیاه استبرق بطور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر شاخص‌های وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه این گیاه اثر گذار است (جدول ۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری JMP و مقایسه میانگین به روش آزمون LSD در سطح ۱ درصد و رسم نمودارها با استفاده

جدول ۲- تحلیل میانگین مربعات صفات وزن تر و خشک شاخساره و ریشه استبرق تحت شرایط همزیستی با گونه‌های میکوریزا
under symbiosis with different species Table 2- ANOVA analysis of fresh and dry weight of shoot and root of *Calotropis procera* Ait of mycorrhiza

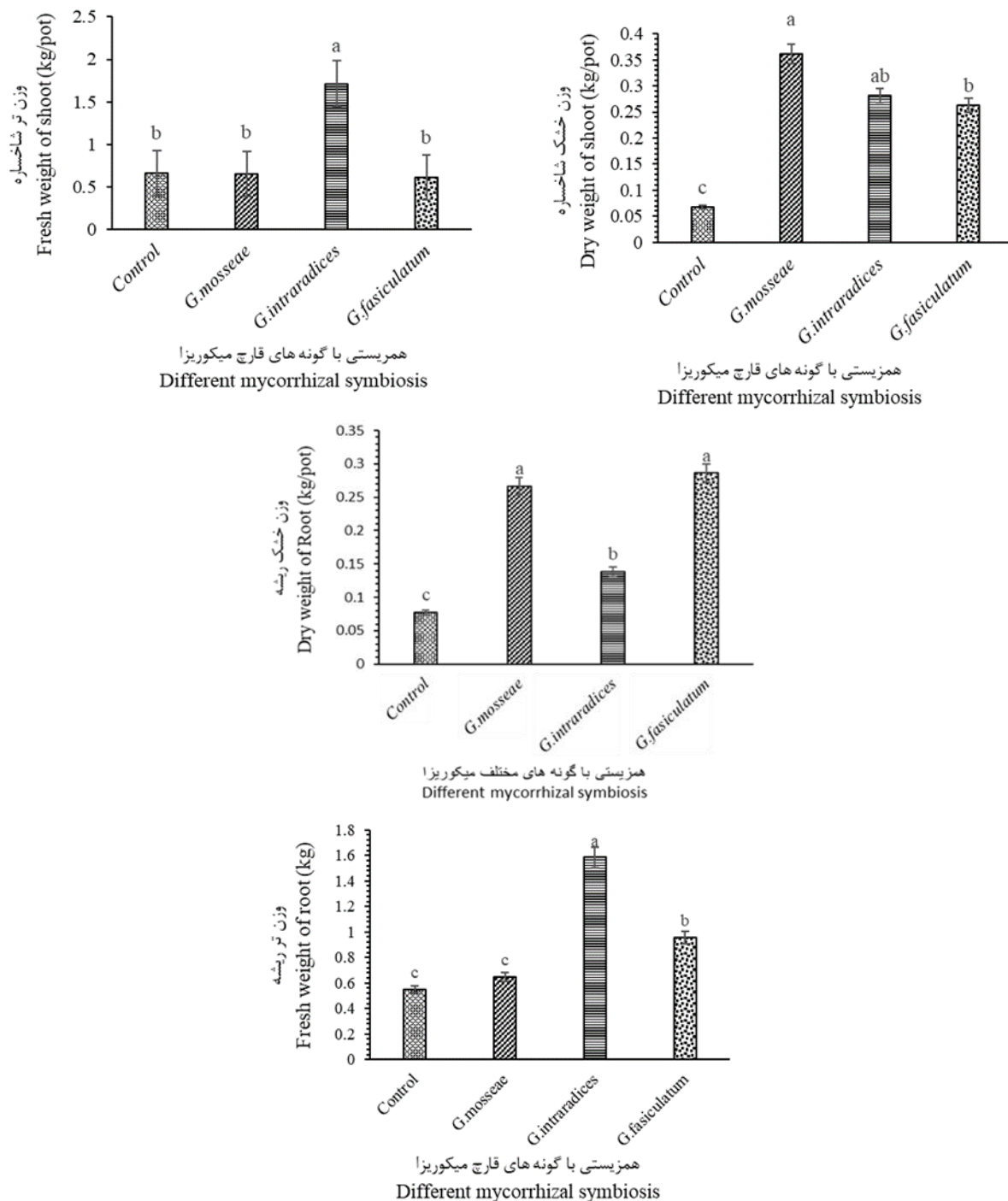
منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		وزن تر شاخساره Fresh weight of shoot	وزن تر ریشه Fresh weight of root	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	وزن خشک ریشه Dry weight of shoot
تیمار میکوریزا Mycorrhizae treatments	3	0.86**	0.65**	0.043**	0.030**
خطای آزمایش Experimental error	8	0.01	0.003	0.001	0.0003
C.V.		14.331	6.360	14.547	9.217

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** significant at 1% probability level

همزیستی با گونه‌های مختلف میکوریزا دارای اختلاف معنی‌داری بود. بیشترین مقدار وزن خشک شاخساره در شرایط همزیستی *G. mossae* با ۱۲۵ درصد افزایش نسبت به شاهد بدست آمد. هم‌چنین بین تأثیر گونه‌های *G. intraradicese* و *G. fasciculatum* نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت و همزیستی این دو گونه به ترتیب منجر به ۷۵ و ۶۲ درصد افزایش وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد شدند (شکل ۱). همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا تأثیر مثبتی در افزایش وزن خشک ریشه استبرق نسبت به شاهد داشتند و دو گونه *G. mossae* و *G. fasciculatum* به ترتیب با ۳۰۰ و ۲۷۱ درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین تأثیر را بر افزایش وزن خشک ریشه استبرق داشتند، بین تأثیر این دو گونه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هم‌چنین گونه *G. intraradicese* منجر به افزایش ۸۵ درصد وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا با استبرق منجر به افزایش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه این گیاه شده است. بیشترین مقدار وزن تر شاخساره در شرایط همزیستی با قارچ *G. intraradicese* با ۱۵۹ درصد افزایش نسبت به شاهد بدست آمد، هم‌چنین بیشترین وزن تر ریشه تحت تأثیر همزیستی این گونه قارچ دارای افزایش ۱۸۷ درصدی نسبت به تیمار عدم همزیستی با میکوریزا بود (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای گونه‌های قارچ *G. mossae* و *G. fasciculatum* نشان داد که وزن تر شاخساره استبرق تحت همزیستی با این دو گونه قارچ تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (عدم همزیستی) نداشت، و وزن تر ریشه تحت همزیستی *G. fasciculatum* دارای ۷۲ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد بود درحالی‌که بین تأثیر *G. mossae* و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نیست (شکل ۱). افزون بر این وزن خشک شاخساره و ریشه استبرق تحت تأثیر



شکل ۱- مقایسه میانگین وزن تر و خشک شاخساره و ریشه استبرق تحت همزیستی با گونه‌های مختلف میکوریزا

Figure 1- Means comparison of dry and fresh weight of shoot and root of *Calotropis procera* Ait under symbiosis with different species of mycorrhiza

افزایش شدت کلونیزاسیون با قارچ میکوریزا آریسکولار منجر به افزایش میانگین قطر ریشه گونه‌های گیاهی می‌شود (Bergmann *et al.*, 2020; Wambsganss *et al.*, 2021). در این راستا بررسی دیگری با ارزیابی گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی دو رقم سیب‌زمینی پرورش یافته تحت تنش

یافته‌های این پژوهش هم‌سو با نتایج ارزیابی تأثیر میکوریزا بر شاخص‌های رشد و نمو گیاه جعفری آفریقایی (Alizadeh Pouraali *et al.*, 2014)، آلونه‌ورا (Ajirloo and Farrokhpour, 2015)، سورگوم علوفه‌ای (Bagheri Dehabadi *et al.*, 2017) است. هم‌چنین پژوهش‌های دیگری نشان داده‌اند که

گیاه مؤثر است (Diedhiou et al., 2016; Bowles et al., 2021; Mitra et al., 2021).

نتایج تحلیل میانگین مربعات برای شاخص‌های فیتوشیمیایی نشان داد که همزیستی بین گونه‌های قارچ میکوریزا با گیاه استبرق بطور معنی‌داری بر شاخص‌های فیتوشیمیایی این گیاه اثر گذار است ($p \leq 0.01$). بنابراین، محتوی کلروفیل a و b، کارتنوئید، فلاونوئید، فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و پروتئین کل در این گیاه تحت تأثیر استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا متغیر بود (جدول ۳).

آبی نشان داد که ریشه گیاهان دارای همزیستی میکوریزایی از هدایت هیدرولیکی بیشتری نسبت به گیاهان غیرهمزیست برخوردار بود بطوری‌که همزیستی منجر به افزایش ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصدی هدایت آبی در واحد طول ریشه این گیاهان شد و دلیل آن را تأثیر همزیستی میکوریزا بر افزایش طول و سطح ریشه بیان کردند (Khaninejad et al., 2013). در این راستا، سایر بررسی‌ها نشان داده‌اند که همزیستی گیاهان با میکوریزا منجر به افزایش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی در گیاهان شده و در نتیجه بطور غیره مستقیم بر افزایش رشد و نمو و عملکرد

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی گیاه استبرق تحت شرایط همزیستی با گونه‌های میکوریزا
under symbiosis with different species of Table 3- ANOVA analysis of phytochemical characteristics of *Calotropis procera* Ait mycorrhiza

منبع تغییرات Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square						
		a کلروفیل Chlorophyll a	b کلروفیل Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid	فلاونوئید Flavonoid	فنل Phenol	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	پروتئین Protein
تیمار میکوریزا Mycorrhiza treatments	3	19.55**	3.39**	2.53**	5222.3**	23.72**	28.05	86663.5**
خطای آزمایش Experimental error	8	0.105	0.039	0.11	86.48	1.07	3.00	1932.5
C.V.		2.93	8.63	9.21	12.00	0.06	3.12	18.01

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

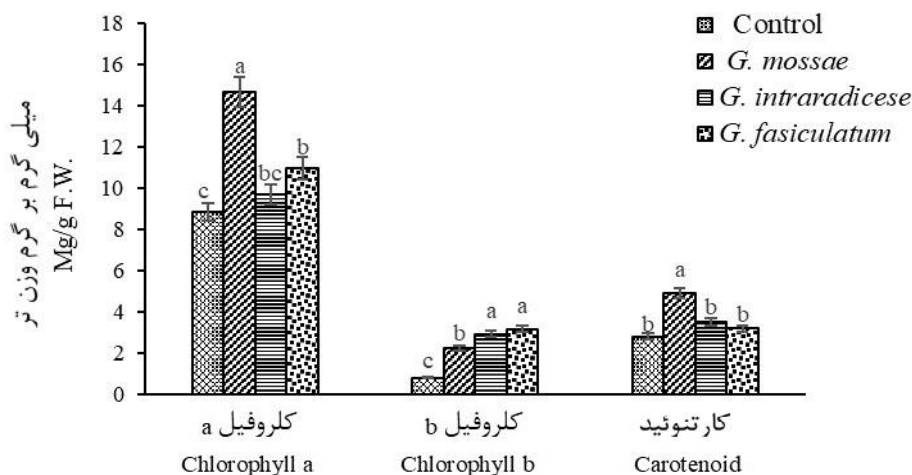
** significant at 1% probability level

mossae با افزایش ۷۵ درصدی کارتنوئید نسبت به تیمار شاهد بیشترین تأثیر را بر محتوی کارتنوئید داشت. برای کارتنوئید بین تأثیر همزیستی با دو گونه قارچ *G. intraradicese* و *G. fasciculatum* و تیمار عدم همزیستی (شاهد) اختلاف آماری وجود ندارد (شکل ۲). بررسی حاضر نشان داد که همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه استبرق تأثیر معنی‌داری در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ شامل کلروفیل a و b، و کارتنوئید داشت. این نتایج هم‌سو با یافته‌های پیشین مبنی تأثیر همزیستی میکوریزا بر افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاه گشنیز (Bahadori et al., 2015) و آفتابگردان (Shahabivand et al., 2018, 2017) است. افزون بر این برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تلقیح ریشه گیاهان برنج و توتون با قارچ میکوریزا منجر به کاهش اثرهای منفی تنش‌ها بر

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین تأثیر همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا بر محتوی کلروفیل برگ گیاه استبرق اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین مقدار کلروفیل a در شرایط همزیستی گیاه استبرق و قارچ *G. mossae* ۶۵ درصد افزایش نسبت به شرایط عدم همزیستی، و بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط همزیستی با قارچ *G. fasciculatum* با افزایش ۳ برابری نسبت به شاهد بدست آمد. مطابق نتایج این بررسی اختلاف معنی‌داری بین تأثیر *G. fasciculatum* و *G. intraradicese* وجود نداشت، درحالی‌که میزان افزایش کلروفیل b در شرایط همزیستی با *G. intraradicese* نسبت به شاهد ۲/۶ برابر بود (شکل ۲). همچنین محتوی کارتنوئید برگ برای گیاه استبرق در شرایط همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ دارای اختلاف معنی‌داری بود، همزیستی با قارچ *G.*

(Shahabivand *et al.*, 2012; Hui *et al.*, 2015)

رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل و کارتنوئید کاهش داده و موجب افزایش غلظت کلروفیل و کارتنوئید شده است



محتوی کلروفیل برگ استبرق تحت همزیستی با گونه‌های میکوریزا
Chlorophyll content in leaf of *Calotropis procera* under symbiosis with
different mycorrhiza

شکل ۲- مقایسه میانگین کلروفیل a, b و کارتنوئید استبرق تحت همزیستی با گونه‌های میکوریزا

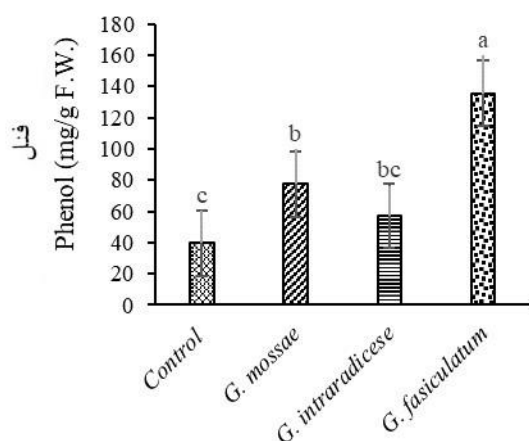
Figure 2- Means comparison of Chlorophyll a, b, and Carotenoid of *Calotropis procera* Ait under symbiosis with different species of mycorrhiza

در شرایط همزیستی این گیاه با قارچ *G. fasciculatum* بدست آمد. درحالی‌که بین تأثیر سایر گونه‌های میکوریزا نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳). بیشترین مقدار فنل کل با افزایش ۲۴۲ درصدی نسبت به شاهد در شرایط همزیستی استبرق با قارچ *G. fasciculatum* بدست آمد و در شرایط همزیستی با قارچ *G. mossae* مقدار فنل کل دارای افزایش ۹۵ درصدی نسبت به شاهد بود، درحالی‌که بین تأثیر *G. intraradicese* و شرایط عدم همزیستی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳). پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند که همزیستی گیاه با قارچ میکوریزا به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی توسط میزبان (Zimare *et al.*, 2013)، فعال‌سازی مسیرهای متابولیکی (Zhang *et al.*, 2013) و تغییر در فعالیت برخی آنزیم‌ها (Chandrasekaran and Paramasivan, 2022) در افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر است. هم‌سو با یافته‌های قبلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که همزیستی گیاه استبرق با گونه‌های مختلف میکوریزا

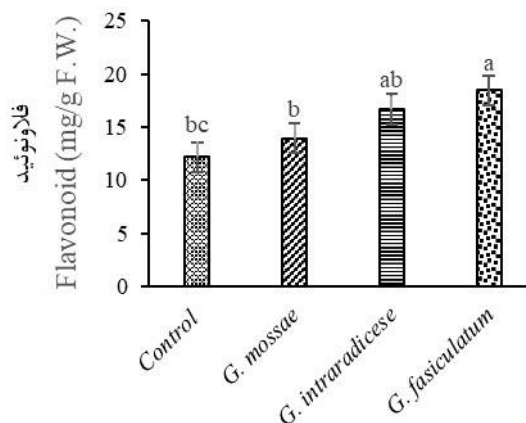
افزایش محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا ممکن است به دلیل رابطه مثبت بین جذب عناصر سودمند و مقدار کلروفیل باشد (Zarea *et al.*, 2012). در راستا مشخص شده است که همزیستی میکوریزایی منجر به افزایش جذب آب، و بهبود جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و منیزیم بوسیله گیاه می‌شود و از این طریق باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز کلروفیل شده و در نتیجه منجر به افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز می‌شود (Giri and Mukerji, 2004). همچنین در شرایط تنش، تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا بر فعالیت آنتی اکسیدانی آن اثرگذار خواهد بود و منجر سرکوب گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که در نهایت از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌نماید (Kapoor *et al.*, 2008). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای فلاونوئید نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تأثیر همزیستی گونه‌های مختلف میکوریزا بر میزان فلاونوئید در گیاه استبرق وجود دارد. بیشترین مقدار فلاونوئید با افزایش ۵۲ درصدی نسبت به شاهد،

ثانویه در گیاه نیلوفر پیچ^۱ نشان داد که قارچ *R. Intraradices* بیشترین تأثیر را در افزایش محتوای فنل در این گیاه داشت و بیشترین مقدار فلاونوئید در شرایط همزیستی این گیاه با گونه قارچ *F. mosseae* بدست آمد (Rashidi et al., 2021). بنابراین، همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریزا منجر به تحریک سیستم دفاعی گیاه و افزایش تولید پیش‌ماده سنتز فلاونوئیدها می‌شود (Perner et al., 2008).

منجر به افزایش تولید فنل و فلاونوئید در اندام رویشی این گیاه شده است. این نتایج با تأثیر دو گونه قارچ *G. mosseae* و *G. intraradices* بر افزایش ترکیبات ثانویه فنولیک و فلاونوئید کل در ریشه گیاه شیرین‌بیان و بهبود ویژگی‌های کیفی این گونه دارویی هم‌سویی دارد (Orujei et al., 2013). هم‌راستا با پژوهش حاضر، بررسی دیگری با ارزیابی اثر سه گونه قارچ میکوریزا بر فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و نمو و ترکیب‌های



همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا
Different mycorrhizal symbiosis



همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا
Different mycorrhizal symbiosis

شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های فنل و فلاونوئید تحت همزیستی با گونه‌های میکوریزا

Figure 3- Means comparison of phenol and flavonoid characteristics under symbiosis with different species of mycorrhiza

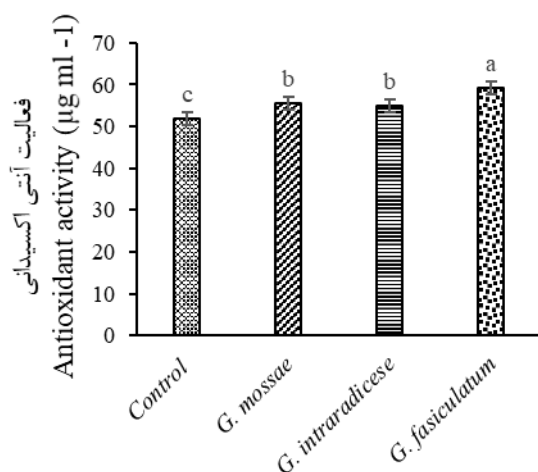
همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا نشان داد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای فنل، فلاونوئید و ترپنوئید است (Rashidi et al., 2021)، بنابراین همزیستی میکوریزایی منجر به بهبود سنتز متابولیت‌های ثانویه شده و در نتیجه باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد.

بررسی پروتئین کل در اندام رویشی استبرق نشان داد که همزیستی با گونه‌های میکوریزا تأثیر مثبتی بر غلظت پروتئین کل داشت. بیشترین مقدار پروتئین در شرایط همزیستی با گونه‌های قارچ *G. mosseae* و *G. fasciculatum* به ترتیب (۴۷۹/۲۶) و (۴۲۲/۹۶)، و کمترین مقدار مربوط به شرایط عدم همزیستی (۱۰۴/۸۱) میلی گرم بر گرم وزن تر است (شکل ۴)؛ بنابراین همزیستی استبرق با گونه‌های قارچ *G. fasciculatum*

فعالیت آنتی‌اکسیدانی شاخص دیگری است که در بررسی حاضر تحت تأثیر همزیستی با گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا افزایش داشت و نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره استبرق برای تیمارهای مختلف میکوریزا نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار دارد. در این راستا، گونه *G. fasciculatum* بیشترین تأثیر را بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت که منجر به افزایش ۱۴/۳۱ درصدی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴). در این راستا پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند که همزیستی با قارچ میکوریزا منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه ریحان (Hristozkova et al., 2017)، ذرت (Zhu et al., 2010)، و نیلوفر پیچ (Rashidi et al., 2021) شده است. بررسی ضریب همبستگی بین ویژگی‌های فیتوشیمیایی نیلوفر پیچ در شرایط

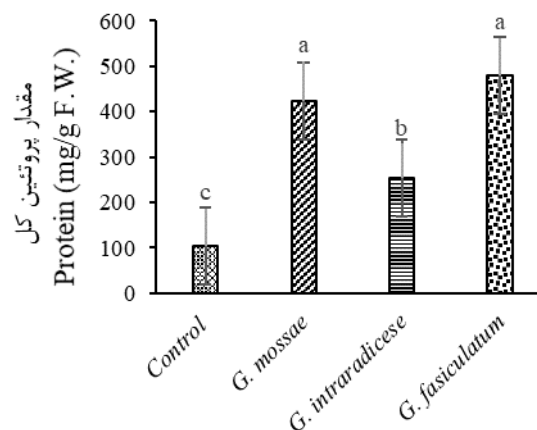
¹ *Ipomoea purpurea* L.

میکوریزا شد (Gholinezhad, 2017). بررسی دیگری نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا آریسکولار همزمان با مصرف فسفات بارور ۱ باعث افزایش ۱۷/۴ درصدی در پروتئین دانه کتان روغنی نسبت به شرایط عدم استفاده از کود زیستی میکوریزا شد (Shojaeian kishi et al., 2019).



همزیستی با گونه های مختلف قارچ میکوریزا
Different mycorrhizal symbiosis

و *G. mossae* به ترتیب باعث افزایش ۳۵۷/۲۶ و ۲۹۸/۷۳ درصدی پروتئین نسبت به شرایط عدم تلقیح با میکوریزا شد. در این راستا، بررسی همزیستی میکوریزایی با گیاه کنجد نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش ۳۱ درصدی پروتئین در دانه های کنجد نسبت به شرایط عدم همزیستی با قارچ



همزیستی با گونه های مختلف قارچ میکوریزا
Different mycorrhizal symbiosis

شکل ۴- مقایسه میانگین فعالیت آنتی اکسیدانی و پروتئین استبرق تحت همزیستی با گونه های میکوریزا

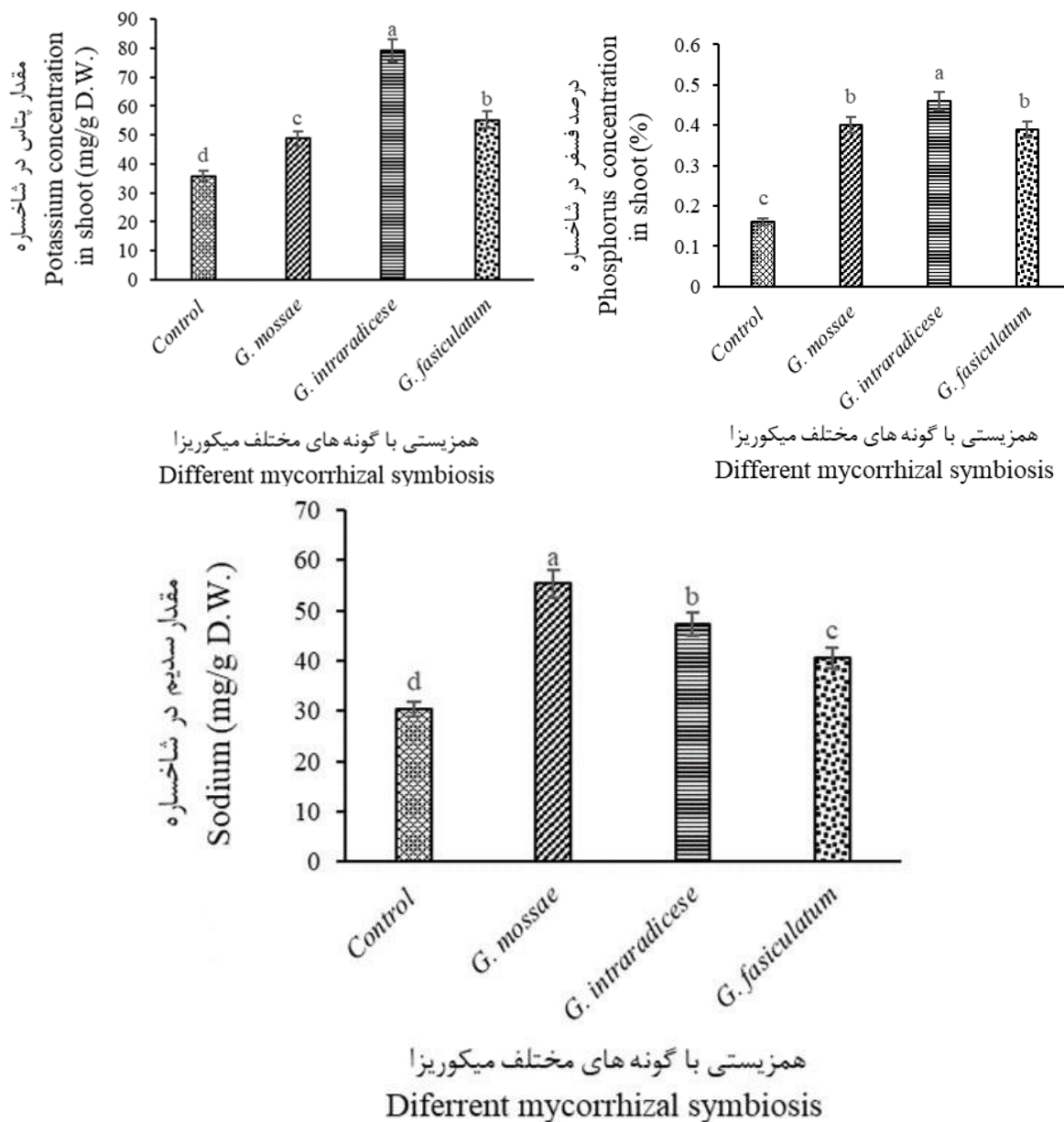
Figure 4- Means comparison of antioxidant activity and protein of *Calotropis procera* Ait under symbiosis with different species of mycorrhiza

G. mossae و *G. fasciculatum* به ترتیب ۱۵۴ و ۱۳۶ افزایش نسبت به شاهد داشته است (شکل ۵). افزون بر این، بین تأثیر همزیستی گونه های مختلف میکوریزا بر تجمع سدیم در اندام هوایی استبرق نسبت به شرایط عدم همزیستی تفاوت وجود داشت و بیشترین مقدار تجمع سدیم در شرایط همزیستی *G. mossae* با ۸۱ درصد افزایش نسبت به شاهد وجود داشت (شکل ۵). نتایج بررسی حاضر نشان داد که جذب سه عنصر فسفر، پتاس و سدیم بطور معنی داری تحت تأثیر همزیستی ریشه گیاه استبرق با سه گونه مختلف قارچ نسبت به شرایط عدم همزیستی افزایش داشته است. این یافته ها، هم راستا با نتایج پژوهش های قبلی بر روی گیاهان مختلفی مانند سویا (Andrade et al., 2004)، کاهو (Baslam et al., 2013)، چمن (Fall et al., 2015) و گوجه فرنگی (Bowles et al., 2018) است. همزیستی گیاهان با قارچ میکوریزا باعث افزایش انشعاب ها و طول ریشه آن ها می شود و در نتیجه ریشه این گیاهان تماس بیشتری با خاک پیدا می کنند و مقدار جذب آب

تحلیل میانگین مربعات برای داده های عناصر فسفر، پتاس و سدیم نشان داد که همزیستی میکوریزایی به طور معنی داری ($p \leq 0.01$) بر تجمع این عناصر در اندام رویشی گیاه استبرق تأثیر گذار است (جدول ۴). از طرفی مقایسه میانگین ها نشان داد که بین تأثیر همزیستی با گونه های مختلف میکوریزا نسبت به شرایط عدم همزیستی (شاهد) بر محتوی عناصر فسفر، پتاس و سدیم در اندام رویشی گیاه استبرق اختلاف وجود دارد. بیشترین مقدار فسفر و پتاس در شرایط همزیستی گیاه با قارچ *G. intraradices* به ترتیب با ۱۸۷ و ۱۲۰ درصد افزایش نسبت به شاهد بدست آمد (شکل ۵). هم چنین بین تأثیر همزیستی دیگر گونه های بررسی شده قارچ میکوریزا در پژوهش حاضر بر جذب عناصر فسفر و پتاس نسبت به شاهد اختلاف وجود دارد، به طوری که همزیستی با *G. mossae* و *G. fasciculatum* به ترتیب منجر به افزایش ۱۵۰ و ۱۴۳ درصدی فسفر در شاخساره استبرق نسبت به شاهد شدند (شکل ۵) و میزان تجمع پتاس در اندام هوایی استبرق در شرایط همزیستی

افزایش نسبت جذب پتاسیم به سدیم می‌شود، در نتیجه اثر سمیت سدیم روی سنتز کلروفیل در شرایط همزیستی گیاهان با میکوریزا کاهش می‌یابد (Fatahi et al., 2014).

و عناصر غذایی از خاک افزایش می‌یابد (Pirzad et al., 2014). همچنین در شرایط تنش شوری قارچ میکوریزا با جذب سدیم در اندام‌های خود مانع جذب آن توسط گیاه شده و منجر به



شکل ۵- مقایسه میانگین عناصر فسفر، پتاس و سدیم در اندام رویشی استبرق تحت همزیستی با گونه‌های میکوریزا
under symbiosis with Figure 5- Means comparison of phosphorus, potassium and sodium content in shoots of *Calotropis procera* Ait different species of mycorrhizae

جدول ۴- تجزیه واریانس مقدار فسفر، پتاس و سدیم در اندام رویشی استبرق تحت شرایط همزیستی میکوریزا
under symbiosis with Table 4- ANOVA analysis of phosphorus, potassium and sodium content in shoots of *Calotropis Procera* Ait mycorrhizae

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		فسفر Phosphorus	پتاس Potassium	سدیم Sodium

تیمارهای میکوریزا Mycorrhizae treatments	3	0.053**	988.89**	332.91**
خطای آزمایش Experimental error	8	0.0001	0.41	0.41
C.V.		0.02	1.17	1.48

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

** significant at 1% probability level

نتیجه گیری کلی

بطور کلی نتایج بررسی حاضر نشان داد که همزیستی گیاه استبرق با قارچ میکوریزا دارای تأثیر معنی دار و مثبتی بر رشد و نمو و ترکیبات فیتوشیمیایی این گیاه است. همچنین این نتایج تأیید می کند بین تأثیر گونه های مختلف قارچ میکوریزا بر وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، و فعالیت های فیتوشیمیایی استبرق اختلاف وجود دارد و همزیستی با گونه *G. fasciculatum* بیشترین اثر را در افزایش تولید متابولیت های ثانویه داشت. همچنین همزیستی با گونه های مختلف میکوریزا بر تجمع عناصر غذایی در اندام رویشی تأثیر معنی داری دارد و در بررسی حاضر همزیستی با گونه *G. intraradices* بیشترین نقش را در افزایش میزان فسفر و پتاس در اندام هوایی

استبرق داشت. همزیستی گونه های مختلف میکوریزا از طریق افزایش وزن ریشه و شاخساره منجر به افزایش عملکرد اندام های رویشی قابل کاربرد استبرق در طب سنتی می شوند، از طرفی افزایش عملکرد رویشی و همچنین بهبود فعالیت های فیتوشیمیایی موجب افزایش تولید متابولیت های ثانویه قابل استحصال از این گونه دارویی خواهد شد که افزون بر افزایش بهره وری کاربردی منجر به ارزش افزوده اقتصادی برای کشاورزان و تولیدکنندگان این محصول می شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه زابل برای حمایت مالی پژوهش حاضر تحت پژوهانه IR-UOZ-GR-8952 تقدیر و تشکر می گردد.

References

- Alizadeh Ajirlo, S. and Farrokhpor, S. 2014. Effects of three mycorrhizal fungi on growth and development, colonization rate and phosphorus concentration in roots of marigold (*Tagetes erecta*). *Water and Soil Science*, 24(4), pp.129-138. [In Persian].
- Andrade, S.A.L., Abreu, C.A., Abred, M.N. and Silveria, A.D.D. 2004. Influence of lead addition on arbuscular mycorrhiza and rhizobium symbioses under soybean plants. *Applied Soil Ecology*, 26, pp.123-137. doi: 10.1016/j.apsoil.2003.11.002
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in beta vulgaris. *Plant Physiology*, 24, pp. 1-15
- Bagheri Dehabadi, M., Moghadam, H., Chaichi, M.R. and Zilouie, N. 2017. The mycorrhiza and iron and zinc foliar application on quantitative and qualitative characteristics of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Crops Improvement*, 19(3), pp.799-815. [In Persian].
- Baslam M., Garmendia I. and Goicoechea N. 2013. The arbuscular mycorrhizal symbiosis can overcome reductions in yield and nutritional quality in greenhouse-lettuces cultivated at inappropriate growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 164, pp.145-154. doi: 10.1016/j.scienta.2013.09.021
- Bergmann, J., Weigelt, A., van der Plas, F., Laughlin, D.C., Kuyper, T.W., Guerrero-Ramirez, N., Valverde-Barrantes, O.J., Bruelheide, H., Freschet, G.T., Iversen, C.M., Kattge, J., McCormack, M.L., Meier, I.C., Rillig, M.C., Roumet, C., Semchenko, M., Sweeney, C.J., van Ruijven, J., York, L.M. and Mommer, L.

2020. The fungal collaboration gradient dominates the root economics space in plants. *Science Advances*, 6(27): eaba3756. **doi: 10.1126/sciadv.aba3756**
- Bowles, T.M., Jackson, L.E. and Cavagnaro, T.R. 2018. Mycorrhizal fungi enhance plant nutrient acquisition and modulate nitrogen loss with variable water regimes. *Global Change Biology*, 4(1), pp.171-182. **doi: 10.1111/gcb.13884**
- Bowles, T.M., Barrios-Masias, F.H., Carlisle, E.A., Cavagnaro, T.R. and Jackson, L.E. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*, 566, pp.1223-1234. **doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.178**
- Braca, A., De Tommasi, N., Di Bari, L., Pizza, C., Politi, M. and Morelli, I. 2001. Antioxidant principles from *Bauhinia terapotensis*. *Journal of Natural Products*, 64, pp.892-895. **doi: 10.1021/np0100845**
- 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.
- Bahadori, F., Sharifi Ashorabadi, A., Mirza, M., Matiniazadeh, M. and Abdousi, V. 2015. The effects of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on N, P and K uptake and yield of *Thymus daenensis* Clak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(3), pp.527-538. [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2015.101925**
- Brundrett, M.C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154, pp.275-304. **doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x**
- Chandrasekaran, M., Paramasivan, M. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi and antioxidant enzymes in ameliorating drought stress: a meta-analysis. *Plant Soil* 480, pp.295–303. **doi: 10.1007/s11104-022-05582-3**
- Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Food and Drug Analysis*, 10, pp.178-182.
- Diedhiou, A.G., Mbaye, F.K., Mbodj, D., Faye, M.N., Pignoly, S., Ndoeye, I., Djaman, K., Gaye, S., Kane, A. and Laplaze, L. 2016. Field trials reveal ecotype-specific responses to mycorrhizal inoculation in rice. *PloS One*, 11(12): e0167014. **doi: 10.1371/journal.pone.0167014**
- Farrar, N., Farsi, M.J., Asgari, H., Zamani, A.A. and Golestaneh, S.R. 2014. Insecticidal and deterrence effects of ethanol extract from *Calotropis procera* (Asclepiadaceae) leaves against *Tribolium castaneum*, *T. confusum* (Col.: Tenebrionidae) and *Thiacidas postica* (Lep.: Noctuidae). *Agricultural Pest Management*, 1(1), pp.23-35.
- Fall, F., Diouf, D., Fall, D., Ndoeye, I., Ndiaye, Ch., Kane, A. and Mustapha Bâ, A. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth, and nutrient uptake of the two grass species, *Leptochloa fusca* (L.) Stapf and *Sporobolus robustus* Kunth, under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology*, 14(39), pp.2770-2776.
- Fatahi, M., Shamshiri, M.H. and Esmaelezadh, M. 2014. Evaluation of the physiological responses and leaves morphology of three inoculated pistachio rootstocks with arbuscular mycorrhizal fungi to salinity stress.

- Journal of Horticultural Science and Technology*, 15, pp.469-482. [In Persian].
- Firouzkoochi, F., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., Mohkami, Z. and Yosefzaei, F. 2018. The effect of different solvents on total phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of different organs of *Momordica charantia* L. cultured in Sistan region. *Ecophytochemistry Journal of Medicinal Plants*, 5(4), pp.74-86. [In Persian].
- Gholinezhad, E. 2017. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1), pp.150-167. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v15i1.49403**
- Giri, B. and Mukerji, G.K. 2004. Mycorrhiza inoculate alleviates salt stress in *Sesbania aegyptica* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, 14, pp.307-312. **doi: 10.1007/s00572-003-0274-1**
- Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*, 81(1), pp.77-79. **doi: 10.1016/s0960-8524(01)00109-2**
- Bazgir, E., Hatami, N., Sedaghati, E. and Darvishnia, M. 2020. Isolation and study of morphology and phylogeny of arbuscular mycorrhizal fungi coexisting with the roots of some medicinal plants in Kerman province. *Agricultural Biotechnology Journal*, 12(1), pp.23-44. [In Persian]. **doi: 10.22103/jab.2020.15110.1189**
- Hindi, S.S. 2013. *Calotropis procera*: The miracle shrub in the Arabian peninsula. *International Journal Science and Engineering of Investment*, 2(16), pp.48-57.
- Hristozkova, M., Gigova, L., Geneva, M., Stancheva, I., Vasileva, I., Sichanova, M. and Mincheva, J. 2017. Mycorrhizal fungi and microalgae modulate antioxidant capacity of basil plants. *Journal of Plant Protection Research*, 57(4), pp.417-426. **doi: 10.1515/jppr-2017-0057**
- Hui, F., Liu, J., Gao, Q. and Lou, B. 2015. *Piriformospora indica* confers cadmium tolerance in *Nicotiana tabacum*. *Journal of Environmental Sciences*, 37, pp.184-191. **doi: 10.1016/j.jes.2015.06.005**
- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, 93, pp.307-311. **doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.028**
- Kapoor, R., Sharma, D. and Bhatnagar, A.K. 2008. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulture*, 116, pp.227-239. **doi: 10.1016/j.scienta.2008.02.002**
- Khaninejad, S., Khazaie, H.R., Nabati, J. and Kafi, M. 2013. Effect of three species of mycorrhiza inoculation on yield and some physiological properties of two potato cultivars under drought stress in controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4), pp.558-574. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v14i4.21993**
- Khasawneh, M., Elwy, H., Fawzi, N., Hamza, A., Chevidenka, A.R. and Hassan, A.H. 2011. Antioxidant activity, lipoxygenase inhibitory effect and polyphenolic compounds from *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. *Research Journal of Phytochemistry*, 5(2), pp.80-88. **doi: 10.3923/rjphyto.2011.80.88**
- Li, T., Lin, G., Zhang, X., Chen, Y., Zhang, S. and Chen, B. 2014 – Relative importance of an arbuscular

- mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*) and root hairs in plant drought tolerance. *Mycorrhiza*, 24, pp.595-602. **doi: 10.1007/s00572-014-0578-3**
- Little, E.L., Woodbury, R.O. and Wadsworth, F.H. 1974. Trees of Puerto Rico and the Virgin islands, vol. 2. Agriculture handbook 449. U.S. Department of agriculture, Forest Service, Washington, pp.1024.
- Ma, J., Wang, W., Yang, J., Qin, S., Yang, Y., Sun, C., Pei, G., Zeeshan, M., Liao, H., Liu, L. and Huang, J. 2022. Mycorrhizal symbiosis promotes the nutrient content accumulation and affects the root exudates in maize. *BMC Plant Biology*, 22, pp.64. **doi: 10.1186/s12870-021-03370-2**
- Mathimaran, N., Mahaveer, P.S., Mohan, R.B. and Bagyaraj, D.J. 2017. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and drought tolerance in crop plants. *Mycosphere*, 8(3), pp.361-376.
- Mitra, D., Guerra Sierra B.E., Khoshru, B., Villalobos, S.D.L.S., Belz, C., Chaudhary, P., Noroozi Shahri, F., Djebaili, R., Adeyemi, N.O., El-Ballat, E.M., El-Esawi, M.A., Moradi, S., Mondal, R., Senapati, A., Panneerselvam, P. and Das Mohapatra, P.K. 2021. Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on rice growth, development, and stress management with a particular emphasis on strigolactone effects on root development. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(14), pp.1591-1621. **doi: 10.1080/00103624.2021.1892728**
- Orujei, Y., Shabani, L., Sharifi Tehrani, M., Aghababaei, F. and Enteshari, S. 2013. Dual effects of two mycorrhizal fungi on production of glycyrrhizin total phenolic and total flavonoids compounds in roots of *Glycyrrhiza glabra* L. *Iranian Journal of Plant Biology*, 5(17), pp.75-88. [In Persian].
- Parrotta, J.A. 2001. Healing plants of Peninsular India. CAB International, Wallingford, UK and New York. 944 p.
- Perner, H., Rohn, S., Driemel, G., Batt, N., Schwarz, D., Kroh, L.W. and George, E. 2008. Effect of nitrogen species supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in onions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, pp.3538-3545. **doi: 10.1021/jf073337u**
- Pirzad, A.R., Habibzadeh, Y. and Jalilian, J. 2014. Seed yield variations mungbean (*Vigna radiate* L.) at mycorrhizal symbiosis under water stress. *Research in Field Crops*, 2(2), pp.33-43. [In Persian].
- Pouraali, S., Hatamzadeh, A. and Ehteshami, S.M.R. 2015. Investigation of mycorrhizal and growth promoting bacteria symbiosis on quantitative and qualitative indices of *Aloe vera*. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 2(2), pp.61-70. [In Persian].
- Qureshi, A.A., Prakash, T., Patil, T., Viswanath Swamy, A.H.M., Veeran Gouda, A., Prabhu, K. and Ramachandra Setty, S. 2007. Hepatoprotective and antioxidant activities of flowers of *Calotropis procera* (Ait) R.Br. in CCl₄ induced hepatic damage. *Indian Journal of Experimental Biology*, 45(3), pp.304-310.
- Ramakrishnan, K. and Bhuvaneswari, G. 2014. Effect of inoculation of am fungi and beneficial microorganisms on growth and nutrient uptake of *Eleusine coracana* (L.) Gaertn. (Finger millet). *International Letters of Natural Sciences*, 13, pp.59-69. **doi: 10.18052/www.scipress.com/ilns.13.59**
- Rashidi, S., Yousefi, A.R., Pour Yousef, M. and Goicoechea, N. 2021. Effect of three species of mycorrhizal fungus on photosynthesis, growth and secondary metabolites content of (*Ipomoea purpurea* L.). *Iranian*

- Journal of Weed Science*, 16(2), pp.99-114. [In Persian]. doi: 10.22092/ijws.2020.127905.1352
- Rasouli Sedghiani, M.H., Gharemalek, T., Besharati, H. and Tavassoli, A. 2011. Effects of PGPR and AM fungi on growth and Zn uptake by corn plant in a Zn- contaminated soil. *Water and Soil Science*, 21(2), pp.135-147. [In Persian].
- Salarpouri, A., Hajeb Nowdezh, R., Behzadi, S. and Darvishi, M. 2019. Studying the uses and economic potentials of *Calotropis procera*. *Ecology of Water Resource Journal*, 2(1), pp.11-17. [In Persian].
- Šaponjac, V.T., Kovačević, S., Šeregelj, V., Šovljanski, O., Mandić, A., Cetković, G., Vulić, J., Podunavac-Kuzmanović, S. and Jasna Canadanović-Brunet, J. 2021. Improvement of Carrot Accelerated Solvent Extraction Efficacy Using Experimental Design and Chemometric Techniques. *Processes*, 9(9), 1652; doi.org/10.3390/pr9091652
- Sharma, A.K., Kharb, R. and Kaur, R. 2011. Pharmacognostical aspects of *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2(3), pp.480-488.
- Shahabivand, S., Parvaneh, A. and Aliloo, A.A. 2018. The cadmium toxicity in *Helianthus annuus* can be modulated by endosymbiotic fungus (*Piriformospora indica*). *Journal of Genetic Resources*, 4(1), pp.44-55. doi: 10.22080/jgr.2018.14168.1102
- Shahabivand, S., Parvaneh, A. and Aliloo, A.A. 2017. Root endophytic fungus *Piriformospora indica* affected growth, cadmium partitioning and chlorophyll fluorescence of sunflower under cadmium toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, pp.496-502. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.064
- Shahabivand, S., Zare-Maivan, H., Goltapeh, E.M., Sharifi, M. and Aliloo, A.A. 2012. The Effects of root endophyte and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and cadmium accumulation in wheat under cadmium toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 60, pp.53-58. doi: 10.1016/j.plaphy.2012.07.018
- Shojaeian kishi, F., Yadavi, A., Salehi, A. and Movahhedi Dehnavi, M. 2019. Assessment of agronomical traits and photosynthesis pigments of linseed (*Linum usitatissimum* L. cv. Norman) under irrigation cut-off condition and application of mycorrhiza fungi and phosphate bio fertilizer in Yasouj. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), pp.65-81. [In Persian].
- Singh, R.P., Murthy, K.N.C. and Jayaprakasha, G.K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp.81-86. doi: 10.1021/jf010865b
- Slinkard, K. and Singleton, V.L. 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, pp.49-55. doi: 10.5344/ajev.1974.28.1.49
- Smith, S.E. and Read, D. 2008. Mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. *Mycorrhizal Symbiosis* (Third Edition). pp.611-636.
- Tahir, S.M., Victor, K. and Abdolkadir, S. 2011. The effect of 2, 4-dichlorophenoxy acetic acid (2,) concentration on callus induction in sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 19(2), pp.213-217.
- Tedersoo, L., Bahram, M. and Zobel, M. 2020. How mycorrhizal associations drive plant population and

- community biology. *Science*, 367: eaba1223. **doi: 10.1126/science.aba1223**
- Upadhyay, S.K., Singh, J.S., Saxena, A.K. and Singh, D.P. 2012. Impact of PGPR inoculation on growth and antioxidant status of wheat under saline conditions. *Plant Biology*, 14, pp.605-611. **doi: 10.1111/j.1438-8677.2011.00533.x**
- Wambsganss, J., Freschet, G.T., Beyer, F., Goldmann, K., Prada-Salcedo, L.D., Scherer-Lorenzen, M. and Bauhus, J. 2021. Tree species mixing causes a shift in fine-root soil exploitation strategies across European forests. *Functional Ecology*, 35, pp.1886-1902. **doi: 10.1111/1365-2435.13856**
- Watanabe, F.S. and Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Proceeding*, 29, pp.677-678. **doi: 10.2136/sssaj1965.03615995002900060025x**
- Williams, V. and Twine, S. 1960. Flame Photometric Method for Sodium, Potassium and Calcium. In: Peach, K. and Tracey, M.V., Eds., *Modern Methods of Plant Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, Vol. 5, 3-5.
- Yan, H., Freschet, G.T., Wang, H., Hogan, J.A., Li, S., Valverde-Barrantes, O. J., Fu, X., Wang, R., Dai, X., Jiang, L., Meng, S., Yang, F., Zhang, M. and Kou, L. 2022. Mycorrhizal symbiosis pathway and edaphic fertility frame root economics space among tree species. *New Phytologist*, 234(5), pp.1639-1653. **doi: 10.1111/nph.18066**
- Yang, Y., Tang, M., Sulpice, R., Chen, H., Tian, S. and Ban, Y. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33, pp.612-625. **doi: 10.1007/s00344-013-9410-0**
- Zarea, M.J., Hajinia, S., Karimi, N., Mohammadi Goltapeh, E., Rejali, F. and Varma, A. 2012. Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. *Soil Biology and Biochemistry*, 45, pp.139-146. **doi: 10.1016/j.soilbio.2011.11.006**
- Zimare, S.B., Borde, M.Y., Jite, P.K. and Malpathak, N.P. 2013. Effect of AM Fungi (Gf, Gm) on Biomass and Gymnemic Acid Content of *Gymnema Sylvestre* (Retz.). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B. Biological Sciences*, 83(3), pp.439-445. **doi: 10.1007/s40011-013-0159-9**
- Zhang, R.Q., Zhu, H.H., Zhao, H.Q. and Yao, Q. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation increases phenolic synthesis in clover roots via hydrogen peroxide, salicylic acid and nitric oxide signaling pathways. *Journal of Plant Physiology*, 170(1), pp.74-79. **doi: 10.1016/j.jplph.2012.08.022**
- Zhu, X., Song, F. and Xu, H. 2010. Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*, 20(5), pp.325-332. **doi: 10.1007/s00572-009-0285-7**

Investigation of symbiosis effect of different species of mycorrhiza on growth and phytochemical indices of *Calotropis procera* Ait.

Marziyeh Nouri¹, Mahmood Soluki², Abdolrahman Rahimian Boogar^{3*}, Mehdi Aran³, Zinab Mohkami⁴

¹ Graduate Student, Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

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

³ Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

⁴ Department of Agronomy, Institute of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: a.rahimian@uoz.ac.ir

Received: 4 January 2023

Accepted: 11 march 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.379437.1309

Abstract

Introduction: The *Calotropis procera* Aiton plant is a valuable and effective medicinal species used to treat various diseases, including as an anti-carminative and for indigestion, as well as for anticancer and anticonvulsant treatments. This species naturally inhabits fragmented habitats in southern Iran, particularly near the coasts of the Persian Gulf and the Oman Sea, in the arid and semi-arid regions of Sistan and Baluchistan, Khuzestan, Bushehr, and Hormozgan. On the other hand, due to the discovery of adverse effects caused by chemical drugs, people have turned their attention towards using medicinal plants. The health of agricultural products, especially medicinal plants, has special importance. The symbiosis of plants with mycorrhiza can be lead to improve of the root development and will affect on the absorption of water and nutrients. Aim of this study was investigate the effects of symbiosis between *C. procera* Aiton. with three different species of mycorrhizal on some phytochemical and antioxidant activity, and content of potassium, phosphorus, and sodium in shoots of *C. procera* Aiton.

Materials and Methods: This research was conducted in the greenhouse of the Horticultural Science Department, University of Zabol, Zabol, Iran. Transplants were cultured in the soil medium in pot condition. This experiment was carried out in a completely randomized design with four treatments include inoculation with three different mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*, *Glomus fasciculatum*, and *Glomus mosseae*) and control (without inoculation) and three replicate. Measured indices were assessed 8 weeks after transplanting. Measured parameters include; growth indices such as fresh and dry weight of root and shoot, and phytochemical indices are chlorophyll a and b, Carotenoid, phenol, flavonoid, antioxidant activity, protein, and concentration of potassium, phosphorus, and sodium in shoots. Data were analyzed by ANOVA test using JMP, and means were compared using the LSD test at $P < 0.01$.

Results and Discussion: The results of variance analysis were shown significant effects of mycorrhizal symbiosis on all investigated indices ($P \leq 0.01$). Also, means comparison shows a significant difference between the effects of different mycorrhiza species. The highest content of chlorophyll a and carotenoid was obtained in symbiosis with *G. mossae*, and the highest content of chlorophyll b existed in symbiosis with *G. fasciculatum* and *G. intraradices*. In this regard, it has been found that mycorrhizal symbiosis leads to an increase in water absorption, and an improvement in the absorption of nutrients by the plant, thereby leading to an increase in chlorophyll synthesis enzymes activity. symbiosis of *G. fasciculatum* had the highest effects on increasing phenol and antioxidant activity. increase in antioxidant activity leading to strong suppression of reactive oxygen species, which ultimately increases the remedial capability of *C. procera* Aiton. The highest amount of flavonoid was observed in the condition of symbiosis with *G. intraradices* and *G. fasciculatum*, and the highest content of protein was observed in condition of symbiosis with *G. fasciculatum* and *G.*

mossae. Symbiosis with the *G. intraradices* significantly increased the concentration of potassium and phosphorus in shoots of *C. procera* Aiton, while symbiosis with *G. mossae* causes to a significant increase in sodium concentration. Generally, the results of the current study were shown that symbiosis with *G. fasciculatum* and *G. intraradices* are more useful than symbiosis with *G. mossae*. The symbiosis of plants with mycorrhiza fungi increases the volume and length of their roots, as a result of which the roots have more contact with the soil, and the amount of water and nutrient absorption from the soil increases.

Conclusion: results of the current study demonstrate that the phytochemical, antioxidant activity, and concentration of potassium and phosphorus and sodium have differed among extract and shoots related to symbiosis of *C. procera* Aiton and species of fungi. And symbiosis with *G. fasciculatum* had the greatest effect in increasing the production of secondary metabolites.

Keywords: Antioxidant, Essential oil, Inoculation, Secondary metabolite, Yield

تأثیر محلول پاشی آسکوربیک اسید و کلسیم بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) در شرایط تنش خشکی

نظام الدین حسینی نژاد^۱، سید مسعود ضیایی^۲، علیرضا عینعلی^{۳*}

۱- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

* مسئول مکاتبه: aeinali@science.usb.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.368010.1286

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰

چکیده

به منظور بررسی پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی گیاه گوار به محلول پاشی آسکوربیک اسید و کلسیم تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی بصورت فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی سراوان در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح تنش خشکی (۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و سه سطح محلول پاشی (عدم محلول پاشی، محلول پاشی با کربنات کلسیم و آسکوربیک اسید با غلظت سه در هزار) بودند. نتایج نشان داد که با اعمال سطوح تنش خشکی ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، نسبت به تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن خشک برگ و پروتئین کل روندی کاهشی و صفات قند احیایی، فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و طول ریشه روندی افزایشی نشان دادند. محلول پاشی کلسیم، نسبت به شرایط عدم محلول پاشی و محلول پاشی با اسید آسکوربیک، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و وزن خشک برگ را بطور معنی داری افزایش داد. همچنین محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کلسیم، نسبت به شرایط عدم محلول پاشی، میزان پروتئین کل، قند احیایی و طول و وزن خشک ریشه را بطور معنی داری افزایش و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز را بطور معنی داری کاهش داد. در مجموع به نظر می رسد که فراهمی رطوبت در حد مقادیر ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث شکل گیری مکانیسم‌های مقابله با تنش خشکی در گیاه گوار شده، اما محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کلسیم، می تواند تا حدی در تعدیل اثرات تنش خشکی بر روی این گیاه مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: پلی فنل اکسیداز، پروتئین کل، ظرفیت زراعی، قند احیایی، وزن خشک ریشه

مقدمه

آن، پاکستان در رده دوم تولید این گیاه قرار دارد (Hema and Shalendra, 2014). گوار منبع مهمی از صمغ گالاتوملنان می باشد که از آندوسپرم گیاه استخراج شده و با حل شدن در آب به حالت ژله ای در می آید. این ویژگی باعث شده است که گوار در صنایع مختلف استفاده های متنوعی داشته باشد (Pathak and roy, 2015). علاوه بر این، ترکیب جنین و پوسته بذر گوار، کنجاله این محصول را تشکیل می دهند که غنی از پروتئین می باشد. همچنین فرآورده هایی از صمغ گوار در کاهش وزن، کاهش قند خون، برطرف کردن چاقی و کم اشتها بی بدست می آید که کاربردهای دارویی این گیاه ارزشمند را نشان می دهند (Hossieni Nezhad, 2021; Singh, 2014).

خشکی یکی از مهمترین محدودیت های تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد (Ezati et al., 2019). بطور کلی از دیدگاه کشاورزی، خشکی به شرایطی

گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) گیاهی است یکساله از خانواده بقولات و متحمل به شوری و خشکی که می توان از آن به عنوان یک محصول جایگزین در دشت های کم آب بجای گیاهان زراعی حساس به شرایط کم آبی استفاده نمود (Grover et al., 2016). محیط ایده آل برای جوانه زنی مطلوب گوار، شرایطی است که دمای خاک بیش از ۲۵ درجه سانتی گراد باشد (Gul et al., 2019). گوار در اراضی دارای بافت سبک، خاک های شنی- شنی لومی و همچنین در مناطقی که دارای بارندگی سالیانه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر هستند، به خوبی رشد می کند. ریشه های آن قابلیت همزیستی با باکتری های ریزوبیوم و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را داشته و می توانند نیتروژن آزاد جو را به شکل قابل جذب برای خود در آورد. ۸۰ درصد سطح زیر کشت گوار در دنیا به هندوستان اختصاص داشته و بعد از

هوایی شده و این پروتئین‌ها در پاکسازی ROSها ایفای نقش می‌کنند (Akram et al., 2017; Kafi et al., 2018). در واقع AsA یک کمپلکس غیرآنزیمی است که گیاهان را قادر می‌سازد تا با کاهش ROSها در برابر تنش‌های مختلف از خود دفاع کنند (Shafiq et al., 2014). در زمان بروز تنش، AsA در سیتوزول گیاه انتشار یافته و به عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند. تحقیقات نشان داده‌اند که کاربرد خارجی AsA در بهبود رشد و نمو گیاه با ارتقای سیستم دفاعی اکسیداتیو، سیگنال‌رسانی هورمونی در گیاه، انتقال یون‌ها و سایر فرایندهای مرتبط تحت شرایط تنش و حتی بدون تنش بسیار مؤثر بوده است (Darvishan et al., 2013).

یکی دیگر از عناصر حائز اهمیت برای رشد گیاه، عنصر کلسیم است که علی‌رغم غیرمتحرک بودن، دارای نقش‌های متعددی در گیاه می‌باشد. تنظیم نفوذپذیری سلول و ایفای نقش به عنوان پیام‌رسان در بافت‌های گیاهی، تأثیر در تشکیل دیواره‌های پکتوسلولوزی و فعال کردن برخی آنزیم‌ها و واکنش آن‌ها با هورمون‌های گیاهی، به ترتیب از نقش‌های الکتروشیمیایی، ساختمانی و کاتالیکی کلسیم هستند (Taiz and Zeiger, 2006; Grenzi et al., 2021). گزارش شده است که یون‌های کلسیم می‌توانند بواسطه شرکت در فرایند انتقال سیگنال خشکسالی و تحریک سنتز اسید آسکوریک (ABA⁴)، تحمل به خشکی را در گیاهان افزایش دهند (Ali et al., 2020). از این رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر محلول پاشی آسکوریک اسید و کلسیم بر برخی صفات مورفو-فیزیولوژیک گوار تحت شرایط تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی سراوان در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹، بصورت فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح تنش خشکی (۵۰، ۷۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (Vaziri et al., 2017)) و سه سطح محلول پاشی (عدم محلول پاشی، محلول پاشی با کربنات کلسیم و آسکوریک اسید با غلظت سه در هزار) بودند. بذره‌های گیاه گوار ابتدا در

اطلاق می‌شود که در نتیجه آن، کاهش عملکرد گیاه در حد پایین‌تر از شرایط مناسب فراهمی آب رخ می‌دهد. تداوم این وضعیت می‌تواند منجر به کاهش بیوماس گیاهی گردد (Kafi et al., 2018). عموماً در اثر تنش خشکی، روزه‌ها بسته‌تر شده و هدایت روزه‌ای کاهش می‌یابد. این امر سبب تخلیه دی اکسید کربن در فضاها بین سلولی شده و میزان تبادلات گازی، خصوصاً سرعت تبادل کربن (CER¹) در برگ‌ها کاهش می‌یابد (Fathi et al., 2022; Halit et al., 2006). بدین ترتیب فعالیت اکسیژنازی آنزیم روبیسکو و فرایند تنفس نوری افزایش پیدا می‌کند (Abogadallah, 2010). در این شرایط اگر شدت نور در محیط به اندازه کافی بالا باشد، همه تولیدات حاوی انرژی سیستم انتقال الکترون را مصرف می‌کند که پیامد آن، وقوع بازدارندگی نوری و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS²) خواهد بود. افزایش ناگهانی ROSها در سلول سبب بروز تنش اکسیداتیو می‌گردد (Gill and Tuteja, 2010). عموماً در این شرایط، توازن جذب عناصر غذایی توسط گیاه بهم خورده و عناصر ضروری و مورد نیاز، کمتر در اختیار گیاه قرار می‌گیرند. در همین راستا در شرایط کمبود رطوبت، جذب فسفر نیز کاهش می‌یابد (Fanaei et al., 2009). از طرف دیگر در شرایط تنش خشکی، گیاه از طریق تجمع متابولیت‌ها در سلول‌های در حال رشد و نقاط مریستمی، پتانسیل اسمزی را در این سلول‌ها منفی‌تر کرده و بدین ترتیب، جذب آب و آماس سلولی را برای این سلول‌ها حفظ می‌کند (Chimenti et al., 2006). لذا انجام اقداماتی هم‌چون اعمال کودهای تقویتی برای گیاه، که بتوانند در تعدیل اثرات تنش خشکی مؤثر باشند، می‌تواند امر مهمی در ممانعت از کاهش عملکرد گیاهان زراعی باشد.

یکی از متابولیت‌هایی که در زمان بروز تنش‌های مختلف محیطی از جمله خشکی، توان گیاه را در مقابله با تنش افزایش می‌دهد، اسید آسکوریک (AsA³) است (Akram et al., 2017). اسید آسکوریک در سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن نقش داشته و با حذف ROSها، از اکسید شدن و تخریب پروتئین‌ها ممانعت می‌کند. چرا که آسکوریک اسید، سبب افزایش محتوی پروتئین‌های حفاظت‌کننده در ریشه و اندام‌های

³- Ascorbic Acid

⁴- Absciscic Acid

¹- Carbon Exchange Rate

²- Reactive Oxygen Species

تاریخ پنجم اسفند ماه سال ۱۳۹۹ در سینی‌های نشاء کاشته شده و پس از جوانه‌زنی و سبز کردن، در تاریخ ۲۰ اسفند ماه همان سال، به گلدان‌های اصلی منتقل شدند و سطوح تیمار تنش خشکی نیز از همان زمان اعمال گردید. بافت خاک محل آزمایش از نوع سیلت لومی بود (جدول ۱). گلدان‌ها تا رسیدن به مرحله گل‌دهی با آب شهری آبیاری شدند. ظرفیت زراعی در این آزمایش به روش وزنی محاسبه شد. بدین صورت که جهت تعیین درصد رطوبت در وضعیت ظرفیت زراعی خاک (FC)، سه گلدان از خاک مورد آزمایش تهیه و برای تعیین وزن خشک خاک، خاک آن‌ها به مدت ۷۲ ساعت داخل آون در دمای ۹۰ درجه قرار گرفت و وزن خاک خشک تعیین شد. سپس خاک خشک شده در گلدان‌ها ریخته و از آب اشباع شدند. در ادامه به منظور جلوگیری از تبخیر سطحی، سطح گلدان‌ها پوشیده و پس از خارج شدن کامل آب ثقی، گلدان‌ها توزین شده و وزن آن‌ها بصورت روزانه اندازه‌گیری گردید. پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک، مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت زراعی تعیین شد و تیمارهای مختلف بر این اساس محاسبه شدند. طبق محاسبات انجام شده، رطوبت ۲۱ درصد در نقطه ظرفیت زراعی تعیین شد. معیار آبیاری در گلدان‌های تحت تنش، شاهد آبیاری بود و هر زمان که گلدان‌های شاهد نیاز به آبیاری داشتند گلدان‌های تحت تنش نیز آبیاری شدند. با توجه به شرایط پاییز و زمستان، زمان آبیاری تقریباً دو روز در میان بود. تنش خشکی از مرحله سه تا چهار برگی شروع و تا آخر فصل رشد ادامه داشت (Ziaei et al., 2017). محلول پاشی در اوایل مرحله گل‌دهی (۵۵ روز پس از انتقال از سینی‌های نشاء به گلدان‌های اصلی) انجام شد و در پایان مرحله گل‌دهی، پس از اندازه‌گیری صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف و طول ریشه، گیاهان جمع‌آوری شده و به

آزمایشگاه منتقل شدند تا سایر صفات مورد نظر اندازه‌گیری شوند. بدین منظور، صفات قند احیایی (به روش Miller 1959)، پروتئین کل (به روش Markwell et al., 1981)، فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) به روش Reymond (et al., 1993) اندازه‌گیری شدند. بدین صورت که جهت اندازه‌گیری قندهای احیایی $1/5 \text{ ml}$ از عصاره تغلیظ شده حاصل از استخراج قندهای محلول با $1/5 \text{ ml}$ معرف دی نیترو سالیسیلیک اسید ترکیب و در حمام آب گرم در مدت زمان بیست دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار شد. بعد از گذشت این مدت $0/5 \text{ ml}$ پتاسیم سدیم تارتات ۴۰ درصد، به مخلوط فوق اضافه و سپس جذب نور آن، در طول موج ۵۷۵ نانومتر خوانده و به کمک اعداد بدست آمده، نمودار استاندارد رسم شد. جهت اندازه‌گیری پروتئین کل ابتدا لوله‌های آزمایش 12×10 میلی‌متری انتخاب و 50 میکرولیتر از عصاره پروتئینی استخراج شده با 3 ml معرف مس قلیایی ترکیب و مخلوط بدست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد. سپس $0/3 \text{ ml}$ از معرف فولین رقیق شده اضافه و عمل ورتکس انجام شد. بعد از گذشت ۴۵ دقیقه جذب در طول موج ۷۵۰ نانومتر خوانده و به کمک اعداد بدست آمده، نمودار استاندارد رسم شد. فعالیت آنزیم پلی فنل پراکسیداز نیز از طریق روش اسپکتوفتومتری در مد سینتیکی در طول موج ۴۲۰ نانومتر بررسی گردید. وزن خشک برگ، از طریق جداسازی برگ‌های بوته‌ها در هر گلدان و قرار گرفتن آن‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۴۸ ساعت ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه، نمونه‌ها به دقت از خاک جداسازی و بوسیله صافی و توری شستشو داده شد تا حداکثر ریشه‌ها قابل برداشت باشند. جهت جلوگیری از پلاسیده شدن، ریشه‌ها داخل پاکت پلاستیکی و در دمای یخچال قرار گرفتند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physicochemical properties at the experimental location

بافت خاک Soil texture	پتاسیم Potassium (mg kg^{-1})	فسفر Phosphorous (mg kg^{-1})	منگنز Manganese (mg kg^{-1})	روی Zinc (mg kg^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH
سیلت لوم Loamy silt	92	13	0.961	0.348	0.2	0.02	2.9	8.6

جهت تعیین وزن خشک ریشه، از هر گلدان دو ریشه استخراج و پس از قرار گرفتن در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت، وزن آن با ترازوی دقیق اندازه گیری و میانگین دو بوته منظور گردید. برای اندازه گیری طول ریشه نیز از محل زیر طوقه تا انتهای ریشه اصلی مبنای محاسبه قرار گرفت (Ziaei et al., 2017).

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار Minitab 17 و مقایسه میانگین ها به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و در این تیمار، ارتفاع بوته به بیش از ۴۲ سانتی متر رسید. در دو تیمار دیگر، ارتفاع بوته کمتر از ۳۵ سانتی متر بود و بین آن ها اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۳). به عبارت دیگر، سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، به ترتیب با ۱۸/۲ و ۲۰/۵ درصد کاهش، بطور معنی داری ارتفاع بوته کمتری داشتند. به نظر می رسد که ارتفاع بوته تحت شرایط تنش

خشکی، بواسطه از بین رفتن تورژسانس سلول ها و تخصیص فراورده های فتوسنتزی به مکانیسم های مقابله با تنش و نیز گرایش گیاه به سمت استفاده از مکانیسم فرار از خشکی و کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه کاهش یافته است (Ashouri et al., 2022). در همین ارتباط، طی مطالعه اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی از ویژگی های فیزیولوژیک ارقام عدس تحت تنش شوری، کاهش معنی دار ارتفاع ارقام عدس طی اعمال تیمارهای شوری مشاهده شد (Kayad Nezami et al., 2012). علاوه بر این، اثر محلول پاشی بر ارتفاع بوته گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین صورت که محلول پاشی با کربنات کلسیم نسبت به شرایط محلول پاشی با اسید آسکوربیک و عدم محلول پاشی سبب افزایش معنی دار ارتفاع بوته گردید. اما بین دو تیمار محلول پاشی با اسید آسکوربیک و عدم محلول پاشی، از این نظر اختلاف معنی داری وجود نداشت. در شرایط محلول پاشی با کربنات کلسیم، ارتفاع بوته به بیش از ۳۹/۵ سانتی متر رسید. در حالی که در دو تیمار دیگر، ارتفاع بوته کمتر از ۳۷ سانتی متر بود (جدول ۴). به نظر می رسد که این اثر مثبت کلسیم می تواند ناشی از تأثیر آن بر بهبود یکپارچگی دیواره های سلولی و همچنین اثربخشی آن در کاهش پتانسیل اسمزی و حفظ فشار تورژسانس سلول ها باشد (Ibrahim et al., 2016).

جدول ۲- تجزیه واریانس برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی گوار

Table 2- ANOVA for some morpho-physiological traits of *Cyamposis tetragonoloba*

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	طول غلاف	پروتئین کل	قند احیایی	پلی فنل اکسیداز	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	طول ریشه
S.o.V	df	Plant height	No. of pods per plant	No. of seeds per pod	Pod length	Total protein	Reduction sugar	PPO	Dry weight of leaf	Dry weight of root	Root length
تنش خشکی	2	202 **	18.1 *	2.10 **	3.18 **	50.3 **	0.155 **	0.973 **	0.0005 **	0.0004 **	59.6 **
Drought stress (D)											
محلول پاشی	2	64.3 **	17.4 *	0.445 ns	0.816 ns	22.1 **	0.044 **	0.069 **	0.0001 **	0.000005 ns	0.970 *
Spraying (S)											
تنش خشکی × محلول پاشی	4	22.2 ns	0.889 ns	0.057 ns	0.210 ns	0.284 ns	0.003 ns	0.026 **	0.000006 ns	0.000001 ns	0.131 ns
D × S											
خطا	18	9.04	3.11	0.184	0.324	1.45	0.002	0.009	0.000009	0.000002	0.172
Error											
ضریب تغییرات	-	8.15	13.34	10.26	11.01	10.78	3.61	15.94	13.04	4.28	3.18
CV (%)											

ns, * و **: به ترتیب، غیرمعنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد

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

جدول ۳- مقایسات میانگین اثر تنش خشکی بر روی صفات مورد مطالعه در گیاه کوار

Table 3- Mean comparisons of drought stress effect on studied traits in *Cyamposis tetragonoloba*

تنش خشکی بر اساس ظرفیت زراعی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	طول غلاف	پروتئین کل	قند احیایی	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	طول ریشه
Drought stress based on FC (%)	Plant height (cm)	No. of pods per plant	No. of seeds per pod	Pod length (cm)	Total protein (mg gFW ⁻¹)	Reduction sugar (mg gFW ⁻¹)	Dry weight of leaf (g plant ⁻¹)	Dry weight of root (g plant ⁻¹)	Root length (cm)
70	42.3 ^a	14.8 ^a	4.73 ^a	5.84 ^a	13.2 ^a	1.09 ^c	0.031 ^a	0.026 ^c	10.2 ^c
50	34.6 ^b	12.8 ^b	4.00 ^b	4.94 ^b	11.7 ^b	1.29 ^b	0.022 ^b	0.035 ^b	13.7 ^b
30	33.6 ^b	12.0 ^b	3.82 ^b	4.72 ^b	8.60 ^c	1.35 ^a	0.016 ^c	0.039 ^a	15.2 ^a

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

جدول ۴- مقایسات میانگین اثر محلول پاشی بر روی صفات مورد مطالعه در گیاه کوار

Table 4- Mean comparisons of spraying effect on studied traits in *Cyamposis tetragonoloba*

محلول پاشی	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	پروتئین کل	قند احیایی	وزن خشک برگ	طول ریشه
Spraying (3 ‰)	Plant height (cm)	No. of pods per plant	Total protein (mg gFW ⁻¹)	Reduction sugar (mg gFW ⁻¹)	Dry weight of leaf (g plant ⁻¹)	Root length (cm)
عدم محلول پاشی	34.3 ^b	11.9 ^b	9.45 ^b	1.16 ^b	0.019 ^c	12.6 ^b
Non-spraying						
آسکوربیک اسید	36.6 ^b	13.1 ^b	11.5 ^a	1.30 ^a	0.023 ^b	13.1 ^a
AsA						
کربنات کلسیم	39.7 ^a	14.7 ^a	12.5 ^a	1.26 ^a	0.027 ^a	13.3 ^a
CaCO ₃						

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.

Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

تعداد غلاف در بوته

گردد (Anjom Shoa et al., 2011). اثر محلول پاشی بر

تعداد غلاف در بوته گیاه گوار معنی‌دار گردید (جدول ۲). بدین صورت که محلول پاشی با کربنات کلسیم نسبت به شرایط محلول پاشی با اسید آسکوربیک و عدم محلول پاشی سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته شد. اما بین دو تیمار محلول پاشی با اسید آسکوربیک و عدم محلول پاشی، از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در شرایط محلول پاشی با کربنات کلسیم، تعداد غلاف در بوته به بیش از ۱۴/۵ عدد رسید. در حالی که در دو تیمار دیگر، تعداد غلاف در بوته کمتر از ۱۳/۲ عدد بود (جدول ۴). گزارش شده است که کاربرد کلسیم می‌تواند از طریق افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، سبب افزایش تعداد غلاف در بوته بادام زمینی گردد (Nobahar et al., 2020). از آنجایی که حبوبات، گیاهانی رشد نامحدود بوده و در این گیاهان، واحدهای زایشی در بخش‌های مختلف کانوپی شکل می‌گیرند (Arshadi, 2016)، لذا به نظر می‌رسد که تأثیر کلسیم در افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، می‌تواند نهایتاً منجر

اثر تنش خشکی بر تعداد غلاف در بوته گوار معنی‌دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به میزان ۱۴/۸ عدد غلاف در بوته مشاهده شد. در تیمارهای ۵۰ و ۳۰ درصد زراعی، تعداد غلاف در هر بوته به ترتیب ۱۲/۸ و ۱۲ عدد بود و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). به بیان دیگر، سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، به ترتیب با ۱۳/۵ و ۱۸/۹ درصد کاهش، بطور معنی‌داری تعداد غلاف در بوته کمتری از خود نشان دادند. چنین به نظر می‌رسد که عدم تأمین رطوبت کافی در طول دوره زایشی گوار می‌تواند سبب کاهش تعداد غلاف در بوته گردد. چرا که ثابت شده است که فراهمی رطوبت قابل دسترس، در توسعه کانوپی گیاه و افزایش دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی توسط کانوپی، نقش بسزایی داشته و کاهش آن می‌تواند باعث نقصان تعداد غلاف در بوته و یا حتی ریزش غلاف‌های تولیدی

به افزایش تعداد غلاف در بوته گردد.

تعداد دانه در غلاف

اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در غلاف گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی ملاحظه گردید و در این تیمار، تعداد دانه در غلاف بیش از ۴/۷ عدد بود. در دو تیمار دیگر، تعداد دانه حتی به ۴/۱ عدد در غلاف هم نرسید و بین آن‌ها اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۳). به بیان دیگر، سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، به ترتیب با ۱۵/۴ و ۱۹/۲ درصد کاهش، بطور معنی داری تعداد دانه در غلاف کمتری داشتند. به نظر می‌رسد که فراهمی رطوبت بیشتر در تیمار ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، در مرحله زایشی توانسته است در شکل‌گیری تعداد دانه بیشتر در غلاف‌ها مؤثر باشد. به عبارت دیگر، افزایش شدت تنش، با کاهش تعداد دانه در غلاف همراه بود. این نتایج با یافته‌های محققین دیگر در توافق است. در یک پژوهش نیز کاهش تعداد دانه در بوته بادام زمینی طی افزایش شدت تنش رطوبتی گزارش شده است (Shinde and Laware, 2010). همچنین در دو تحقیق دیگر، طی بررسی اثرات تنش خشکی بر ارقام نخود (Arshadi, 2016) و عدس (Vafaei, 2019)، کاهش تعداد دانه در غلاف طی افزایش شدت تنش خشکی مشاهده شده است. البته هر دوی این محققین اظهار داشتند که واکنش ارقام مختلف گیاهان مورد بررسی به تنش خشکی، متفاوت بود. بطوری که در تحقیق آن‌ها برخی ارقام از این نظر، حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشتند و با افزایش شدت تنش، تعداد دانه در غلاف آن‌ها با کاهش بیشتری مواجه شد.

طول غلاف

اثر تنش خشکی بر طول غلاف گوار معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که بیشترین طول غلاف در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی ملاحظه گردید و در این تیمار، طول غلاف به بیش از ۵/۸ سانتی‌متر رسید. در دو تیمار دیگر، طول غلاف کمتر از پنج سانتی‌متر بود و بین آن‌ها اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۳). به عبارت دیگر، سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، به ترتیب با ۱۵/۴ و

۱۹/۱ درصد کاهش، بطور معنی داری طول غلاف کمتری داشتند. به نظر می‌رسد که فراهمی رطوبت کافی در طول دوره زایشی گوار می‌تواند از طریق اثراتی هم‌چون کمک به جذب عناصر غذایی بیشتر، سبب افزایش طول غلاف آن گردد. در همین ارتباط، مشخص شده است که تنش رطوبتی بواسطه کاهش رشد گیاه باعث کاهش طول غلاف بادام زمینی شد و از این طریق سبب افت عملکرد دانه این گیاه گردید (Abdzad Gohari and Amiri, 2018). در تحقیقی دیگر، تنش خشکی بواسطه کاهش رشد طولی سلول‌ها در پیکره گیاه سبب کاهش ارتفاع بوته و طول غلاف در ارقام سویا شد (Mehraban et al., 2016).

پروتئین کل

اثر تنش خشکی بر روی میزان پروتئین کل گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که بیشترین میزان پروتئین کل در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و در این تیمار، میزان پروتئین کل به بیش از ۱۳ میلی گرم بر گرم تر برگ، رسید (جدول ۳). سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، به ترتیب ۱۱/۳ و ۳۴/۸ درصد، بطور معنی داری پروتئین کل کمتری داشتند. همچنین در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، نسبت به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد پروتئین کل بطور معنی داری و به میزان ۲۶/۵ درصد کاهش داشت (جدول ۳). کاهش پروتئین کل می‌تواند نشان از انجام مکانیسم مقاومت به خشکی در گیاه باشد. چرا که زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها با هدف افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود (Kafi et al., 2018). اثر محلول‌پاشی بر میزان پروتئین کل گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم سبب افزایش میزان پروتئین کل گردید؛ اما بین دو تیمار محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم از این نظر اختلاف معنی داری وجود نداشت و در این دو تیمار، میزان پروتئین کل به بیش از ۱۱/۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ رسید. درحالی که در تیمار عدم محلول‌پاشی، میزان پروتئین کل کمتر از ۹/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۴). مطالعات نشان داده‌اند که استعمال خارجی برخی ترکیبات آنتی‌اکسیدان مانند اسید آسکوربیک می‌تواند در

افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و تنش های ثانویه پس از آن، هم چون تنش اکسیداتیو مؤثر باشد (Alayafi, 2020). بیشترین میزان پروتئین کل در ارقام ذرت، در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی، در گیاهان محلول پاشی شده با کلسیم (کلسیم کلرید دی هیدرات) مشاهده شد (Abbas et al., 2021). این محققین بیان نمودند که پروتئین های متصل به کلسیم که به عنوان حسگرهای کلسیم عمل می کنند، سطوح کلسیم بالا را درک می کنند؛ این موضوع می تواند منجر به فعال شدن پروتئین کینازهای وابسته به کلسیم شده و سطح پروتئین را در گیاه افزایش دهد.

قند احیایی

اثر تنش خشکی بر روی میزان قند احیایی گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین میزان قند احیایی در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و در این تیمار، میزان قند احیایی به بیش از ۱/۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ، رسید (جدول ۳). سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، به ترتیب ۴/۴۴ و ۱۹/۲ درصد، بطور معنی داری قند احیایی کمتری داشتند. همچنین در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، نسبت به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد قند احیایی بطور معنی داری و به میزان ۱۵/۵ درصد کمتر بود (جدول ۳). افزایش قندهای احیایی، یک ساز و کار مقابله با خشکی در گیاه محسوب می شود. زیرا که قندهای احیایی از جمله اسمولیت هایی هستند که در داخل یاخته های گیاهی به عنوان تنظیم کننده پتانسیل اسمزی محیط داخل سلول ایفای نقش می کنند (Kafi et al., 2018). در گیاهانی که قندهای محلول در آن ها طی پاسخ به تنش خشکی تجمع پیدا می کنند، تنظیم اسمزی بهتر صورت گرفته و این موضوع می تواند در جذب آب، مفید واقع شود (Slama et al., 2007). هر چند که این استراتژی برای گیاه، مستلزم صرف هزینه خواهد بود. اثر محلول پاشی بر میزان قند احیایی گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم سبب افزایش میزان قند احیایی گردید؛ اما بین دو تیمار محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم از این نظر اختلاف معنی داری وجود نداشت و در این دو تیمار، میزان قند احیایی بیش از ۱/۲۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود. در

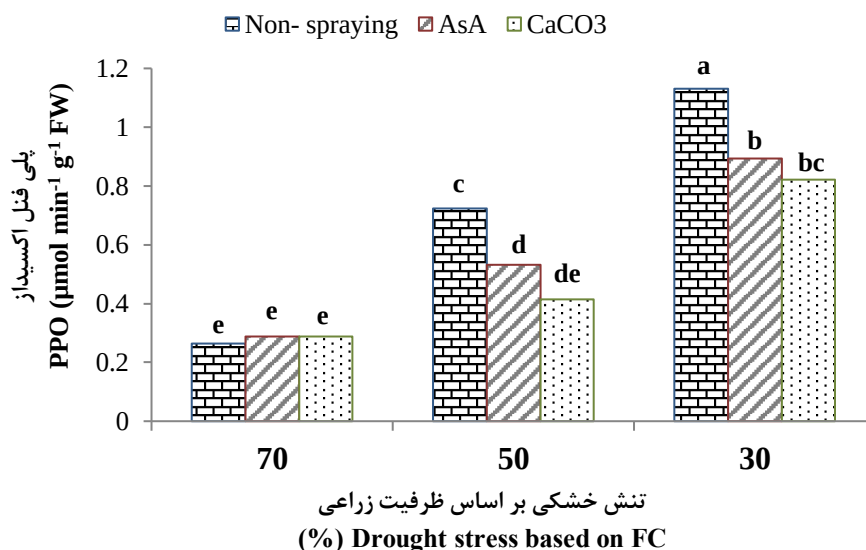
حالی که در تیمار عدم محلول پاشی، میزان قند احیایی کمتر از ۱/۱۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۴). به نظر می رسد که محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم در افزایش قندهای احیایی، مؤثر بوده و از آنجایی که افزایش قندهای احیایی در منفی تر شدن پتانسیل اسمزی سلول های برگ و جذب آب بهتر مؤثر است (Kafi et al., 2018)، لذا احتمالاً استعمال خارجی اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم در جذب آب بهتر برای گیاه گوار مؤثر باشد. مشخص شده است که کاربرد خارجی کربنات کلسیم تأثیر مثبتی بر مواد معدنی برگ (هم چون نیتروژن، فسفر، کلسیم و پتاسیم) و همچنین اسمولیت های آلی برگ (هم چون پرولین و قندهای محلول) داشته است (Hussain et al., 2015).

فعالیت PPO

اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی بر فعالیت آنزیم PPO گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). در تیمار ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، بین سطوح محلول پاشی اختلاف معنی داری وجود نداشت و در این سطح از تنش، میزان فعالیت PPO حتی به ۳/ میکرومول در دقیقه بر وزن تر برگ هم نرسید (شکل ۱). اما با افزایش شدت تنش خشکی از ۷۰ به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، فعالیت آنزیم PPO نیز بطور معنی دار و قابل توجهی افزایش یافت و بیشترین فعالیت آنزیم PPO در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول پاشی مشاهده شد (شکل ۱). در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد، با انجام محلول پاشی اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم، فعالیت PPO بطور معنی داری کاهش یافت. اما بین سطوح محلول پاشی اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۱). همچنین در ظرفیت زراعی ۳۰ درصد روند مشابهی در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد مشاهده شد. بطوری که با انجام محلول پاشی اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم، فعالیت PPO بطور معنی داری کاهش یافت. اما در این سطح از تنش نیز بین سطوح محلول پاشی اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۱). مطالعات نشان داده اند که با افزایش شدت تنش خشکی، فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه دچار اختلال شده و سطح گونه های فعال اکسیژن (ROS) در بافت های گیاهی افزایش می یابند. این امر، متقابلاً گیاه را وادار به ارتقای سطح ترکیبات

تحقیق حاضر، احتمالاً کاربرد اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش فعالیت آنزیم PPO می‌گردد. اعمال تنش شوری در گیاه جو، سبب افزایش فعالیت آنزیم PPO گردید؛ اما افزودن تیمار کلسیم به محیط شور، سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم PPO در برگ‌های جو شد (Jahani et al., 2013). همچنین با توجه به اینکه اسید آسکوربیک، از طریق انتشار در سیتوزول سلول‌های گیاه در زمان تنش، سبب کاهش ROSها می‌شود (Shafiq et al., 2014)، لذا به نظر می‌رسد که کاربرد آن می‌تواند بواسطه کاهش سطح ROSها، در تعدیل فعالیت آنزیم PPO مؤثر باشد.

آنتی‌اکسیدان‌تی در بافت‌های خود می‌کند تا ROSها را مورد پاکسازی قرار دهد (Kapoor et al., 2020). افزایش فعالیت ترکیبات آنتی‌اکسیدان‌تی، یک مکانیسم دفاعی برای حفظ فرایندهای سلولی و ممانعت از بروز اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه به شمار می‌رود (Kafi et al., 2018). هرچند افزایش فعالیت پلی فنل اکسیداز، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان در کنترل ROSها مؤثر است (Arzani et al., 2010)، اما تداوم فعالیت آن، می‌تواند از طریق افزایش تنفس گیاهی، در کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی تأثیرگذار باشد (Jahani et al., 2013). لذا بهتر است تا از افزایش بیش از حد فعالیت آن ممانعت شود. بر اساس یافته‌های



شکل ۱- مقایسات میانگین اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر روی پلی فنل اکسیداز گیاه گوار
Figure 1- Mean comparisons of spraying effect on studied traits in *Cyamopsis tetragonoloba*
میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD با یکدیگر ندارند.
Means that have a same letter, have not significantly different together at 5% based on LSD test.

معنی‌داری وزن خشک برگ کمتری داشتند. همچنین در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد، نسبت به ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، وزن خشک برگ، بطور معنی‌داری و به میزان ۲۷/۳ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که تنش خشکی بواسطه کاهش محتوی آب سلول‌ها و همچنین صرف بخشی از انرژی گیاه برای راه‌اندازی مکانیسم‌های مقابله با تنش خشکی، سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه شده (Chimenti et al., 2006) و این موضوع به دنبال خود، کاهش تولید ماده خشک و

وزن خشک برگ

اثر تنش خشکی بر روی وزن خشک برگ گیاه گوار معنی‌دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین وزن خشک برگ در تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و در این تیمار، وزن خشک برگ به بیش از ۰/۰۳ گرم بر بوته، رسید. در دو تیمار دیگر، وزن خشک برگ کمتر از ۰/۰۲۳ گرم بر بوته، بود (جدول ۳). سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۳۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، به ترتیب ۲۹/۰ و ۴۸/۴ درصد، بطور

اندام هوایی را به دنبال خواهد داشت (Arshadi, 2016). البته برخی محققین، کاهش وزن خشک ریشه را طی افزایش شدت تنش خشکی گزارش کردند. به عنوان مثال، اثر تنش خشکی بر خصوصیات ریشه گیاه دارویی زوفا یک کاهش ۵۶ درصدی در وزن خشک ریشه را تحت اعمال تنش خشکی شدید به همراه داشت (Rosam et al., 2012).

طول ریشه

اثر تنش خشکی بر روی طول ریشه گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین طول ریشه در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و در این تیمار، طول ریشه به بیش از ۱۵ سانتی متر، رسید (جدول ۳). سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، به ترتیب ۹/۸۷ و ۳۲/۹ درصد، بطور معنی داری طول ریشه کمتری داشتند. همچنین در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، نسبت به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد طول ریشه بطور معنی داری و به میزان ۲۵/۵ درصد کمتر بود (جدول ۳). مطالعات نشان داده اند که با افزایش شدت تنش، گیاه با تغییر فرم توزیع ریشه ها و با توسعه ریشه های خود به سمت عمق خاک، در جهت افزایش دسترسی خود به رطوبت حرکت می کند (Kafi et al., 2018). در بررسی خصوصیات ریشه سه گونه گراس فستوکای تجاری، لولیوم و تال فسکیو در شرایط تنش خشکی مشخص شد که توده بومی تال فسکیو، از طریق افزایش طول ریشه های خود و فراهمی رطوبت قابل دسترسی، در استفاده از مکانیسم اجتناب از خشکی جهت مقابله با آن موفق تر بوده است (Selahvarzi et al., 2008). این پژوهشگران اظهار داشتند که توده بومی تال فسکیو، در شرایط آبیاری کامل و بدون تنش، کمترین میزان مجموع طول ریشه ها را دارا بود؛ اما طی اعمال یک دوره تنش خشکی ۱۵ روزه، با ۷۰/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد، بالاترین مجموع طول ریشه را به خود اختصاص داد. اثر محلول پاشی بر طول ریشه گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بطوری که محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم سبب افزایش میزان طول ریشه گردید؛ اما بین دو تیمار محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم از این نظر اختلاف معنی داری وجود نداشت و در این دو تیمار، طول ریشه بیش از ۱۳ سانتی متر بود. در حالی که در تیمار عدم محلول پاشی، میزان طول ریشه کمتر از ۱۲/۷

نهائماً کاهش وزن خشک برگ را به همراه داشته است. اثر محلول پاشی بر وزن خشک برگ گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین صورت که محلول پاشی با اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم نسبت به شرایط عدم محلول پاشی سبب افزایش وزن خشک برگ گردید؛ البته محلول پاشی با اسید آسکوربیک نیز نسبت به کربنات کلسیم از برتری معنی دار و ۱۴/۸ درصدی برخوردار بود (جدول ۴). با توجه به اینکه وزن خشک برگ، معیاری از وزن خشک اندام فتوسنتز کننده است، به نظر می رسد که افزایش وزن آن، می تواند در افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه تأثیر بسزایی داشته باشد. بطور کلی عمل محلول پاشی، بواسطه تأثیر بر جذب سریع عناصر توسط گیاه و افزایش توان فتوسنتزی برگ ها می تواند سبب افزایش بیوماس گیاه گردد (AL-Jobori and AL-Hadithy, 2014). در تحقیق حاضر، این پدیده در محلول پاشی اسید آسکوربیک و کربنات کلسیم بر روی برگ های گیاه گوار، کاملاً مشهود بود. مشخص شده است که کلسیم ضمن تقویت استحکام دیواره های سلولی، با تأثیر بر انباشته شدن اسمولیت های سازگار در سلول، باعث منفی تر شدن پتانسیل اسمزی سلول شده و بدین طریق در کنترل اثرات مخرب تنش خشکی مؤثر است (Souguir and Hannachi, 2017).

وزن خشک ریشه

اثر تنش خشکی بر روی وزن خشک ریشه گیاه گوار معنی دار شد (جدول ۲). بدین ترتیب که بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد و در این تیمار، وزن خشک ریشه به ۰/۰۳۹ گرم بر بوته، رسید. در دو تیمار دیگر، وزن خشک برگ کمتر از ۰/۰۳۶ گرم بر بوته، بود (جدول ۳). سطوح ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۰ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۳۰ درصد، به ترتیب ۱۰/۲ و ۳۳/۳ درصد، بطور معنی داری وزن خشک ریشه کمتری داشتند. همچنین در ظرفیت زراعی ۷۰ درصد، نسبت به ظرفیت زراعی ۵۰ درصد، وزن خشک ریشه، بطور معنی داری و به میزان ۲۵/۷ درصد کمتر بود (جدول ۳). چنین به نظر می رسد که با افزایش شدت تنش، گیاه تلاش کرده است تا با توسعه ریشه های خود، دسترسی خود را به رطوبت افزایش دهد. هرچند که اختصاص ماده خشک بیشتر به ریشه ها، کاهش محسوس وزن خشک

سانتی‌متر بود (جدول ۴). در همین راستا، افزودن تیمار کلسیم تحت اعمال تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار وزن ریشه‌های جو شد که خود توسعه ریشه‌های این گیاه را به همراه داشت (Jahani et al., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، با اعمال سطوح تنش خشکی ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، نسبت به تیمار ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن خشک برگ و پروتئین کل روندی کاهشی داشتند و صفات قند احیایی، فعالیت آنزیم PPO و طول و وزن خشک ریشه روندی افزایشی نشان دادند. همچنین محلول‌پاشی کلسیم، نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک، صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و وزن خشک برگ را بطور معنی‌داری افزایش داد. علاوه بر این، محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک و کلسیم، نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی، میزان پروتئین کل، قند احیایی و طول ریشه را

بطور معنی‌داری افزایش و فعالیت آنزیم PPO را بطور معنی‌داری کاهش داد. داده‌های حاصل از این پژوهش، نشان می‌دهند که فراهمی رطوبت در حد مقادیر کمتر از ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، باعث شکل‌گیری مکانیسم‌های مقابله با تنش خشکی در گیاه گوار شده و این مکانیسم‌ها بخش قابل توجهی از انرژی و ماده خشک تولیدی را به خود مشغول می‌کنند. هرچند که محلول‌پاشی با اسید آسکوربیک و کلسیم، در تعدیل اثرات تنش خشکی بر روی این گیاه تأثیرگذار می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان جهت حمایت مالی از این پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

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

References

- Abbas, M., Abdel-Lattif, H. and Shahba, M., 2021. Ameliorative Effects of Calcium Sprays on Yield and Grain Nutritional Composition of Maize (*Zea mays* L.) Cultivars under Drought Stress. *Agriculture*, 11, pp.285. doi: 10.3390/agriculture11040285
- Abdzaad Gohari, A. and Amiri, E., 2018. Evaluations of production function and water productivity of peanut plant (*Guil* cv.) under irrigation conditions and nitrogen fertilizer. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sciences)*, 32(1), pp.55-66. [In Persian]. doi: 10.22092/jwra.2018.116600
- Abogadallah, G.M., 2010. Anti-oxidative defense under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, 5(4), pp.369-374. doi: 10.4161/psb.5.4.10873
- Akram, N.A., Shafiq, F. and Ashraf, M., 2017. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Front Plant Sciences*, 8, pp.613. doi: 10.3389/fpls.2017.00613
- Alayafi, A.A.M., 2020. Exogenous ascorbic acid induces systemic heat stress tolerance in tomato seedlings: transcriptional regulation mechanism. *Environmental Science & Pollution Research*, 27, pp.19186-19199. doi: 10.1007/s11356-019-06195-7
- AL-Jobori, K.M.M. and AL-Hadithy, S.A., 2014. Response of potato (*Solanum Tuberosum*) to foliar application of iron, manganese, copper and zinc. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7, pp.358-363. doi: 10.9790/2380-0904018791
- Ali, S., Hayat, K., Iqbal, A. and Xie, L., 2020. Implications of abscisic acid in the drought stress tolerance of plants.

- Agronomy*, 10, pp.1323. **doi: 10.3390/agronomy10091323**
- Anjom Shoa, S., Moeinrad, H. and Ebrahimi, H., 2011. The effects of different irrigation levels on grain yield and yield components of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad climatic condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 2(2), pp.69-82. [In Persian]. **doi: 10.22067/IJPR.V2I2.19043**
- Arshadi, M.J., 2016. Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza in response to drought stress. Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Arzani, K., Khoshghalb, H., Malakouti, M.J. and Barzegar, M., 2010. Effect of Ca, Zn and B applications and harvest time on fruits polyphenol oxidase (PPO) activity in two Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) cultivars during storage. *Journal of Crops Improvement*, 12(2), pp.1-9. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.83372008.1389.12.2.1.0**
- Ashouri, M., Khoshouei, Z., Doroudian, H.R., Amiri, E. and Mohammadian Rowshan, N., 2022. Effect of irrigation management, municipal waste compost and nitrogen fertilizer on seed yield and some morpho-physiological traits of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 3(2), pp.339-357. [In Persian]. **doi: 10.22034/CSRAR.2021.296728.1109**
- Chimenti, C.A., Marcantonio, M. and Hall, A.J., 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research*, 95, pp.305-315. **doi: 10.1016/j.fcr.2005.04.003**
- Darvishan, M., Tohidi-Moghadam, H.R. and Zahedi, H., 2013. The effect of foliar application of ascorbic acid (vitamin C) on physiological and biochemical changes of corn (*Zea mays* L.) under irrigation withholding in different growth stages. *Maydica*, 58, pp.195-200.
- Ezati, N., Maleki, A. and Fathi, A., 2019. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 14(56), pp.94-109. [In Persian].
- Fanaei, H.R., Alavi, M.G., Kafi, M. and Ghanbari Bonjar, A., 2009. Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. *Journal of Plant Production*, 3(2), pp.41-54. **doi: 10.22069/IJPP.2012.640**
- Fathi, A., Maleki, A. and Naseri, R., 2022. A review of the effects of drought stress on plants and some effective strategies in crop management. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, Published online. [In Persian]. **doi: 10.30495/iper.2022.1944163.1744**
- Gill, S.S. and Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology & Biochemistry*, 48, pp.909-930. **doi: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016**
- Grenzi, M., Resentini, F., Vanneste, S., Zottini, M., Bassi, A. and Costa, A., 2021. Illuminating the hidden world of calcium ions in plants with a universe of indicators. *Plant Physiology*, 187(2), pp.550-571. **doi: 10.1093/plphys/kiab339**
- Grover, K., Singla, S., Angadi, S., Begna, S., Schutte, B. and Leeuwen, D., 2016. Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid southern high plains.

- American Journal of Plant Sciences*, 7, pp.1246-1258. doi: **10.4236/ajps.2016.78120**
- Gul, A., Salam, A., Afridi, M.S., Bangash, N.K., Ali, F., Ali, M.Y., Khan, S. and Mubeeen, R., 2019. Effect of urea, bio-fertilizers and their interaction on the growth, yield and yield attributes of *Cyamopsis Tetragonoloba*. *Indian Journal of Agricultural Research*, 53(4), pp.423-428. doi: **10.18805/IJARE.A-395**
- Halit, Y., Mehmet, E., Caliskan Soner, S. and Musa, S., 2006. Some physiological and growth responses of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai) grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. *Environmental & Experimental Botany*, 58, pp.1-8. doi: **10.1016/j.envexpbot.2005.06.010**
- Hema, Y. and Shalendra, A., 2014. An Analysis of Performance of Guar Crop in India, Guar Cultivation Practices pp.17-31 Prepared by CCS National Institute of Agricultural Marketing and Jaipur for United States Department of Agriculture (USDA), New Delhi.
- Hossieni Nezhad, N., 2021. Effect of different levels of drought, ascorbic acid and calcium on some morpho-physiological and biochemical traits of *Cyamopsis tetragonoloba*. Msc. theses, Department of Biology, University of Sistan and Baluchestan. [In Persian].
- Hussain, S., Saleem, M.F., Iqbal, J., Ibrahim, M., Ahmad, M., Nadeem, S.M., Ali, A. and Atta, S., 2015. Absciscic acid mediated biochemical changes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown under drought and well-watered field conditions. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25, pp.406-416.
- Ibrahim, S., Sabudin, S., Sahid, S., Marzuke, M.A., Hussin, Z.H., Kader Bashah, N.S. and Jamuna-Thevi, K., 2016. Bioactivity studies and adhesion of human osteoblast (hFOB) on silicon-biphasic calcium phosphate material. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(1), pp.56-63. doi: **10.1016/j.sjbs.2015.10.024**
- Jahani, S., Lahuti, M. and Jahani, M., 2013. Investigating the interaction effect Na^{2+} - Ca^{2+} on biomass and activity of peroxidase and polyphenol oxidase enzymes in barley leaves. *Crops Physiology*, 5(20), pp.15-26. [In Persian].
- Kafi, M., Borzuie, A., Salehi, M., Kamandi, M., Masumi, A. and Nabati, J., 2018. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jihad Daneshgahi Publications of Mashhad, pp.502. [In Persian].
- Kayad Nezami, R., Baluchi, H.R. and Yadavi, A., 2012. Effect of foliar application of salicylic acid on yield and yield components and some physiological traits of lentil (*Lens culinaris* Medik) cultivars under salinity stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 3(2), pp.97-110. [In Persian]. doi: **10.22067/IJPR.V139112.24708**
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A., 2020. The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. *Applied Science*, 10, pp.5692. doi: **10.3390/app10165692**
- Markwell, M.A.K., Haas, S.M., Tolbert, N.E. and Bieber, L.L., 1981. Protein determination in membrane and lipoprotein samples: Manual and automated procedures. *Methods in Enzymology*, 72, pp.296-303. doi: **10.1016/s0076-6879(81)72018-4**
- Mehraban, A., Aziziyan Sharmeh, A. and Kamali Delju, A., 2016. Investigation of drought stress on yield and quality of eight soybean cultivars in Sistan region. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 11(43), pp.90-99. [In Persian].

- Miller, G.L., 1959. Use of Dinitro Salicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *American Chemical Society*, 31(3), pp.426-428. **doi: 10.1021/ac60147a030**
- Nobahar, A., Mostafavi Rad, M., Zakerin, H.R., Seyf Zadeh, S. and Vold Abadi, A.R., 2020. Growth characteristics and seed yield of peanut (*Arachis hypogea* L.) as affected by topping height and application methods of zinc and calcium nano chelates. *Seed & Plant Production Journal*, 35(2), pp.183-203. [In Persian]. **doi: 10.22092/SPPJ.2020.122370.1041**
- Pathak, R. and Roy, M.M., 2015. Climatic responses, environmental indices and interrelationships between qualitative and quantitative traits in Cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub.) under arid conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1), pp.147-154. **doi: 10.1007/s40011-013-0269-4**
- Reymond, J., Pakariyathan, N. and Azanza, J., 1993. Purification and some properties of polyphenol oxidase from sunflower seeds. *Phytochemistry*, 34(4), pp.927-931. **doi: 10.1016/S0031-9422(00)90689-7**
- Rosam, GH., Khoshnoud Yazdi, A., Dadkhah, A.R. and Rostami, M., 2012. The effect of drought stress on root and shoot characteristics of the Medicinal plant of hyssop. National Conference of Natural Products and Medicinal Plants, October 2011. [In Persian].
- Selahvarzi, Y., Tehranifar, A., Gazanchian, A. and Arooei, H., 2008. Drought resistance mechanisms of native and commercial turf grasses under drought stress: I. Root responses. *Journal of Horticultural Sciences*, 22(2), pp. 1-11. [In Persian]. **doi: 10.22067/JHORTS4.V1387I2.1080**
- Shafiq, S., Akram, N.A., Ashraf, M. and Arshad, A., 2014. Synergistic effects of drought and ascorbic acid on growth, mineral nutrients and oxidative defense system in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, pp.1539-1553. **doi: 10.1007/s11738-014-1530-z**
- Shinde, B.M. and Laware, L. 2010. Effect of drought stress on agronomic contributing characters in Groundnut (*Arachis Hypogae* L.). *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 1, pp.968-971. [In Persian].
- Singh, S.K., 2014. An analysis of guar crop in India. 2014. Report prepared by NIAM, Jaipur for United States Department of Agriculture (USDA), New Delhi.
- Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savouré, A. and Abdelly, C., 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental & Experimental Botany*, 61, pp.10-17. **doi: 10.1016/j.envexpbot.2007.02.004**
- Souguir, M. and Hannachi, C., 2017. Response of sesame seedlings to different concentrations of humic acids or calcium nitrate at germination and early growth. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 169, pp.65-77. **doi: 10.1515/cerce-2017-0005**
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. Plant Physiology. Sinauer Associates. Inc. Publishers.
- Vafaei, M.H., 2019. Screening of lentil (*Lens culinaris* Medik) genotypes for drought tolerance and evaluation of some morpho-physiological traits associated with drought stress tolerance under controlled and field conditions. Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Vaziri, Z., Moussavi Nik, SM., Ghanbari, A. and Asoodar MA., 2017. Effect of seed position on native rootstock

- on yield and yield components in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 1(2), pp.234-248. **doi: 20.1001.1.2423611.1396.1.2.9.8** [In Persian].
- Ziaei, M. Khazaei. H.R and Nezami. A., 2017. Investigation the effect of different levels of irrigation on morphological and biochemical traits in five genotypes of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Crop Physiology Journal*, 9 (34), pp.5-21. [In Persian].

The effect of foliar application of ascorbic acid and calcium on the morpho-physiological characteristics of guar under drought stress conditions

Nezamuddin Hossieni Nejad¹, Seyed Masoud Ziaei², Alireza Einali^{1*}

¹ Department of Biology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

² Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

*Corresponding Author: aeinali@science.usb.ac.ir

Received: 1 November 2022

Accepted: 2 February 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.368010.1286

Abstract

Introduction: Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) is an annual plant from the legume family and tolerant to salinity and drought, which can be used as an alternative product in low water plains. Ascorbic acid is one of the antioxidants involved in the defense mechanisms of plants against various stresses, including drought, which plays a role in ROS detoxification. Calcium is also an essential element for plant growth, which, despite being immobile, has many electrochemical, structural and catalytic functions in plants. It has been reported that calcium ions can increase drought tolerance in plants by participating in the drought signal transduction process and stimulating abscisic acid synthesis. Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the effect of foliar spraying of ascorbic acid and calcium on some morpho-physiological traits of guar under drought stress conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the morpho-physiological responses of guar to foliar application of ascorbic acid and calcium under drought stress conditions, a factorial experiment was conducted with two factors in the form of a randomized complete block design with three replications in the research greenhouse of Saravan Higher Education Complex in 2020. The experimental treatments included three levels of drought stress (70, 50 and 30% of field capacity) and three levels of foliar application (no foliar application, foliar application with calcium carbonate and ascorbic acid with a concentration of 3‰).

Results and Discussion: The results showed that in 50 and 30% of the field capacity, compared to the treatment of 70% of the field capacity, plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, pod length, leaf dry weight and total protein showed a decreasing trend, but traits of reducing sugar, Polyphenol oxidase (PPO) enzyme activity and root length showed an increasing trend. The increase of reducing sugars is considered a mechanism to deal with drought in plants because reducing sugars are osmolytes that play a role in plant cells as regulators of the osmotic potential of the intracellular environment. Similarly, the increase in PPO activity during drought stress is justified by the increase in radical oxygen species generated during this stress, because the increase in the activity of antioxidant compounds as a defense mechanism is essential to maintain cellular processes and prevent the damaging effects of free radicals on plant physiological processes. Foliar application with ascorbic acid did not significantly change plant height and number of pods per plant compared to non-sprayed plants but increased leaf dry weight, total protein, reducing sugar and root length by 22%, 11%, and 21%, respectively. While, calcium foliar application significantly increased plant height, number of pods per plant and leaf dry weight by 16%, 24%, and 42%, respectively compared to non-foliar application and 8.5%, 12%, and 17.5% compared to foliar application with ascorbic acid, but total protein, reducing sugar, root length and dry weight of root remained statistically unchanged in calcium spraying respect to foliar application with ascorbic acid. However, both ascorbic acid and calcium application than no-foliar application showed a significant increase in the amount of total protein, reducing sugar, root length and dry weight of root and a decrease in PPO enzyme activity. The decrease in PPO activity can be considered as a result of reducing the harmful effects of drought stress caused by the application of calcium and ascorbic acid.

Conclusion: In general, it seems that the availability of moisture in less than 70% of the field capacity has caused the formation of mechanisms to deal with drought stress in the guar, but foliar application with ascorbic acid and calcium can somewhat to be effective in modulating the effects of drought stress on this plant.

Keywords: Dry weight of root, Field capacity, Polyphenol oxidase, Reducing sugar, Total protein

شناسایی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) متحمل به تنش خشکی بر اساس

شاخص‌های گزینشی

شاهین قویدل^۱، علیرضا پورابوقداره^{۲*}، خداداد مصطفوی^۱

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: a.poraboghadareh@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.371176.1294

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده شناخته شده است و به‌طور چشمگیری میزان تولید محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد. در بین غلات، جو متحمل‌ترین گیاه نسبت به تنش‌های غیرزنده شناخته شده است و در گستره وسیعی از شرایط آب و هوایی کشت می‌شود. به‌منظور ارزیابی پاسخ به تنش خشکی آخر فصل در جو و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، مجموعه‌ای متشکل از ۱۷ ژنوتیپ امیدبخش جو به همراه رقم جلگه (به‌عنوان شاهد) در دو آزمایش جداگانه به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقات غلات واقع در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه نشان داد، بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های پربازده و متحمل برخی از شاخص‌های حساسیت و تحمل به خشکی محاسبه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد شاخص‌های STI، MP، GMP و HM می‌توانند به‌عنوان معیارهای مناسبی جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل مورد استفاده قرار گیرند. علاوه‌براین، با توجه به نتایج به‌دست آمده از غربال ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده با استفاده از شاخص‌های گزینشی MGIDI، FAI-BLUP و Smith-Hazel مشخص شد ژنوتیپ شماره ۱۳ با شجره "Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2" علاوه بر داشتن بیشترین عملکرد دانه می‌تواند به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی جهت ارزیابی‌های بیشتر معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص MGIDI، ضریب همبستگی، عملکرد دانه، مدل‌های چند متغیره

مقدمه

زراعی بوده که خود بیانگر اهمیت آن به‌عنوان یک گیاه استراتژیک به‌ویژه جهت تولید علوفه و خوراک دام است. از این‌رو اهمیت به بهبود ارقام جهت کشت در مناطق مختلف در کنار افزایش سطح زیر کشت می‌تواند نقش مهمی در افزایش راندمان تولید دانه و علوفه کشور داشته باشد.

در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی به‌طور چشمگیری موجب افزایش شدت تنش‌های محیطی و به دنبال آن کاهش محصولات زراعی شده است. تنش خشکی یا کم‌آبی در حال حاضر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش غیر زیستی نقش مهمی در کاهش محصولات زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران دارد (Khalili et al., 2012). از این‌رو آگاهی از پاسخ گیاهان به تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و اصول ابتدایی مقاومت به تنش در گیاهان زراعی را ایجاد می‌کند (Reddy et al., 2004; Zho et al., 2008; Khalili et al. 2012).

پس از گندم، ذرت و برنج، جو از نظر تولید و سطح زیر کشت در رتبه دوم و چهارم ایران و دنیا قرار دارد (Fatemi et al., 2022). از نظر ارزش غذایی، دانه جو حاوی مقادیر قابل توجهی فسفر، کلسیم و تا حدودی انواعی از ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین B می‌باشد (Singh et al., 2021). علاوه‌براین، به دلیل میزان بالای کربوهیدرات‌ها، دانه این گیاه زراعی برای تهیه سوپ، نان و سایر محصولات خوراکی و همچنین تهیه مالت برای صنایع تولیدی نوشیدنی‌های غیرالکلی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه زراعی علاوه بر تأمین نیاز غذایی انسان در تأمین خوراک دام و طیور نیز نقش مهمی ایفا می‌کند (Vaezi et al., 2019; Fatemi et al., 2022). بر اساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی (FAO) از نظر سطح زیر کشت ایران جز ۱۰ کشور نخست در زمینه کاشت این گیاه

به خشکی عبارت است از قابلیت یک گیاه زراعی برای تولید محصول اقتصادی با حداقل افت در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش (Mitra, 2001). با توجه به این تعریف داشتن عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و بدون تنش می‌تواند نقطه شروعی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط پیش‌بینی نشده در کشت در شرایط کم آبی و یا دیم باشد (Mohammadi et al., 2010). بنابراین شناسایی ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و در عین حال برخوردار از عملکرد قابل قبول برای کشت در مناطق کم باران و خشک به عنوان یکی از اصلی‌ترین اولویت‌های برنامه‌های به‌نژادی محسوب می‌شود.

یکی از مرسوم‌ترین روش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها از نظر میزان تحمل به خشکی، محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت مبتنی بر عملکرد دلنه می‌باشد. این شاخص‌ها عملکرد گیاه در دو محیط بدون تنش و تنش را در بر می‌گیرند و استفاده از آن‌ها در معرفی ارقامی که در شرایط مطلوب کشت می‌شوند ولی احتمال بروز تنش خشکی در محیط کشت آن‌ها وجود دارد مفید تشخیص داده شده است (Fernandez, 1992). بر اساس عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش خشکی، ژنوتیپ‌ها می‌توانند در چهار گروه تقسیم شوند: گروه (A) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در هر دو محیط تنش و بدون تنش خشکی دارند، گروه (B) ژنوتیپ‌هایی که تنها در شرایط بدون تنش عملکرد بالایی دارند، گروه (C) ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالایی در محیط تنش از خود نشان می‌دهند، و گروه (D) ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی دارای عملکرد ضعیفی هستند (Fernandez, 1992). بر این اساس مناسب‌ترین معیار گزینش برای تحمل به تنش خشکی، شاخصی است که قادر به تشخیص ژنوتیپ‌های موجود در گروه A از سایر گروه‌ها باشد (Fernandez, 1992). در مطالعه‌ای (Saba et al., 2001) که به منظور ارزیابی پارامترهای ژنتیکی شاخص‌های تحمل به تنش انجام گرفت مشخص شد که شاخص تحمل به تنش (STI^1) وراثت‌پذیری متوسطی داشته و معمولاً قادر است ژنوتیپ‌های پر محصول را در هر دو محیط شناسایی نماید. از طرف دیگر با

توجه به اینکه سایر شاخص‌ها قادر به ارائه وراثت قابل اغماضی بودند به‌طور مطلوبی نتوانستند ژنوتیپ‌های پر محصول و مقاوم به خشکی را شناسایی کنند. در یک بررسی انجام شده (Akcura et al., 2011) نیز مشخص شد شاخص‌های میانگین بهره‌وری هندسی (MP^2) و STI می‌توانند به‌عنوان بهترین شاخص‌ها در آزمایش‌های چند سال و مکان برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گندم به کار گرفته شوند. در یک مطالعه انجام شده بر روی مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های گندم دوروم مشخص شد مؤثرترین روش برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب بر مبنای مقادیر بالای GMP^3 و مقادیر کم SSI^4 می‌باشد (Etminan et al., 2019). در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی پاسخ به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های جو صورت گرفت، مشاهده شد عملکرد دانه در دو شرایط تنش و فاقد تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های GMP و STI دارند و از این طریق به‌خوبی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های موجود در گروه A فریلندز بودند (Khalili et al., 2014).

انتخاب بر اساس هر یک از شاخص‌های گزینشی غالباً نتایج متفاوتی ارائه خواهد داد. بنابراین استفاده از روش‌های آماری گوناگون جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها و شناسایی مواد ژنتیکی متحمل و حساس یکی از مرسوم‌ترین استراتژی‌های به‌کار گرفته‌شده توسط محققان می‌باشد. در این راستا می‌توان به استفاده از تجزیه‌های چندمتغیره هم‌چون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تجزیه رگرسیون شاخص‌ها، تجزیه به عاملی، تجزیه خوشه‌ای و غیره اشاره نمود. در سال‌های اخیر مدل‌های گزینشی جدیدی بر پایه انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از عملکرد دانه و سایر صفات از طریق برخی از روش‌های چند متغیره معرفی شده‌اند. از مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان شاخص پایداری چند صفتی ($MTSI^5$) (Olivoto et al., 2019)، شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ چند صفتی ($MGIDI^6$) (Olivoto and Nardino 2020) و شاخص تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ از طریق بهترین پیش‌بینی خطی نارایب

⁴ Stress susceptibility index

⁵ Multi-trait stability index

⁶ Multi-trait genotype-ideotype distance index

¹ Stress tolerance index

² Mean productivity

³ Geometric mean productivity

(^۱FAI-BLUP) (Rocha *et al.*, 2018) نام برد. در واقع، یکی از مهم‌ترین مدل‌های آماری نو ظهور و مؤثر در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر مجموعه صفات و یا پارامترهای ارزیابی‌شده در گیاهان شاخص MGIDI می‌باشد. این شاخص بر اساس تجزیه به عامل‌ها عمل نموده و پس از شناسایی صفات یا پارامترهای مؤثر در توجیه تغییرات ژنوتیپی بهترین ژنوتیپ را گزینش خواهد نمود. پیش از این سودمندی استفاده از این شاخص آماری در شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی و همچنین نمونه‌های گیاهی ایده‌آل از نظر مجموعه‌ای از صفات زراعی و فیزیولوژیکی توسط برخی از محققان گزارش شده است (Pour-Aboughadareh and Pocza, 2021a and b; Benakanahalli *et al.*, 2021; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021; Jadidi *et al.*, 2022). در این راستا این تحقیق با هدف ارزیابی مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های امیدبخش جو از نظر

عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و همچنین کارایی استفاده از شاخص MGIDI در مطالعات مرتبط با تنش خشکی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد ارزیابی در این آزمایش شامل ۱۷ لاین امیدبخش جو به همراه رقم جلگه به‌عنوان شاهد بود. لاین‌های بررسی‌شده حاصل گزینش آزمایش‌های مقایسه عملکرد یکنواخت مناطق سرد کشور بودند. در جدول ۱ شجره لاین‌های مذکور به همراه ارقام شاهد درج شده است. آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقاتی بخش تحقیقات غلات واقع در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اجرا شد.

جدول ۱- لیست ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده جو

Table 1- List of the investigated barley genotypes

نمابه	شجره
Code	Pedigree
G1	Jolge (Check 1)
G2	Bahman/3/MAKOUUE//ZARJOW/80-5151
G3	ALGER/(CI10117/CHOYO../3/Makouue/4/STB-12
G4	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
G5	ZARJOW/80-5151//Makouue*2
G6	MAKOUUE/3/ZARJOW/80-5151//Bahman
G7	Radical/Birgit//Pamir-154/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G8	CALI92/ROBUST//ND16301
G9	Radical/Birgit//Pamir-154/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G10	Yousef/4 /82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29
G11	Courlis/Rhn-03//Karoon
G12	Bereke-54/3/Rhn-03//L.527/NK1272
G13	Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2
G14	Pamir-147/Sonata/8/Alpha/Durra/7/P101/5/3896/...
G15	Courlis/Rhn-03//Karoon
G16	(D-16)Bda/Rhn-03//ICB-107766/3/Yousef
G17	Sonata/8/Api/CM67//Hma-03/4/Cq/Cm//Apm/3/...
G18	Nadawa/Rhn-03//Birka

قبل از کاشت بذور عملیات تهیه زمین بر اساس دستورالعمل کارشناسان مزرعه صورت گرفت. بعد از شخم و

تسطیح نمودن زمین جهت تقویت خاک کودهای فسفات آمونیوم، اوره و پتاس به ترتیب به میزان ۲۰۰، ۱۰۰ و ۵۰

¹ Factor analysis and ideotype design via best linear unbiased prediction

کیلوگرم در هکتار استفاده شد. بذور هر یک از لاین‌های مورد بررسی با استفاده از دستگاه بذرکار مدل Wintersteiger و با تراکم ۴۵۰ دانه در متر مربع کشت شدند. در طول فصل رشد و توسعه گیاه، جهت کنترل علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ به ترتیب از پوماسوپر (Puma super) و گرانستار (Granstar) استفاده شد. کلیه لاین‌ها به همراه رقم شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به صورت جداگانه در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی کشت شدند. روش اعمال تنش خشکی به صورت قطع آبیاری صورت گرفت. اولین آبیاری پس از کاشت اعمال شد، سپس به فاصله زمانی ۱۰ روز یکبار آبیاری به صورت مرتب انجام و تا زمان مورد نظر برای اعمال تنش خشکی ادامه یافت. در شرایط تنش خشکی، قطع آبیاری در ۵۰ درصد سنبله‌دهی اعمال شد (Dehghani et al., 2020). با این حال، آبیاری در آزمایش مربوط به شرایط عدم تنش به صورت مرتب و با فاصله زمانی در نظر گرفته شده اعمال شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و پس از حذف اثرات حاشیه کل کرت آزمایشی (شش متر مربع) با استفاده از کمابین آزمایشی مدل Wintersteiger برداشت و عملکرد دانه برحسب

کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد.

پس از حصول داده‌های مربوط به عملکرد دانه هر یک از ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی، تجزیه واریانس مرکب انجام گرفت. برای مقایسه لاین‌ها و ارقام شاهد از نظر عملکرد دانه از آزمون LSD استفاده شد. جهت شناسایی لاین‌های مربوط به گروه A فرناندز برخی از شاخص‌های تحمل و حساسیت به شرح جدول ۲ با استفاده از نرم‌افزار برخط iPASTIC محاسبه شد (Pour-Aboughadareh et al., 2019). پس از محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از شاخص‌های MGIDI, Smith-Hazel و شاخص تحلیل عاملی و طراحی ایدئوتیپ از طریق مدل بهترین پیش‌بینی‌های خطی ناریب (FAI-BLUP) با استفاده از بسته metan در محیط R محاسبه شد (Olivoto and Lucio, 2020). از یک نمودار حرارتی ترسیم‌شده بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson's correlation coefficients) جهت نشان دادن روابط بین هر یک از شاخص‌های محاسبه‌شده و عملکردهای دانه در دو شرایط محیطی استفاده شد.

جدول ۲- روابط ریاضی شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی محاسبه‌شده

Table 2- Mathematic relations for calculated tolerance and susceptible drought indices

ردیف No.	فرمول Formula	الگوی انتخاب Selection pattern	شاخص Index	منبع Reference
1	$TOL = Y_p - Y_s$	Minimum value	شاخص تحمل Tolerance Index	Rosielle and Hamblin (1981)
2	$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$	Maximum value	بهره‌وری متوسط Mean Productivity	Rosielle and Hamblin (1981)
3	$GMP = \sqrt{Y_s \times Y_p}$	Maximum value	میانگین هندسی بهره‌وری Geometric Mean Productivity	Fernandez (1992)
4	$HM = \frac{2(Y_s \times Y_p)}{(Y_s + Y_p)}$	Maximum value	میانگین هارمونیک Harmonic Mean	Bidinger et al. (1978)
5	$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)}$	Minimum value	شاخص حساسیت تنش Stress Susceptibility Index	Fischer and Maurer (1978)
6	$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{(\bar{Y}_p)^2}$	Maximum value	شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index	Fernandez (1992)
7	$YI = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$	Maximum value	شاخص عملکرد Yield Index	Gavuzzi et al. (1997)
8	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Maximum value	شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index	Bousslama and Schapaugh (1984)
9	$RSI = \frac{(Y_s / Y_p)}{(\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)}$	Maximum value	شاخص تنش نسبی Relative Stress Index	Fischer et al. (1979)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو ساله نشان داد اثرات سال، محیط و ژنوتیپ معنی‌دار بود. علاوه بر این، اثرات متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × سال × محیط نیز معنی‌دار بودند. ضریب تغییرات برای عملکرد دانه ۱۳/۱۳ درصد برآورد شد که نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده از نظر پاسخ به شرایط تنش خشکی طی دو سال

مورد بررسی است (جدول ۳). از این رو به نظر می‌رسد دست‌یابی به ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی دور از انتظار نخواهد بود. پیش از این در بسیاری از مطالعات صورت گرفته نیز اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها و ارقام مختلف جو در شرایط تنش خشکی گزارش شده است که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مطابقت دارند (Khalili *et al.*, 2014; Sharifi-*Alhosseini and Taherian*, 2019; Cai *et al.*, 2020; Faiziasl *et al.*, 2022).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش خشکی در ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده جو

Table 3- Combined analysis of variance for grain yield under control and drought stress conditions in investigated barley genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد واریانس توجیه شده
S.O.V	df	MS	EV (%)
سال	1	220.25***	52.67
Year (Y)			
محیط	1	59.17***	14.15
Environment (E)			
سال × محیط	1	15.56 ^{ns}	3.72
Y × E			
تکرار / (سال و محیط)	8	0.14	
Replication / (Y & E)			
ژنوتیپ	17	1.64***	6.67
Genotype (G)			
ژنوتیپ × سال	17	0.96**	3.90
G × Y			
ژنوتیپ × محیط	17	0.38 ^{ns}	1.54
G × E			
ژنوتیپ × محیط × سال	17	0.84*	3.41
Y × E × G			
خطا	136	0.42	
Error			
ضریب تغییرات		13.13	
CV (%)			

ns, *, **, and *** به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد

ns, *, **, and *** indicated non-significant and significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$, respectively

شاخص‌های حساسیت و تحمل تنش

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در هر یک از ژنوتیپ‌های مورد بررسی جو به تفکیک دو سال زراعی و همچنین میانگین دو ساله در جداول ۴، ۵ و ۶ ارائه شد است. در سال اول، ژنوتیپ‌های G7، G9، G13 و G15 دارای بالاترین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش بودند. در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های G4، G13، G14 و G16

نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد بالاتری داشتند. ژنوتیپ G13 از نظر کلیه شاخص‌های تحمل و حساسیت به‌عنوان یکی از متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شد. علاوه بر این ژنوتیپ، G16 نیز به‌جز Yp (عملکرد دانه در شرایط عدم تنش) از نظر سایر شاخص‌ها دارای نمود بهتری بود و به‌عنوان دیگر ژنوتیپ متحمل به خشکی از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز شد. ژنوتیپ G14 از نظر شاخص‌های Ys، HM، YI، YSI و RSI دارای بیشترین

مقادیر و از نظر شاخص‌های TOL و SSI دارای کمترین مقادیر بود. ژنوتیپ شاهد (G1) تنها از نظر شاخص‌های SSI، TOL، YSI و RSI دارای برتری نسبی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بود. ژنوتیپ G9 اگرچه از نظر Yp جزو ژنوتیپ‌های برتر بود، با این حال تنها از نظر شاخص‌های MP، GMP، STI و به‌عنوان

ژنوتیپ متحمل شناخته شد. ژنوتیپ G4 نیز علاوه بر Ys از نظر شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها شناسایی شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در ۱۸ ژنوتیپ ارزیابی شده جو در سال اول

Table 4- Values for susceptible and tolerance drought indices in the 18 investigated barley genotypes in the first year

Code	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	Fernandez's grouping pattern
G1	4.19	4.02	0.17	4.10	4.10	4.10	0.20	0.88	1.15	0.96	1.20	A
G2	4.22	2.63	1.59	3.42	3.33	3.24	1.88	0.58	0.75	0.62	0.78	B
G3	4.40	2.68	1.72	3.54	3.44	3.33	1.95	0.62	0.77	0.61	0.76	B
G4	4.44	4.05	0.39	4.24	4.24	4.24	0.44	0.94	1.16	0.91	1.14	A
G5	4.38	3.36	1.02	3.87	3.83	3.80	1.16	0.77	0.96	0.77	0.96	B
G6	4.11	3.05	1.06	3.58	3.54	3.50	1.28	0.66	0.87	0.74	0.93	B
G7	4.61	2.70	1.92	3.65	3.53	3.40	2.07	0.65	0.77	0.58	0.73	B
G8	4.20	3.50	0.70	3.85	3.83	3.81	0.83	0.77	1.00	0.83	1.04	A
G9	4.75	3.61	1.15	4.18	4.14	4.10	1.20	0.90	1.03	0.76	0.95	A
G10	3.85	3.26	0.58	3.56	3.54	3.53	0.76	0.66	0.94	0.85	1.06	D
G11	4.37	3.82	0.55	4.09	4.08	4.07	0.63	0.88	1.09	0.87	1.09	A
G12	4.32	2.86	1.46	3.59	3.51	3.44	1.68	0.65	0.82	0.66	0.83	B
G13	4.64	4.56	0.08	4.60	4.60	4.60	0.09	1.11	1.31	0.98	1.23	A
G14	4.12	4.10	0.02	4.11	4.11	4.11	0.02	0.89	1.18	1.00	1.25	A
G15	4.78	3.40	1.38	4.09	4.03	3.97	1.44	0.85	0.97	0.71	0.89	B
G16	4.27	4.35	-0.07	4.31	4.31	4.31	-0.08	0.97	1.25	1.02	1.27	A
G17	4.49	3.68	0.81	4.09	4.07	4.05	0.90	0.87	1.06	0.82	1.03	A
G18	4.45	3.20	1.26	3.82	3.77	3.72	1.40	0.75	0.92	0.72	0.90	B

به‌منظور بررسی تکرارپذیری نتایج به‌دست‌آمده از غربال ژنوتیپ‌های بررسی شده از نظر هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت، محاسبات بر اساس داده‌های دو ساله انجام و نتایج آن در جدول ۶ درج شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، از نظر شاخص Yp ژنوتیپ‌های G1، G4، G13 و G18 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین مقادیر بودند. دو ژنوتیپ G4 و G13 به همراه G11 و G16 دارای بالاترین عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) بودند. ژنوتیپ G16 از نظر تمام شاخص‌ها به جز Yp به‌عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی شد. ژنوتیپ G13 نیز از نظر تمام شاخص‌ها به جز TOL به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ انتخاب گردید. ژنوتیپ‌های G4 و G10 از نظر شاخص‌های Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI و YI نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها متحمل بودند.

در سال دوم نتایج به‌دست‌آمده از غربال ژنوتیپ‌های بررسی شده از نظر شاخص‌های تحمل و حساسیت متفاوت بود. ژنوتیپ‌های G1، G4، G13 و G18 از نظر Yp و ژنوتیپ‌های G4، G7، G11 و G13 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد دلنه‌بالتری در شرایط تنش بودند (Ys). در بین ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده G7 از نظر کلیه شاخص‌ها به‌جز Yp به‌عنوان برترین ژنوتیپ شناسایی شد. ژنوتیپ G4 نیز از نظر شاخص‌های Yp، Ys، MP، GMP، HM، STI و YI به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد. دو ژنوتیپ G11 و G13 نیز از نظر اکثر شاخص‌ها به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی شدند. به عبارت دیگر، G11 از نظر شاخص‌های Ys، MP، GMP، HM، STI و YI جزو ژنوتیپ‌های برتر بود و ژنوتیپ G13 مشابه G11 علاوه بر شاخص ذکر شده از نظر Yp نیز برتری قابل توجهی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت (جدول ۵).

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در ۱۸ ژنوتیپ ارزیابی‌شده جو در سال دوم

Table 5- Values for susceptible and tolerance drought indices in the 18 investigated barley genotypes in the second year

Code	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	Fernandez's grouping pattern
G1	7.34	4.74	2.60	6.04	5.90	5.76	1.91	0.81	0.89	0.65	0.79	B
G2	7.00	5.40	1.60	6.20	6.15	6.10	1.23	0.88	1.01	0.77	0.95	B
G3	7.08	5.40	1.68	6.24	6.18	6.13	1.28	0.89	1.01	0.76	0.94	B
G4	7.78	6.13	1.65	6.96	6.91	6.86	1.14	1.11	1.15	0.79	0.97	A
G5	6.07	5.17	0.90	5.62	5.60	5.58	0.80	0.73	0.97	0.85	1.05	D
G6	6.32	5.46	0.86	5.89	5.87	5.86	0.73	0.80	1.02	0.86	1.06	D
G7	6.40	6.79	-0.39	6.60	6.59	6.59	-0.33	1.01	1.27	1.06	1.30	C
G8	5.93	4.42	1.51	5.18	5.12	5.06	1.37	0.61	0.83	0.75	0.92	D
G9	6.40	5.60	0.80	6.00	5.99	5.97	0.67	0.83	1.05	0.88	1.07	C
G10	5.16	4.35	0.81	4.76	4.74	4.72	0.84	0.52	0.82	0.84	1.04	D
G11	7.00	5.70	1.30	6.35	6.32	6.28	1.00	0.93	1.07	0.81	1.00	A
G12	5.79	5.49	0.30	5.64	5.64	5.64	0.28	0.74	1.03	0.95	1.16	C
G13	7.48	5.93	1.55	6.71	6.66	6.62	1.12	1.03	1.11	0.79	0.97	A
G14	6.49	5.22	1.27	5.86	5.82	5.79	1.05	0.79	0.98	0.80	0.99	B
G15	6.21	5.06	1.15	5.64	5.61	5.58	1.00	0.73	0.95	0.81	1.00	D
G16	6.43	5.67	0.76	6.05	6.04	6.03	0.64	0.85	1.06	0.88	1.08	C
G17	5.92	4.18	1.74	5.05	4.97	4.90	1.58	0.58	0.78	0.71	0.87	D
G18	7.19	5.36	1.83	6.28	6.21	6.14	1.37	0.90	1.00	0.75	0.92	B

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در ۱۸ ژنوتیپ ارزیابی‌شده جو بر اساس داده‌های دوساله

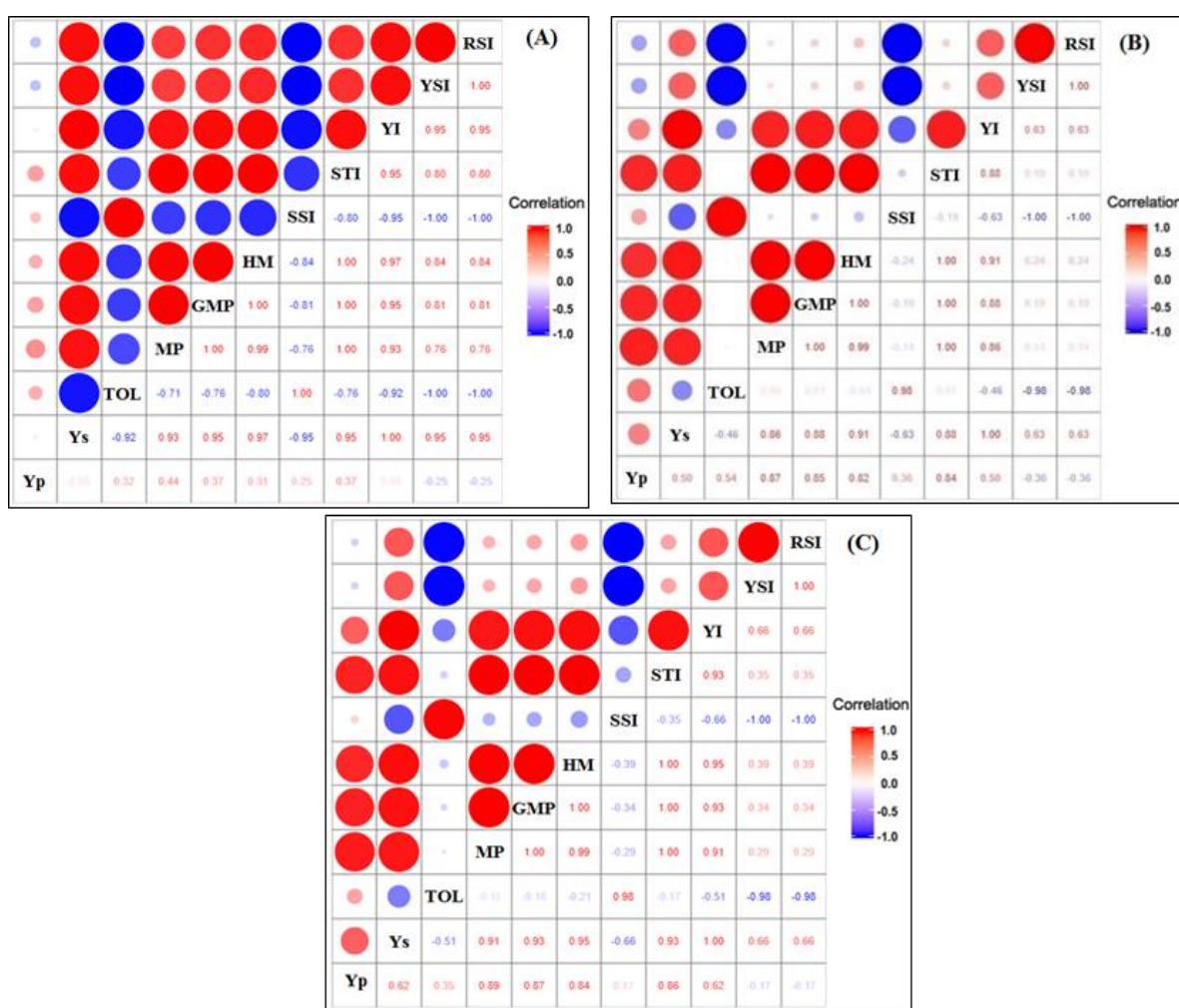
Table 6- Values for susceptible and tolerance drought indices in the 18 investigated barley genotypes based on two-years data

Code	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	Fernandez's grouping pattern
G1	5.76	4.38	1.38	5.07	5.02	4.98	1.25	0.85	0.99	0.76	0.94	B
G2	5.61	4.02	1.59	4.82	4.75	4.68	1.48	0.76	0.91	0.72	0.89	B
G3	5.74	4.04	1.70	4.89	4.82	4.74	1.54	0.78	0.92	0.70	0.87	B
G4	6.11	5.09	1.02	5.60	5.58	5.55	0.87	1.04	1.15	0.83	1.03	A
G5	5.22	4.26	0.96	4.74	4.72	4.69	0.96	0.75	0.97	0.82	1.01	D
G6	5.22	4.26	0.96	4.74	4.72	4.69	0.96	0.75	0.97	0.82	1.01	D
G7	5.51	4.74	0.77	5.13	5.11	5.10	0.73	0.88	1.07	0.86	1.06	A
G8	5.07	3.96	1.11	4.52	4.48	4.45	1.14	0.67	0.90	0.78	0.97	D
G9	5.58	4.6	0.98	5.09	5.07	5.04	0.92	0.86	1.04	0.82	1.02	A
G10	4.51	3.81	0.70	4.16	4.15	4.13	0.81	0.58	0.86	0.84	1.05	D
G11	5.69	4.76	0.93	5.23	5.20	5.18	0.85	0.91	1.08	0.84	1.04	A
G12	5.05	4.18	0.87	4.62	4.59	4.57	0.90	0.71	0.95	0.83	1.02	D
G13	6.06	5.25	0.81	5.66	5.64	5.63	0.70	1.07	1.19	0.87	1.07	A
G14	5.31	4.66	0.65	4.99	4.97	4.96	0.64	0.83	1.06	0.88	1.09	B
G15	5.49	4.23	1.26	4.86	4.82	4.78	1.20	0.78	0.96	0.77	0.95	D
G16	5.35	5.01	0.34	5.18	5.18	5.17	0.33	0.90	1.13	0.94	1.16	B
G17	5.21	3.93	1.28	4.57	4.52	4.48	1.28	0.69	0.89	0.75	0.93	D
G18	5.82	4.28	1.54	5.05	4.99	4.93	1.38	0.84	0.97	0.74	0.91	B

روابط بین شاخص‌های گزینشی محاسبه‌شده و عملکرد دانه

نمودار حرارتی ترسیم‌شده بر اساس ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد دانه در دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی با هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش به‌صورت جداگانه براساس هر سال و همچنین مجموع داده‌های دو ساله در شکل ۱ ارائه شده است. ثابت شده‌است که شاخص‌هایی که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی می‌توانند

به‌عنوان بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش استفاده شوند (Mitra, 2001). براین اساس، شاخص‌های MP، GMP و STI با عملکرد دانه در هر دو شرایط محیطی (به‌ویژه شرایط خشکی) دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بودند (شکل ۱-A). در مقابل در سال دوم، شاخص‌های STI، HM، MP و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با Yp و Ys داشتند؛ ازاین‌رو شاخص‌های اخیر می‌توانند به‌عنوان ابزاری جهت غربال ژنوتیپ‌های متحمل مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۱-B).



شکل ۱- نمودار حرارتی ترسیم‌شده مبتنی بر ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکردهای دانه در دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی با شاخص‌های تحمل و حساسیت بر اساس داده‌های سال اول (A)، سال دوم (B) و متوسط دو سال (C)

Figure 1- Heat-maps rendered based on the Pearson's correlation coefficients between grain yields under control and stress conditions with drought tolerance and susceptible indices for the first year (A), second year (B), and average two-year data (C)

۱-C مشاهده می‌شود شاخص‌های MP، GMP، STI و HM با عملکرد دانه در شرایط عدم تنش و تنش خشکی دارای

به‌منظور بررسی تکرارپذیری روابط بین شاخص‌ها همبستگی بین شاخص‌ها بررسی شد. همان‌گونه که در شکل

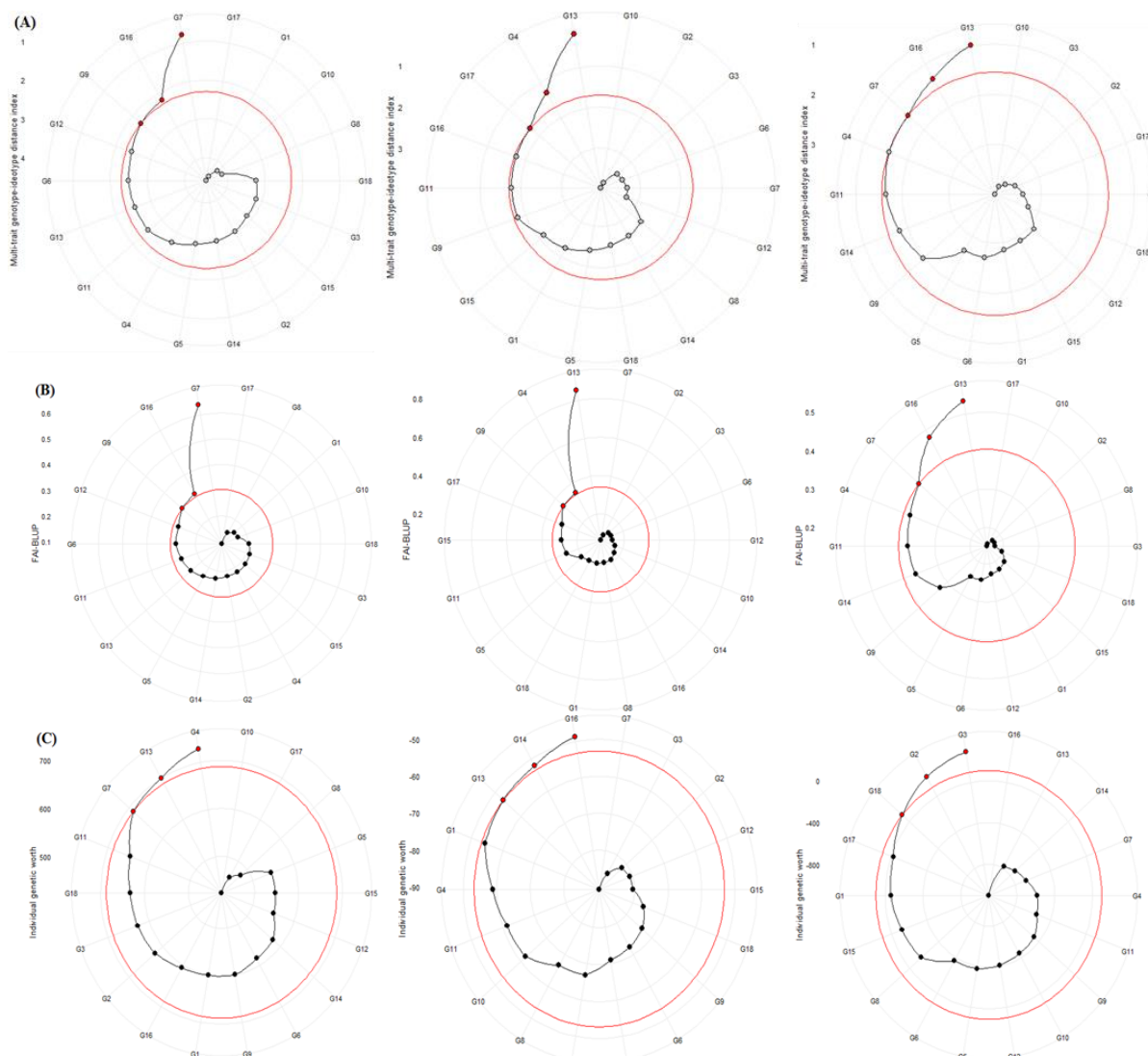
همبستگی مثبت و معنی‌داری بودند. از این‌رو، چهار شاخص فوق‌الذکر می‌توانند به‌عنوان برترین شاخص‌ها جهت غربال مواد ژنتیکی در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند. گزارش شده است که در شرایط تنش ملایم شاخص‌های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند (Sio-se Mardeh *et al.*, 2006). در دیگر پژوهشی که با هدف شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌های نخود صورت گرفت (Poursiahbidi and Pour-Aboughadareh, 2013)، مشخص شد شاخص‌های MP، GMP و STI مؤثرترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌باشند. همچنین وجود همبستگی بالای معنی‌دار و مثبت Yp و Ys با شاخص‌های MP و STI حاکی از آن است که شاخص‌های مذکور می‌توانند به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها جهت گزینش لاین‌های متحمل به خشکی در نظر گرفته شوند. این نتیجه با نتایج سایر محققان مطابقت نشان داد (Saba *et al.*, 2001; Nouri *et al.*, 2011; Khalili *et al.*, 2012; Naghavi *et al.*, 2013; Khalili *et al.*, 2014; Etminan *et al.*, 2019; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2020).

نظر به اینکه در بین شاخص‌های محاسبه شده شاخص STI دارای همبستگی قوی با عملکرد دانه در دو شرایط محیطی در هر یک از سال‌های اجرای آزمایش و متوسط دو سال بود، از این‌رو جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های ارزیابی شده بر اساس تئوری ارائه شده توسط Fernandez (1992)، از میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش به همراه شاخص STI استفاده شد. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، ژنوتیپ‌های G1، G4، G8، G9، G11، G13، G14، G16 و G17 در گروه A قرار گرفتند. گروه B شامل ژنوتیپ‌های G2، G3، G5، G6، G7، G12 و G15 بود. هیچ ژنوتیپی به گروه C تعلق نداشت و تنها ژنوتیپ G10 در گروه D جای گرفت. در سال دوم، ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی نشان داشتند به‌طوری‌که گروه A در برگیرنده ژنوتیپ‌های G4، G11 و G13 بود. ژنوتیپ‌های G1، G2، G3 و G14 در گروه B قرار گرفتند. در گروه C نیز ژنوتیپ‌های G7، G9، G12 و G16 قرار داشتند. علاوه‌براین، ژنوتیپ‌های G5، G6، G8، G10 و G15 و G17

به‌عنوان گروه D از دیگر ژنوتیپ‌ها متمایز شدند. بر اساس متوسط داده‌های دو ساله نیز کلیه ژنوتیپ‌ها در سه گروه A، B و D دسته‌بندی شدند. گروه A شامل ژنوتیپ‌های G4، G7، G9، G11 و G13 بود. در ژنوتیپ‌های G1، G2، G3، G14، G16 و G18 در گروه B قرار گرفتند و سایر ژنوتیپ‌ها در گروه D گروه‌بندی شدند. در این سال هیچ ژنوتیپی در گروه C قرار نداشت (جدول ۶). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این رابطه مشخص شد دو ژنوتیپ G4 و G13 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از مدل‌های گزینشی

در مطالعه حاضر نیز جهت انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها بر اساس تمامی شاخص‌های محاسبه شده و عملکردهای دانه از سه مدل FAI، MGIDI و Smith-Hazel استفاده شد. در هر یک از این مدل‌ها هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت در کنار عملکرد دانه به‌عنوان یک متغیر در نظر گرفته شدند. نتایج به‌دست‌آمده از هریک از مدل‌های آماری به‌صورت گرافیکی در شکل ۲ نشان داده شده‌است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از غربال ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص MGIDI ژنوتیپ‌های G7، G9 و G16 در سال اول، ژنوتیپ‌های G4، G13 و G17 در سال دوم و ژنوتیپ‌های G7، G13 و G16 در متوسط دو سال اجرای آزمایش به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل خشکی شناسایی شدند (شکل A-۲). ژنوتیپ‌های G7، G9 و G17 در سال اول، ژنوتیپ‌های G4، G9 و G13 در سال دوم و ژنوتیپ‌های شماره G7، G13 و G16 بر اساس متوسط داده‌های دوساله به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها از طریق شاخص FAI-BLUP از دیگر ژنوتیپ‌ها متمایز شدند (شکل B-۲). شاخص Smith-Hazel نیز سه ژنوتیپ را بر اساس هر یک از مجموعه داده‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناسایی کرد. در سال اول ژنوتیپ‌های شماره G4، G7 و G13 جزو ژنوتیپ‌های ایده‌آل بودند. ژنوتیپ‌های G13، G14 و G16 و سه ژنوتیپ G2، G3 و G18 به‌ترتیب به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها بر اساس داده‌های سال دوم و متوسط داده‌های دو ساله انتخاب شدند (شکل C-۲).



شکل ۲- نمودارهای ترسیم‌شده بر اساس شاخص‌های MGIDI (A)، FAI-BLUP (B) و Smith-Hazel (C) بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده از سال اول، دوم و متوسط دو سال (به ترتیب از چپ به راست). دایره قرمز مرکزی بیانگر نقطه برش بر اساس شدت انتخاب می‌باشد. علاوه‌براین، ژنوتیپ‌های منتخب بر اساس هر شاخص نیز با دایره‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند.

Figure 2- Circle plots rendered based on the MGIDI (A), FAI-BLUP (B), and Smith-Hazel (C) indices for the first year data (A), second year data (B), and average two-year data (C). The central red circle indicate the determined cut-point based on selection pressure. Moreover, selected genotypes highlighted using red circles.

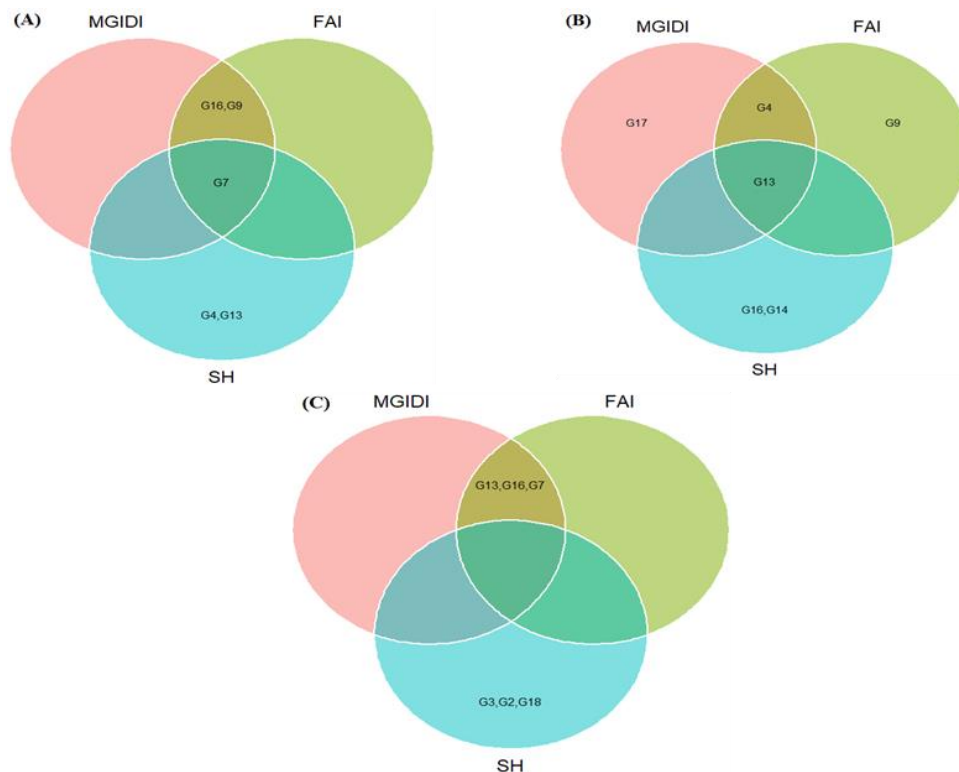
داشت (Silva *et al.*, 2018; Rocha *et al.*, 2019; Woyann *et al.*, 2019; Olivoto *et al.*, 2021; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021; Pour-Aboughadareh and Pocza, 2021 a, b; Jadidi *et al.*, 2022).

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از هر شاخص مشخص شد که در سال اول و دوم به ترتیب ژنوتیپ‌های G7 و G13 به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی شناسایی شدند (اشکال ۱-A و ۱-B). با در نظر گرفتن نتایج حاصله از داده‌های دو ساله و سه شاخص MGIDI، FAI-

استفاده از شاخص‌ها و مدل‌های آماری مبتنی بر صفات و پارامترهای مختلف به‌عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌ها و ارقام برخوردار از پتانسیل عملکرد بالا و فنوتیپ مطلوب بشمار می‌آید. در مطالعات متعددی از شاخص‌هایی گزینشی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر دیگر گیاهان زراعی هم‌چون علف فیل (*Cenchrus purpureus*) گندم، جو، سویا، لوبیا و سورگوم استفاده و کارایی بالایی از آن‌ها گزارش شده است که در این راستا، نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با سایر نتایج گزارش شده توسط دیگر محققان مطابقت

شاخص‌های MGIDI و FAI-BLUP از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز شدند (شکل C-۱).

BLUP و Smith-Hazel مشخص شد الگوی گزینشی یکسانی بین سه شاخص وجود نداشت، با این حال ژنوتیپ‌های G7، G13 و G16 به عنوان ژنوتیپ‌های منتخب با استفاده از



شکل ۳- نودار ون ترسیم‌شده مبتنی شاخص‌های MGIDI، FAI-BLUP، و Smith-Hazel بر اساس داده‌های سال اول (A)، سال دوم (B) و متوسط دو سال (C)

Figure 3- Venn diagrams rendered based on the MGIDI, FAI-BLUP, and Smith-Hazel indices for the first year data (A), second year data (B), and average of two-year data (C)

FAI-BLUP کارایی بالایی در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی داشته و کارایی لازم جهت استفاده در دیگر آزمایش‌های به‌نژادی با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های برخوردار از صفات زراعی مطلوب را دارند. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه ژنوتیپ G13 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ و با داشتن بیشترین عملکرد دانه در هر سال و مجموع دو سال اجرای آزمایش جهت ارزیابی‌های بیشتر در مطالعات سازگاری و پایداری شناسایی شد.

تعارض منافع

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

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه مشخص شد بین ژنوتیپ‌های امیدبخش جو از نظر پاسخ به شرایط تنش خشکی آخر فصل تفاوت معنی‌دار وجود دارد که این نتیجه امکان شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را فراهم نمود. بررسی روابط بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی با عملکردهای دانه به دست آمده در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی نشان داد شاخص‌های STI، MP، GMP و HM می‌توانند به‌عنوان برترین شاخص‌های مبتنی بر عملکرد دانه جهت غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند. علاوه‌براین، نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های گزینشی محاسبه‌شده بر اساس عملکرد دانه و هر یک از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نشان داد شاخص‌های MGIDI و

References

- Benakanahalli, N.K., Sridhara, S., Ramesh, N., Olivoto, T., Sreekantappa, G., Tamam, N., Abdelbacki, A.M.M., Elansary, H.O. and Abdelmohsen, S.A.M., 2021. A Framework for Identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII indexes: an example in guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy*, 11(6), pp.1221. doi: **10.3390/agronomy11061221**
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D., 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38, pp.49–59. doi: **10.1071/ar9870037**
- Bouslama, M. and Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, pp.933–937. doi: **10.2135/cropsci1984.0011183x002400050026x**
- Cai, K., Chen, X., Han, Z., Wu, X., Zhang, S., Li, Q., Nazir, M.M., Zhang, G. and Zeng, F., 2020. Screening of worldwide barley collection for drought tolerance: the assessment of various physiological measures as the selection criteria. *Frontiers in Plant Science*, 11, pp.1159. doi: **10.3389/fpls.2020.01159**
- Dehghani, Z., Nikkhah, H.R. and Frouzesh, P., 2020. Evaluation of drought tolerance in promising barley lines under controlled and field conditions. *Seed and Plant Journal*, 36, pp.161–182. [In Persian]. doi: **10.22077/escs.2023.4986.2096**
- Etminan, A., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Shoshtari, L., Yousefiazarkhanian, M. and Moradkhani, H., 2019. Determining the best drought tolerance indices using artificial neural network (ANN): Insight into application of intelligent agriculture in agronomy and plant breeding. *Cereal Research Communication*, 47, pp.170–181. doi: **10.1556/0806.46.2018.057**
- Fatemi, F., Kianersi, F., Pour-Aboughadareh, A., Poczai, P. and Jadidi, O., 2022. Overview of identified genomic regions associated with various agronomic and physiological traits in barley under abiotic stresses. *Applied Sciences*, 12, pp.5189. doi: **10.3390/app12105189**
- Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Sadeghzadeh, B. and Mousavi Shalmani M.A., 2022. Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management*, 262, pp.107395. doi: **10.1016/j.agwat.2021.107395**
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Publication. Tainan, Taiwan.
- Fischer, R.A. and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, pp.897–912. doi: **10.1071/ar9780897**
- Fischer, R.A. and Wood, T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30, pp.1001–1020. doi: **10.1071/ar9791001**
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R.G., Ricciardi G.L. and Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*,

- 77, pp.523–531. doi: **10.4141/p96-130**
- Jadidi, O., Etminan, A., Azizi-Nezhad, R., Ebrahimi, A. and Pour-Aboughadareh, A., 2022. Physiological and molecular responses of barley genotypes to salinity stress. *Genes*, 13(11), pp.2040. doi: **10.3390/genes13112040**
- Khalili M., Pour-Aboughadareh, A.R. Naghavi, M.R. and Mohammad Amini, E., 2014. Evaluation of drought tolerance in safflower genotypes based on drought tolerance indices. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42, pp.214–218. doi: **10.15835/nbha4219331**
- Khalili, M., Naghavi, M.R., Pour-Aboughadareh, A.R. and Talebzadeh, S.J., 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4, pp.78–85.
- Mitra, J., 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80, pp.758–763.
- Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D. Amri, A., 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *Journal of Plant Production*, 4(1), pp.11–24. doi: **10.22069/ijpp.2012.677**
- Naghavi, M.R., Pour-Aboughadareh, A.R. and Khalili, M., 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) Cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 5, pp.388–393. doi: **10.15835/nsb539049**
- Nouri, A., Etminan, A., Teixeira, D.A., Silva, J.A. and Mohammadi, R., 2011. Assessment of yield, yield-related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* var. *durum* Desf.). *Australian Journal of Crop Science*, 5, pp.8–16.
- Olivoto, T. and Lucio, A.D., 2020. Metan: an R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11, pp.783–789. doi: **10.1111/2041-210x.13384**
- Olivoto, T. and Nardino, M. 2020., MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *Bioinformatics*, pp.1–22. doi: **10.1101/2020.07.23.217778**
- Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Etminan, A., Shooshtari, L., Maleki-Tabrizi, N. and Pocza, P., 2020. Effects of drought stress on some agronomic and morpho-physiological traits in durum wheat genotypes. *Sustainability*, 12(14), pp.5610. doi: **10.3390/su12145610**
- Pour-Aboughadareh, A., Sanjani, S., Nikkhah-Chamanabad, H., Mehrvar, M.R., Asadi, A. and Amini A., 2021. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multi-traits index and yield performance at the early growth and maturity stage. *Bulletin of the National Research Centre*, 45, pp.1–16. doi: **10.1186/s42269-021-00576-0**
- Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Pocza, P. and Siddique, K.H.M. 2019., iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences*, 7, pp.e11278. doi: **10.1002/aps3.11278**
- Pour-Aboughadareh, A. and Pocza, P., 2021a., Dataset on the use of MGIDI index in screening drought-tolerant

- wild wheat accessions at the early growth stage. *Data in Brief*, 36, pp.107596. doi: **10.1016/j.dib.2021.107096**
- Pour-Aboughadareha, A. and Poczaib, P., 2021b. A dataset on multi-trait selection approaches for screening desirable wild relatives of wheat. *Data in Brief*, 39, pp.107541. doi: **10.1016/j.dib.2021.107541**
- Pour-Siahbidi, M.M. and Pour-Aboughadareh, A., 2013. Evaluation of grain yield and repeatability of drought tolerance indices for screening chickpea (*Cicer aritinum* L.) genotypes under rainfed conditions. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2, pp.28–37.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekananda, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161, pp.1189–1202. doi: **10.1016/j.jplph.2004.01.013**
- Rocha, J.R., Machado, J.C. and Carneiro, P.C.S. 2018. Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *Global Change Biology and Bioenergy*, 10, pp.52–60. doi: **10.1016/j.jplph.2004.01.013**
- Rosielle, A.A. and Hambling, J. 1981., Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, pp.943–946. doi: **10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x**
- Saba, J., Moghaddam, M., Ghassemi, K. and Nishabouri, M.R., 2001. Genetic properties of drought resistance indices. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3, pp.43–49.
- Sharifi-Alhosseini, M. and Taherian M., 2019., Identification of drought tolerant barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using drought tolerance indices. *Applied Field Crops Research*, 31, pp.90–105. [In Persian]. doi: **10.22092/aj.2019.121794.1293**
- Silva, M.J., Careiro, P.C.S., Careiro, J.E., Damasceno, C.M.B., Parrella, N.N.L.D., Pastina, M.M., Simeone, M.L.F., Schaffert, R.E. and Parrella, R.A., 2018. Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. *Industrial Crops and Products*, 125, pp.379–385. doi: **10.1016/j.indcrop.2018.08.022**
- Singh, L., Park, R.F., Dracatos, P., Ziems, L. and Singh, D., 2021. Understanding the expression and interaction of *Rph* genes conferring seedling and adult plant resistance to *Puccinia hordei* in barley. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 43, pp.218–226. doi: **10.1080/07060661.2021.1936649**
- Sio-se-Mardeh, A., Ahmadi, A., Postini, K. and Mohammadi. V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98, pp.222–229. doi: **10.1016/j.fcr.2006.02.001**
- Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Armion, M., Mehraban, A., Hossein-Pour, T. and Dorri, M., 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45, pp.500–511. doi: **10.1556/0806.45.2017.019**
- Wang, X.K., Gong, X., Cao, F.B., Wang, Y.Z., Zhang, G.P. and Wu, F.B., 2019. *HvPAA1* encodes a P-Type ATPase, a novel gene for cadmium accumulation and tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 20, pp.1732. doi: **10.3390/ijms20071732**
- Woyann, L.G., Meira, D., Zdziarski, A.D., Matei, G., Milioli, A.S., Rosa, A.C., Madella, L.A. and Benin, G., 2019. Multiple-trait selection of soybean for biodiesel production in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 140,

pp.e111721. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111721

Yan, S., Sun, D. and Sun, G. 2015., Genetic divergence in domesticated and non-domesticated gene regions of barley chromosomes. *PLoS ONE*, 10, pp.e0121106. doi: 10.1371/journal.pone.0121106

Zhao, C.X., Guo, L.Y., Jaleel, C.A., Shao, H.B. and Yang, H.B., 2008. Prospects for dissecting plant-adaptive molecular mechanisms to improve wheat cultivars in drought environments. *Comptes Rendus Biology Journal*, 331, pp.579-586. doi: 10.1016/j.crv.2008.05.006

Identification of drought-tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) based on selection indices

Shahin Ghavidel¹, Alireza Pour-Aboughadareh^{2*}, Khodadad Moustafavi¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj, Iran

² Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding Author: a.poraboghadareh@gmail.com

Received: 25 October 2022

Accepted: 4 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.371176.1294

Abstract

Introduction: Drought stress or water deficit has been known as one of the most important abiotic stresses so it considerably is decreased crop production. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is the fourth most important cereal crop in the world after wheat, rice and corn. Among cereals, barley is the most tolerant crop against abiotic stresses and due to this capability is cultivated in a wide range of climates. The objective of the current study was to identify the superior drought-tolerant genotypes using grain yield and several yield-based indices of tolerance and susceptibility by applying various multivariate selection models.

Materials and Methods: In the present study a set of promising genotypes of barley including 17 new genotypes along with a Jolge cultivar (as a check) was investigated through two separate experiments based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the Cereal research station, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran during two consecutive growing seasons (2019-2020 and 2020-2021) cropping seasons. After sowing, the number of irrigations was one time in autumn and five times in spring. Drought stress treatment was applied after anthesis, and irrigation was stopped for all stressed plot until seed repining stage. After collecting experimental data and estimating grain yield, several yield-based drought tolerance and susceptible indices were calculated. A heatmap-based correlation method was used to investigate association among calculated indices and grain yield data. Then three selection indices such as multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI), factor analysis and ideotype design via best linear unbiased prediction (FAI-BLUP), and Smith-Hazel (SH) were exploited to identify the most tolerant-genotypes. All statistical analyses were computed using iPASTIC and R softwares.

Results and Discussion: Based on combined analysis of variance for grain yield data showed significant differences for year, environment, and genotype main effects, as well as, the interaction effects for year $\times$ genotype, and year $\times$ environment $\times$ genotype. The result obtained from screening barley genotypes using drought tolerance and susceptible indices revealed good repeatability so that some of the investigated genotypes appeared in the same pattern in each year of experiments. Based on the Spearman's correlation coefficients, grain yields (Y_p and Y_s) positively and significantly correlated with MP, GMP, and STI indices in the first year. In the second year, a positive and significant correlation was observed between grain yields with STI, MP, GMP, and HM indices. Based on the averaged two-year data, grain yields significantly and positively correlated with HM, STI, MP, and GMP indices, supporting the repeatability of our findings. To identify the most tolerant genotypes based on multi-indices, we used three multi-trait selection indices such as MGIDI, FAI-BLUP, and SH. Accordingly, genotypes numbers G7, G9, and G16 for the first year, G4, G13, and G17 for the second year, and three genotypes G7, G13, and G16 over two years were selected as superior genotypes using the MGIDI index. Based on the FAI-BLUP index, the following genotypes were identified as the most tolerant genotypes: G7, G9, and G17 in the first year; G4, G9, and G13 in the second year; G7, G13, and G16 in over two years. The result of screening genotypes using the Smith-Hazel index showed that three sets of genotypes including G4/G7/G13, G13/G14/G16, and G2/G3/G18 were identified as the high-yielding and most tolerant genotypes in each year and

averaged two years, respectively. The venn-plot rendered based on three selection indices revealed that genotype numbers G7 and G13 were superior genotypes in the first and second years.

Conclusion: In conclusion, our results indicated that G13 “Comp.Cr229//As46/Pro/3/Srs/4/Express/5/D10*2” with the highest grain yield in both control and drought stress conditions as well as the best ranking pattern for all drought tolerance indices can be a candidate as a superior drought-tolerant genotype for further studies before commercial introduction.

Keywords: Correlation coefficient, Grain yield, MGIDI index, Multivariate models

نقشه‌یابی نواحی ژنومی کنترل‌کننده ویژگی‌های زراعی جمعیت هاپلوئید مضاعف جو تحت شرایط نرمال و تنش شوری

موسی خمیری^۱، محمود سلوکی^{۲*}، براتعلی فاخری^۲، رضا اقنوم^۳، نفیسه مهدی نژاد^۲، لیلا مهرآوران^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، خراسان رضوی، ایران

* مسئول مکاتبه: mahmood.solouki@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.319546.1166

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

چکیده

به‌منظور شناسایی نواحی ژنومی کنترل‌کننده صفات اگرومورفولوژیک و نشانگرهای مرتبط با آن‌ها تحت شرایط نرمال و تنش شوری، آزمایشی با ۱۳۶ لاین هاپلوئید مضاعف جو والدین آن‌ها (Tremois و Nure) در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی زابل انجام شد. صفات تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، طول ریشک، طول میانگره، تعداد گره، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند. تأثیر ژنوتیپ برای همه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود و بیشترین همبستگی بین عملکرد دانه با تعداد پنجه و تعداد سنبله در بوته مشاهده شد. تجزیه QTL به روش نقشه‌یابی فاصله‌ای مرکب برای شرایط نرمال و تنش و میانگین آن‌ها به صورت جداگانه انجام گرفت. در مجموع ۲۴ جایگاه واجد QTL شناسایی شد که ۸ تا ۱۶ درصد از واریانس فنوتیپی (R^2) را توجیه نمودند. بالاترین مقدار LOD برای صفت تعداد دانه در سنبله و روی کروموزوم 2H در شرایط تنش شوری بود. از ۷ QTL بزرگ اثر شناسایی شده در این مطالعه، واضح‌ترین QTL مربوط به تعداد سنبله در بوته (*Qng2Hma*) روی کروموزوم 2H در مجاورت نشانگر E42M38_235-2H بود که ۱۶ درصد از واریانس فنوتیپی را توجیه نمود. تنها یک QTL (*Qtgw1H*) برای وزن هزار دانه متصل به مارکر *WMC1E8* به‌عنوان QTL پایدار شناخته شد. این مناطق ژنومی شناسایی شده پس از اعتبار سنجی در شرایط محیطی و زمینه‌های ژنتیکی متفاوت می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی انتخاب به کمک مارکر برای تحمل به شوری در جو مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تحمل به شوری، عملکرد دانه، اجزای عملکرد، نقشه‌یابی QTL

مقدمه

عوامل غیر یونی، و دیگری تنش یونی ناشی از یون‌های Na^+ و Cl^- شوری بالای خاک باعث افزایش فشار اسمزی شده و شرایط مشابه با تنش خشکی ایجاد می‌کند (Mwando et al., 2020). شوری آب و خاک مانع از دست‌یابی به عملکرد مطلوب گیاهان زراعی می‌شوند، به‌طوری‌که در مناطق شور، کاهش ۶۰ درصدی عملکرد گیاهان زراعی گزارش شده است (FAO, 2008). در مناطق شور، زارعین با استفاده از روش‌های مختلفی مانند مصرف نهاده‌های بیشتر سعی در کاهش خسارت ناشی از تنش دارند که باعث افزایش هزینه‌های آن‌ها می‌شود. کشت گیاهان متحمل به شوری، از جمله مؤثرترین و کاراترین روش برای مقابله با مسأله شوری می‌باشد. افزایش تحمل گیاهان به شوری از یک طرف نیاز به آب‌شویی و هزینه برنامه آبیاری را کاهش می‌دهد (Pitman and Lauchli, 2002) و از طرف دیگر با تأثیر بر ثبات عملکرد موجب افزایش عملکرد گیاهان در

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از مهم‌ترین غلات دنیا است که به عنوان جایگزین برنج و گندم در تغذیه رژیمی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند و از نظر میزان تولید، بعد از گندم، ذرت و برنج، رتبه چهارم را در جهان به خود اختصاص داده است. از نظر کشت و زرع در شرایط مختلف آب و هوایی، این گیاه مقام اول را به خود اختصاص داده است (FAO, 2013). جو حدود ۸ تا ۱۲ درصد پروتئین و ۶۴ درصد نشاسته دارد و کیفیت مالت آن نیز مطلوب است (Wolfe et al., 2008). قیمت این غله به نسبت کم بوده و یک منبع تغذیه مناسب برای انسان و دام به‌شمار می‌آید (Wolfe et al., 2008).

شوری یک عامل محیطی بسیار مهمی است که رشد و بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند. شوری باعث ایجاد دو نوع تنش در گیاه می‌شود. یک تنش ناشی از فشار اسمزی مرتبط با

خاک‌های شور و قلیایی می‌شود. گیاهان متحمل به شوری آب بیشتری را از خاک‌های تحت‌الارضی جذب می‌نمایند؛ بنابراین، میزان آب مصرفی برای کشت و زرع و در نتیجه میزان افزایش خاک‌های شور را کاهش می‌دهند (Munns et al., 2006). امروزه، با استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک ارقام متحمل به تنش شوری تولید و معرفی شده‌اند (Munns and Tester, 2008).

جو یکی از گیاهان متحمل به شوری است و اغلب به عنوان گیاه مدل برای درک مکانیسم‌های سازگاری با شوری در گیاهان استفاده می‌شود. سازگاری با شوری در بین ژنوتیپ‌ها و مراحل رشدی جو متفاوت است (Saade et al., 2018). از آن‌جا که تحمل به شوری یک صفت پیچیده ژنتیکی است، اکثر فرآیندهای گیاهی مؤثر در تحمل به شوری دارای توارث کمی هستند و تنوع پیوسته دارند. صفات کمی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند (Hosseini et al., 2021). با کمک روش‌های مرسوم اصلاحی، می‌توان صفات زراعی را بهبود بخشید ولی برای انتخاب لاین‌های برتر نیاز به خلوص جوامع و دسترسی به نسل‌های پیشرفته اصلاحی می‌باشد. با استفاده از نشانگرهای مولکولی، تهیه نقشه لینکاژی با چگالی بالا در بسیاری از گیاهان امکان‌پذیر شده است. با رشد سریع تهیه نقشه‌های لینکاژی متراکم بر اساس نشانگرهای مولکولی و یافتن جایگاه صفت مسئول تنوع کمی (QTL) و استفاده از آن برای گزینش به کمک نشانگر (MAS)، انتخاب در نسل‌های اولیه برنامه‌های اصلاحی امکان‌پذیر شده و کارایی آن بهبود یافته است (Mahdinejad et al., 2014). تجزیه QTL به‌عنوان مسیر ارتباطی، بین مکانیزم‌های توارثی ناشی از تنوع ژنتیکی مکان‌های تک‌ژنی منفرد و تنوع پیوسته فنوتیپی صفات کمی، رابطه برقرار می‌سازد (Phillips, 1998). وقتی نشانگر یا نشانگرهایی با ژن‌های کنترل‌کننده صفات کمی لینکاژ (پیوستگی) داشته باشند، گزینش به کمک نشانگر، گزینش بر اساس ژنوتیپ (نه فنوتیپ) خواهد بود و عوامل محیطی تأثیری در گزینش نخواهند داشت. در نتیجه، پاسخ به گزینش به بیشترین مقدار خود خواهد رسید (Dudley, 1997). نقشه‌یابی QTL‌ها ابزاری مفید و در دسترس برای اصلاح‌کنندگان نبات در ارتباط با مشخص شدن اساس ژنتیکی صفات مربوط به تحمل به تنش است (Rabiei et al., 2014).

از مهم‌ترین اهداف اصلاح‌گران، دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر است که در محیط‌های مختلف از پایداری لازم برخوردار باشند. دو روش برای دستیابی به پایداری وجود دارد. یکی شناسایی و استفاده از QTL‌های پایدار یا QTL‌های دارای حداقل اثر متقابل با محیط است که در گزینش به کمک نشانگر مفیدند و دیگری اصلاح ارقام با سازگاری وسیع از طریق هر می کردن QTL‌های متفاوتی که هر یک به شرایط محیطی متفاوتی سازگار باشند. پایداری QTL‌ها در زمان‌ها، محیط‌ها و زمینه‌های ژنتیکی مختلف، مهم‌ترین شرط گزینش به کمک نشانگر است (Fakheri and Mehravaran, 2014). مزیت‌های گزینش به کمک نشانگرها عبارتند از: ارزیابی صفات در مرحله گیاهچه، سرعت بیشتر نسبت به ارزیابی فنوتیپی، امکان انتخاب همزمان صفات متعدد با یک نمونه DNA، شناسایی ژن‌های فرعی در حضور ژن‌های اصلی و تشخیص ژن‌های مطلوب و نامطلوب (Fakheri and Mehravaran, 2013).

مطالعات زیادی در جهت شناسایی QTL‌های کنترل‌کننده عملکرد دانه جو و صفات مرتبط با آن در شرایط محیطی مختلف مانند تنش خشکی و شوری انجام شده است (Fakheri and Mehravaran, 2013; Mohammadi and Baom, 2008; Baghizadeh et al., 2007; Peighambari et al., 2005). در ارتباط با تحمل به شوری در جمعیت لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو، تعداد ۱۱۱ QTL شناسایی شد که بین ۷/۹۹ تا ۳۳/۴۱ درصد از واریانس فنوتیپی را توجیه می‌کردند (Aminfar et al., 2011). در پژوهشی جمعیتی ۱۶۲ لاین خالص نوترکیب (RILs) مشتق‌شده از نسل Arigashar, F8 (یک گیاه جو شش ردیف ایرانی بسیار متحمل به نمک) با Igr1 (جو دو ردیفه حساس به نمک) مورد ارزیابی قرار گرفتند. از مجموع بیست و شش QTL شناسایی شده، هفده QTL برای تحمل نمک در ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌مولار NaCl شناسایی شدند که بر روی کروموزوم‌های 2H, 3H, 4H, 6H و 7H و گروه لینکاژی L1 قرار داشتند. با توجه به QTL‌های همپوشان بر اثر پدیده پلیوتروپی، در کل ۹ QTL متمایز بر روی کروموزوم‌های 2H, 4H و 6H قرار داشتند که به طور مؤثری تحمل به شوری را در جمعیت Arigashar×Igr1 کنترل می‌کردند. یک QTL (QTWg4Hc) روی کروموزوم 4H در کنار نشانگر XE41-M61 قرار داشت که چندین ویژگی از

نشانگرهای مولکولی مرتبط با آن‌ها برای پیشنهاد در زمینه انتخاب به کمک مارکر برای تحمل به تنش شوری در جو است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۳۶ لاین هاپلوئید مضاعف جو حاصل از تلاقی ارقام "Nure" و "Tremois" به همراه والدین آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند. این جمعیت از دانشگاه واگنینگن^۱ (هلند) دریافت شدند. لاین‌های هاپلوئید مضاعف، با روش کشت بساک از نتاج F1 حاصل از تلاقی "Nure" و "Tremois" در Saaten-Union Resistenzlabor GmbH، آلمان استخراج شده‌اند (Francia et al., 2004). والد زمستانه "Nure" [Baraka × (Fior40 × Alpha²)] یک رقم جو علفه‌ای مدرن دو ردیفه با عملکرد بالا است که توسط بخش Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura در Firenze، ایتالیا منتشر شده است. این رقم دارای طیف گسترده‌ای از سازگاری‌ها و جزو لیست مواد آزمایشی توصیه‌شده (RTL) ایتالیا می‌باشد. والد بهاره "Tremois" [Berar × (Dram × Aramir)] یک رقم جو دو ردیفه مدرن فرانسوی با عملکرد و کیفیت مالت بالا و جزو RTL می‌باشد (Francia et al., 2004).

لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو به همراه والدین آن‌ها، در قالب طرح آلفا لاتیس با دو تکرار در ۱۲ بلوک ناقص در آبان‌ماه سال ۱۳۹۹، در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان زابل کشت شدند. این منطقه با طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریای آزاد دارای اقلیم بیابانی با تابستان بسیار خشک و زمستان ملایم می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جمله طول جوانه و کولتوپتیل و زیست‌توده جوانه را کنترل می‌نمود (Ahmadi-Ochtapeh et al., 2015). در پژوهشی دیگر، نواحی ژنومی کنترل‌کننده صفات مرتبط با تحمل به شوری در جمعیت ۱۰۷ لاین هاپلوئید مضاعف جو حاصل از تلاقی CM72 (متحمل به نمک) و Gairdner (حساس به شوری) مورد بررسی قرار گرفتند. برای ۱۰ صفت زراعی و سه صفت فیزیولوژیک، ۱۷ QTL تحت شرایط نرمال و ۱۳ QTL تحت شرایط تنش شوری شناسایی شدند (Xue et al., 2009a). در مطالعاتی که بر روی لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو حاصل از تلاقی Tremois × Nure صورت گرفته، نقشه‌یابی صفات پیچیده مانند تحمل به سرما (Tondelli et al., 2006; Francia et al., 2007)، پایداری عملکرد (Laidò et al., 2011; Francia et al., 2014) و کیفیت مالت (al., 2009) انجام شده است. هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر بر روی دابل هاپلوئیدهای حاصل از این تلاقی، یک QTL اصلی روی کروموزوم 7H برای تحمل به شوری در مرحله گیاهچه‌ای شناسایی شد (Xue et al., 2017). در این جمعیت در زمینه تأثیر شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد مطالعات چندانی صورت نگرفته است و شاید بتوان گفت این اولین گزارش در این زمینه است.

به دلیل نقش و اهمیت استراتژیک جو در تغلیف دام، تولید مالت، تأمین پروتئین، تولید آن در دنیا و ایران و با توجه به نیاز شدید انسان‌ها به این غله چندمنظوره و نیز با توجه به این که آب و هوای خشک و نیمه‌خشک اکثر نقاط کشور ایران را در بر گرفته است و سطح وسیعی از اراضی آن دارای خاک‌های شور و قلیایی می‌باشد، شناسایی و اصلاح ارقام جو دارای تحمل به تنش شوری لازم و ضروری به نظر می‌رسد؛ لذا هدف از پژوهش حاضر، مکان‌یابی QTL‌های کنترل‌کننده صفات آگرومورفولوژیک، برآورد میزان تأثیر هر یک و شناسایی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه قبل از آزمایش

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

نسبت کربن به نیتروژن	پتاسیم کل	فسفر کل	کربن آلی	ماده آلی	نیتروژن	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت خاک
C/N	Total K	Total P	Organic carbon	Organic matter	Nitrogen	EC (ds/m)	pH	Soil texture
		(ppm)		(%)				
24.5	401.66	32.47	1.755	2.79	0.127	0.71	7.68	لومی رسی Clay loam

¹ - Wageningen

بر تعیین جایگاه و میزان اثر هر QTL، واریانس فنوتیپی که توسط هر یک از QTLها در یک مدل رگرسیون چندگانه توجیه می‌شود، محاسبه گردید. اثرات QTL در قله موقعیت QTL و حدود اعتماد ۹۵ درصد QTLها به دست آمد. مکان‌یابی QTLها با نسخه ۲/۵ نرم‌افزار WinQTL Cartographer (Wang et al., 2007) انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب ۱۳۶ لاین هاپلوئید مضاعف جو و ولدین آن‌ها، اثر ژنوتیپ بر کلیه صفات مورد بررسی بسیار معنی‌دار بود. این نشان‌دهنده تنوع بسیار بالا در این جمعیت می‌باشد. هم‌چنین با توجه به این‌که این‌ها جامعه لاین‌های دابل هاپلوئید می‌باشند بنابراین تنوع مشاهده‌شده در این جمعیت، غالباً ناشی از اثرات افزایشی می‌باشد. هم‌چنین اثر محیط بر تمامی صفات به جز وزن هزار دانه و طول ریشک بسیار معنی‌دار بود. اثر محیط بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار و بر صفت طول ریشک غیرمعنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر محیط بر صفات مورد بررسی نشان‌دهنده این است که صفات مختلف بروز متفاوتی در دو شرایط نرمال و تنش شوری داشته‌اند. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بر صفات طول ریشک و وزن هزار دانه غیرمعنی‌دار و بر سایر صفات بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲). بنابراین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در محیط نرمال و تنش عکس‌العمل‌های متفاوتی نشان دادند.

همبستگی‌های ساده فنوتیپی ۱۳۶ لاین هاپلوئید مضاعف جو به همراه والدین آن‌ها برای صفات مورد بررسی در دو شرایط نرمال و تنش شوری در جدول ۳ نشان داده شده است. همبستگی فنوتیپی مثبت و بالایی بین عملکرد دانه با کلیه صفات مورد مطالعه مشاهده شد به جز در مورد صفت تعداد گره در بوته که دارای همبستگی منفی با عملکرد در شرایط نرمال و تنش (به ترتیب ۰/۰۸- و ۰/۰۲-) بود. بیشترین میزان همبستگی در شرایط نرمال و بین تعداد پنجه در بوته با عملکرد دانه (۰/۵۴) و تعداد سنبله در بوته با عملکرد دانه (۰/۵۴) مشاهده گردید. در شرایط تنش نیز بین تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته با عملکرد دانه همبستگی بالایی (۰/۱۹) وجود داشت. بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (به ترتیب در شرایط نرمال و تنش

لاین‌ها در پلات‌های چهار ردیفی به طول ۳ متر و فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. ابتدا بذور روی هر خط با تراکم متوسط کشت شدند پس از سبزشدن، عملیات تنک‌کاری به‌نحوی که فاصله دو بوته روی یک خط از هم سه سانتی‌متر باشد انجام گرفت. عملیات کاشت به صورت هیرم‌کاری و روش آبیاری مزرعه، به صورت جوی و پشته بود. برای آبیاری مزرعه، در محیط تنش شوری از آب با هدایت الکتریکی ۳۵۰ میلی‌مولار NaCl و در محیط نرمال از آب شیرین منطقه استفاده گردید. کلیه عملیات زراعی مورد نیاز در طول دوره رشد و نمو بوته‌ها در شرایط تنش و نرمال به طور یکسان انجام شد. پس از حذف اثر حاشیه، اندازه‌گیری صفات براساس میانگین ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد گره، طول میانگره (سانتی‌متر)، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، طول ریشک (سانتی‌متر)، وزن هزار دانه (گرم) و عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بود. اندازه‌گیری عملکرد بوته، با برداشت تمام بوته‌های هر کرت صورت گرفت. تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه برای دو شرایط نرمال و تنش شوری، همبستگی ساده فنوتیپی بین صفات و آماره‌های توصیفی برای شرایط نرمال و تنش به صورت جداگانه محاسبه شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ صورت گرفت.

نقشه نشانگری برخی از لاین‌های هاپلوئید مضاعف جوی مورد بررسی تهیه نشده است به همین جهت، تجزیه و تحلیل QTL با به‌کاربردن نقشه مربوط به نشانگرهای مولکولی حاصل از ۱۱۸ لاین هاپلوئید مضاعف جو انجام شد. این نقشه مرکب از ۵۴۳ نشانگر DArT، STS-SNP و SSR با طول ۱۱۴۱ و متوسط فاصله ۲/۸ سانتی‌مورگان بود (Aghnoum et al., 2010; Francia et al., 2004).

تجزیه QTL به طور مجزا برای هر یک از دو شرایط نرمال و تنش و میانگین آن‌ها انجام شد. جهت تعیین QTLها و برآورد اندازه اثر آن‌ها، از روش نقشه‌یابی فاصله‌ای مرکب (CIM) استفاده شد. حداقل LOD برای شناسایی QTLها ۲/۵ و حداقل فاصله پویش ۲ سانتی‌مورگان در نظر گرفته شد. نشانگرهای پس زمینه (Cofactor) با رگرسیون پیش‌رو-پس‌رو (Forward and backward regression) تعیین شدند. علاوه

برای بهبود صفات مختلف همبسته با عملکرد کمک می‌کند (Koochakpour *et al.*, 2021).

در مطالعه حاضر، همبستگی منفی معنی‌داری بین تعداد پنجه در بوته و وزن هزار دانه (در شرایط نرمال و تنش به ترتیب ۰/۲۹- و ۰/۲۴-) مشاهده شد و نشان‌دهنده این است که با افزایش تعداد پنجه، وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. همبستگی منفی معنی‌دار بین تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله (در شرایط نرمال و تنش به ترتیب ۰/۵۷- و ۰/۷۷-) احتمالاً به دلیل تقسیم مواد فتوسنتزی گیاه بین تعداد بیشتری سنبله است بنابراین تعداد دانه‌های تشکیل‌شده در هر سنبله کاهش می‌یابد. به همین ترتیب همبستگی منفی معنی‌دار بین تعداد سنبله در بوته و وزن هزار دانه نیز قابل توجه است.

۰/۱۶ و ۰/۲۵). بالاترین میزان همبستگی بین تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته در هر دو شرایط (۱) بود. یعنی با افزایش یا کاهش تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله نیز افزایش یا کاهش می‌یابد. در بررسی دابل هاپلوئیدهای جو بین عملکرد دانه و اجزای آن (تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله) همبستگی مثبت بسیار معنی‌داری گزارش شده است (Mohammadi and Baom, 2008). همبستگی بالای بین صفات ممکن است به دلیل مکان یکسان QTL‌های کنترل‌کننده یا به دلیل پیوستگی میان آن‌ها باشد. همچنین تنوع یک صفت می‌تواند تنوع سایر صفات (پلیوتروپی) را تشریح کند (Siahsar *et al.*, 2008). اطلاعات مربوط به ماهیت و مقدار ضرایب همبستگی به به‌نژادگران در تعیین معیارهای انتخاب

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو به همراه والدین آن‌ها (Nure×Tremois) برای صفات زراعی

Table 2- Combined analysis of variance of barley double haploid lines and their parents (Nure×Tremois) for the agronomic traits

منابع تغییر S.O.V	df	تعداد پنجه در بوته No. of tiller/plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره No. of node	طول میانگره Internode length	تعداد سنبله در بوته No. of spikes/plant	تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	طول ریشک Awn length	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
محیط Environment	1	2.7**	10681**	1.6**	374**	2.7**	475**	0.71 ^{ns}	9.38*	116892**
تکرار (محیط) Rep (ENV)	2	0.03 ^{ns}	5.04 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.035 ^{ns}	15.7*	65.66**	3.44 ^{ns}	3544 ^{ns}
بلوک (تکرار × محیط) Block (Rep × ENV)	44	0.035 ^{ns}	5.24 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.035 ^{ns}	6.05 ^{ns}	1.004 ^{ns}	1.38 ^{ns}	2218 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype	137	0.18**	139**	1.45**	7.79**	0.18**	21.93**	7.21**	24.33**	74421**
ژنوتیپ × محیط Genotype × ENV	137	0.05**	34.2**	0.33**	1.63**	0.05**	6.45**	0.7 ^{ns}	0.8 ^{ns}	12285**
خطا Error	230	0.029	4.5	0.06	0.31	0.028	4.49	1.06	1.53	1967
ضریب تغییرات CV (%)		5.56	2.26	4.03	3.76	7.37	8.59	7.26	3.31	2.17
ضریب تبیین R ²		86.8	97	94	96	87	84	0.84	92	97

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- همبستگی‌های ساده فنوتیپی صفات مورد بررسی در لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن‌ها (Nure×Tremois) برای شرایط نرمال (پایین قطر) و تنش شوری (بالای قطر)

Table 3- Phenotypic correlations of the studied traits in barley double haploid lines and their parents (Nure×Tremois) for normal (above diagonal) and salt stress conditions (below diagonal)

صفت Trait	تعداد پنجه در بوته No. of tiller/plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره No. of node	طول میانگره Internode length	تعداد سنبله در بوته No. of spikes/plant	تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	طول ریشک Awn length	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
تعداد پنجه در بوته No. of tiller/plant	1	-0.21*	-0.06	-0.09	1.00**	-0.77**	-0.06	-0.24**	0.19*
ارتفاع بوته Height of plant	-0.017	1	0.47**	0.25**	-0.21*	0.3**	0.24**	-0.09	0.05
تعداد گره No. of node	-0.014	0.33**	1	-0.72**	-0.06	0.18*	0.16*	-0.23**	-0.02
طول میانگره Length of internode	-0.011	0.36**	-0.75**	1	-0.09	0.04	0.01	0.17*	0.06
تعداد سنبله در بوته No. of spike/plant	1.00**	-0.017	-0.014	-0.012	1	-0.77**	-0.06	-0.24**	0.19*
تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	-0.57**	0.2*	0.12	0.03	-0.57**	1	0.16*	-0.06	0.29**
طول ریشک Awn length	0.048	0.16*	0.05	0.07	0.05	0.04	1	-0.02	0.16
وزن هزار دانه 1000-grain weight	-0.29**	-0.23**	-0.25**	0.09	-0.29**	-0.17*	-0.04	1	0.25**
عملکرد دانه Grain yield	0.54**	0.007	-0.08	0.08	0.54**	0.11	0.09	0.16*	1

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

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

تنش برای تمامی صفات در دامنه تغییرات نتاج قرار گرفتند و تفکیک متجاوز هم در جهت منفی و هم در جهت مثبت مشاهده شد و نتایج برتر و بدتر از والدین در این جمعیت مشاهده شدند. در تمامی صفات، ضریب تغییرات فنوتیپی بزرگتر از ضریب تغییرات ژنوتیپی بود. درصد ضریب تغییرات ژنتیکی (GCV) در دو محیط بین ۶/۶۲ تا ۱۱/۹ درصد متغیر بود. و درصد ضریب تغییرات فنوتیپی (PCV) بین ۷/۳ تا ۱۵/۶ درصد قرار داشت. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی در شرایط تنش به دست آمد. با توجه به تنوع موجود به نظر می‌رسد انتخاب برای بهبود آن‌ها مؤثر باشد. با این وجود کارآیی انتخاب بستگی به میزان توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی دارد. میزان پیشرفت ژنتیکی و قابلیت توارث صفات مورد بررسی در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. بالا بودن میزان قابلیت توارث نشان‌دهنده نقش کمتر محیط در کنترل صفات و تنوع ژنتیکی بالای صفات در لاین‌های مورد مطالعه است (Feizi et al.,

بر اساس جداول آماره‌های توصیفی (جداول ۴ و ۵)، شرایط نرمال، والد Tremois نسبت به والد Nure برای صفاتی مانند ارتفاع بوته، طول میانگره، تعداد دانه در سنبله، طول ریشک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مقادیر بیشتر و برای صفات تعداد پنجه در بوته، تعداد گره و تعداد سنبله در بوته مقادیر کمتری را نشان داد. این در حالی است که تحت شرایط تنش شوری، والد Tremois از نظر تمامی صفات بر والد Nure برتری داشت. اختلاف بین والدین برای صفت تعداد دانه در سنبله در هر دو شرایط نرمال و تنش، معنی‌دار و برای سایر صفات غیر معنی‌دار بود. اختلاف بین میانگین هاپلوئیدهای مضاعف و میانگین والدین آن‌ها برای کلیه صفات مورد بررسی غیر معنی‌دار بود. در نتیجه، هاپلوئیدهای مضاعف مورد بررسی، نماینده کل هاپلوئیدهای مضاعف ممکن حاصل از تلاقی Tremois و Nure بوده و صفات مورد بررسی با اثرات جمع‌پذیر ژن‌ها کنترل می‌شوند. میانگین والدین در هر دو شرایط نرمال و

(2019). صفاتی که دارای توارث‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی بالا هستند ممکن است تحت کنترل عمل جمع‌پذیر ژن‌ها باشند و انتخاب برای آن‌ها مفید باشد.

جدول ۴- آماره‌های توصیفی صفات زراعی در لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن‌ها (Nure×Tremois) در شرایط نرمال

Table 4- Descriptive statistics of agronomic traits in barley double haploid lines and their parents (Nure×Tremois) for normal condition

	تعداد پنجه در بوته No. of tiller/plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره No. of node	طول میانگره Internode length	تعداد سنبله در بوته No. of spikes/plant	تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	طول ریشک Awn length	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Nure (P1)	3.23	101.17	6.16	16.4	2.48	24.5	11.7	36.8	2194.68
Tremois (P2)	3.08	103.25	5.74	18.02	2.3	27.5	14.01	38.68	2385.28
P ₁ -P ₂	0.14	2.07	0.41	1.6	0.14	3**	2.25	1.88	190.59
$=(P_1+P_2)/2\bar{x}_p$	3.15	102.2	5.95	17.2	2.4	26	12.9	37.74	2289.98
W _{DHs}	2.36	78.5	4.88	11.87	1.6	20	10.8	31.2	1653.78
B _{DHs}	3.47	116.3	8.7	20.45	2.7	33	18.2	45.5	2526.9
Range	1.11	37.87	3.8	8.57	1.1	13	7.3	14.3	873.14
$\bar{x}_{DHs}$	2.97	98.45	6.3	15.7	2.2	25.6	14.25	37.5	2055.1
SD _{DHs}	0.24	7.12	0.67	1.66	0.24	2.4	1.4	2.7	164.1
CV _{DHs}	8.05	7.23	10.65	10.56	10.7	9.5	9.7	7.2	7.98
$-\bar{x}_p\bar{x}_{DHs}$	-0.18	-3.75	0.35	-1.5	-0.2	-0.4	1.35	-0.24	-234.88
GG _N =W _{DH} -W _P	-0.72	-22.67	-0.86	-4.53	-0.7	-4.5	-0.9	-5.6	-540.9
GG _P =B _{DH} -B _P	0.24	13.05	2.54	2.43	0.22	5.5	4.19	6.82	141.62
GCV(%)	7.28	7.01	10.2	10.23	9.73	7.79	8.57	6.8	7.91
PCV(%)	8.68	7.3	10.97	10.83	11.6	9.34	10.9	7.54	8.18
GC (5%)	0.37	13.56	1.23	3.13	0.37	3.44	1.98	4.76	325.06
h ²	70.4	90.6	86.19	88.8	70.4	69.7	62.1	81.6	93.4

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. W_{DHs} بدترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ B_{DHs} بهترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ W_p بدترین والد؛ B_p بهترین والد؛ GG_N، پیشرفت ژنتیکی در جهت منفی؛ GG_P، پیشرفت ژنتیکی در جهت مثبت؛ GCV، ضریب تنوع ژنتیکی؛ PCV، ضریب تنوع فنوتیپی؛ GC5، بازده ژنتیکی برای ۵ درصد گزینش؛ h²، توارث‌پذیری خصوصی.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. W_{DHs}, DH with minimum trait value; B_{DHs}, DH with maximum trait value; W_p, parent with lower trait value; B_p, parent with higher trait value; GG_N, downward genetic gain; GG_P, upward genetic gain; GCV, genotypic coefficient of variation; PCV, phenotypic coefficient of variation; GC5%, genetic gain for 5% selection index; h², narrow sense heritability.

صفات مورد بررسی، ۲۴ جایگاه واجد QTL شناسایی شد به‌طوری‌که در شرایط نرمال ۹ عدد QTL (برای کلیه صفات به جز ارتفاع بوته، تعداد گره و طول ریشک)، در شرایط تنش ۸

QTL‌های صفات مختلف زراعی مربوط به جمعیت هاپلوئید مضاعف جو برای شرایط نرمال، تنش خشکی و میانگین دو شرایط در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. در مجموع برای

نمودند. بالاترین واریانس فنوتیپی تبیین شده مربوط به تعداد دانه در سنبله در میانگین دو شرایط، و پایین‌ترین واریانس فنوتیپی تبیین شده مربوط به صفات تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته و طول ریشک در شرایط نرمال بود. مقدار LOD در دامنه ۵/۰۴ - ۲/۵ قرار داشت. بیشترین و کمترین مقدار LOD مربوط به QTL‌های تعداد دانه در سنبله و تعداد گره هر دو در شرایط تنش بود.

عدد QTL (برای تمامی صفات به جز تعداد پنجه و تعداد سنبله در بوته) و در میانگین دو شرایط ۷ عدد QTL (برای کلیه صفات به جز تعداد سنبله در بوته، طول ریشک و عملکرد دانه) به‌دست آمد. برای صفت طول میانگره در دو شرایط نرمال و تنش هیچ QTL یافت نشد درحالی‌که در میانگین دو شرایط برای این صفت، یک عدد QTL شناسایی شد (جدول ۶ و ۷). این QTL‌ها، واریانس فنوتیپی بین ۸ تا ۱۶ درصد را تبیین

جدول ۵- آماره‌های توصیفی صفات زراعی در لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن‌ها (Nure×Tremois) در شرایط تنش شوری

Table 5- Descriptive statistics of agronomic traits in barley double haploid lines and their parents (Nure×Tremois) for salt stress condition

	تعداد پنجه در بوته No. of tiller/plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره No. of node	طول میانگره Internode length	تعداد سنبله در بوته No. of spikes/plant	تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	طول ریشک Awn length	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Nure (P1)	3.022	88.4	6.2	14.27	2.27	25	12	36.16	2048.02
Tremois (P2)	3.056	95.3	6.4	14.9	2.3	26	12.38	37.95	2203.85
P ₁ -P ₂	0.034	6.87	0.2	0.65	0.034	1.0**	0.39	1.78	155.8
=(P ₁ +P ₂)/2 $\bar{x}_p$	3.04	91.88	6.3	14.6	2.29	25.5	12.19	37.06	2125.94
W _{DHs}	2.5	67.12	4.47	10.3	1.7	16	9.6	31.7	1694.6
B _{DHs}	3.9	104.7	8.67	19.4	3.2	32	17.8	45.5	2391.7
Range	1.45	37.6	4.2	9.05	1.45	16	8.2	13.7	697.1
$\bar{x}_{DHs}$	3.13	89.2	6.4	14.05	2.38	23.65	14.1	37.2	2025.5
SD _{DHs}	0.29	7.2	0.7	1.5	0.29	3.3	1.53	2.6	157.8
CV _{DHs}	9.4	8.13	11.4	11	12.3	13.97	10.8	7.08	7.8
$-\bar{x}_p \bar{x}_{DHs}$	0.09	-2.68	-0.1	-0.55	0.09	-1.85	1.91	0.14	-100.44
GG _N =W _{DH} -W _P	-0.52	-21.28	-1.73	-3.97	-0.57	-9	-2.4	-4.46	-353.42
GG _P =B _{DH} -B _P	0.84	9.4	2.27	4.5	0.9	6	5.42	7.55	187.85
GCV(%)	8.14	7.9	10.99	10.6	10.71	11.9	9.3	6.62	7.59
PCV(%)	10.35	8.26	11.7	11.25	13.6	15.6	12.08	7.42	7.9
GC (5%)	0.414	14.01	1.36	2.89	0.41	4.43	2.1	4.54	304.39
h ²	61.9	92.09	88.2	88.7	61.9	58	59.6	79.7	91.7

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. W_{DHs} بدترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ B_{DHs}، بهترین لاین هاپلوئید مضاعف؛ W_P، بدترین والد؛ B_P، بهترین والد؛ GG_N، پیشرفت ژنتیکی در جهت منفی؛ GG_P، پیشرفت ژنتیکی در جهت مثبت؛ GCV، ضریب تنوع ژنتیکی؛ PCV، ضریب تنوع فنوتیپی؛ GC5%، بازده ژنتیکی برای ۵ درصد گزینش؛ h²، توارث پذیری خصوصی.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. W_{DHs}, DH with minimum trait value; B_{DHs}, DH with maximum trait value; W_P, parent with lower trait value; B_P, parent with higher trait value; GG_N, downward genetic gain; GG_P, upward genetic gain; GCV, genotypic coefficient of variation; PCV, phenotypic coefficient of variation; GC5%, genetic gain for 5% selection index; h², narrow sense heritability.

جدول ۶- QTL‌های صفات مورد بررسی در لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن‌ها (Nure×Tremois) تحت شرایط نرمال و تنش شوری

Table 6- QTLs of the studied traits in double haploid lines of barley and their parents (Nure×Tremois) under normal and salt stress conditions

صفات Traits	QTL	گروه لینکازی Linkage Group	نزدیکترین نشانگر Nearest marker	موقعیت QTL position	LOD		اثر آلی (افزایشی) Allelic effect (additive)		ضریب تبیین (%) R ² %	
					تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal	تنش Stress	نرمال Normal
تعداد پنجه در بوته No. of tiller/plant	<i>Qnt1Hna</i>	1H	bPb-4813-1H	31	-	2.8	-	-0.09	-	9
	<i>Qnt1Hnb</i>	1H	E41M38_206-1H	46.2	-	2.7	-	0.1	-	8
ارتفاع بوته Plant height	<i>Qpht2Hs</i>	2H	bPb-1154-2H	147.2	2.9	-	-2.72	-	9.8	-
تعداد گره No. of node	<i>Qnn7Hs</i>	7H	bPb-1209-7H	46.5	2.5	-	-0.22	-	8	-
تعداد سنبله در بوته No. of spikes/plant	<i>Qns1Hna</i>	1H	bPb-4813-1H	31	-	2.84	-	-0.09	-	9
	<i>Qns1Hnb</i>	1H	E41M38_206-1H	46.2	-	2.77	-	0.1	-	8
تعداد دانه در سنبله No. of grains/spike	<i>Qng2H</i>	2H	bPb-8737-2H	110.8	5.04	4.02	-1.32	-0.92	15	12
	<i>Qng5Hn</i>	5H	bPb-9147-5H	168.7	-	3.57	-	0.89	-	10
طول ریشک Awn length	<i>Qal1Hs</i>	1H	bPb-1541-1H	55.1	2.8	-	-0.48	-	9	-
عملکرد دانه Grain yield	<i>Qgy2Hsa</i>	2H	bPb-5942-2H	142.8	2.79	-	-50.3	-	9	-
	<i>Qgy2Hsb</i>	2H	HvCSG-2H	152.3	3.75	-	-54.88	-	11	-
	<i>Qgy2Hsc</i>	2H	bPb-4092-2H	154.6	2.75	-	-49.48	-	9	-
	<i>Qgy3Hn</i>	3H	bPb-2324-3H	52.1	-	2.87	-	-49.2	-	9
وزن هزار دانه 1000-grain weight	<i>Qtgw1H</i>	1H	WMC1E8-1H	112.6	4.02	4.18	1.01	1.02	12	13
	<i>Qtgw3Hn</i>	3H	bPb-9207-3H	179.5	-	2.9	-	1.1	-	8

LOD: احتمال درست‌نمایی؛ اثر افزایشی مثبت نشان می‌دهد که آلل Nure مقدار صفت را افزایش داده است. $R^2(\%) =$ درصد واریانس فنوتیپی که توسط هر QTL توجیه می‌شود؛

LOD: The likelihood of odds; Positive value indicate that the "Nure" allele increases the trait value; $R^2(\%) =$ Percentage of phenotypic variance explained by the QTLs.

شناسایی شده، روی کروموزوم 2H و در موقعیت ۱۴۷/۲ سانتی‌مورگان و در نزدیکی نشانگر bPb-1154-2H قرار داشتند. واریانس فنوتیپی تبیین شده به وسیله آن‌ها ۹/۸ و ۱۱ درصد به ترتیب در شرایط تنش و میانگین دو شرایط بود. برای صفت طول میانگره، در شرایط نرمال و تنش شوری، QTLی یافت نشد ولی در میانگین دو شرایط، یک QTL (*Qil1Hm*) بر روی کروموزوم 1H در موقعیت ۷۳/۲ سانتی‌مورگان و در نزدیکی نشانگر E39M61_247-1H شناسایی شد که ۹ درصد از تنوع فنوتیپی کل را توجیه می‌کرد. این QTL دارای اثر افزایشی ۰/۴۳- بود. برای صفت تعداد گره در شرایط تنش یک QTL شناسایی

QTL‌های مکان‌یابی شده در مجموع ۱۷ درصد از تنوع کل تعداد پنجه در بوته را در شرایط نرمال تبیین نمودند. در شرایط نرمال برای این صفت دو QTL شناسایی شد، درحالی‌که در شرایط تنش و میانگین دو شرایط هیچ QTLی برای این صفت یافت نشد. QTL‌های *Qnt1Hna* و *Qnt1Hnb* هر دو بر روی کروموزوم 1H در جایگاه‌های ۳۱ و ۴۶/۲ سانتی‌مورگان نزدیک نشانگرهای bPb-4813-1H و E41M38_206-1H نقشه‌یابی شدند.

برای صفت ارتفاع بوته در مجموع دو QTL در شرایط تنش (*Qpht2Hs*) و میانگین دو شرایط (*Qpht2Hm*) شناسایی شد درحالی‌که در شرایط نرمال، QTLی یافت نشد. هر دو QTL

شد که بر روی کروموزوم 7H در موقعیت ۴۶/۵ سانتی مورگان و در مجاورت نشانگر 7H-1209-bPb قرار داشت قرار داشت این QTL دارای اثر افزایشی ۰/۲۲- بود و ۸ درصد از تنوع فنوتیپی کل را توجیه نمود. در شرایط نرمال برای این صفت QTL شناسایی نشد. درحالی که در میانگین دو شرایط یک QTL روی کروموزوم 6H در موقعیت ۵۷/۸ سانتی مورگان در مجاورت نشانگر 6H-unk3-bPb تعیین مکان گردید که ۹ درصد از تنوع فنوتیپی را توجیه نمود. این QTL دارای اثر افزایشی ۰/۲۹ بود. دو QTL (*Qns1Hna* و *Qns1Hnb*) برای صفت تعداد سنبله در بوته در شرایط نرمال شناسایی شد در شرایط تنش و میانگین دو شرایط برای این صفت، هیچ QTL یافت نشد. QTLهای شناسایی شده در شرایط نرمال هر دو بر روی

کروموزوم 1H قرار داشتند و در مجموع ۱۷ درصد از تنوع فنوتیپی را توجیه نمودند. این QTLها در موقعیت های ۳۱ و ۴۶/۲ سانتی مورگان و به ترتیب در مجاورت نشانگرهای bPb-4813-1H و E41M38_206-1H قرار داشتند. QTLهای شناسایی شده دارای اثرات افزایشی به ترتیب ۰/۰۹- و ۰/۱ بودند. در مطالعه جمعیت هاپلوئید مضاعف حاصل از تلاقی CM72 و Gairdner تحت تنش شوری، برای صفت تعداد سنبله در بوته ۳ QTL بر روی کروموزوم های 1H، 5H و 7H شناسایی شدند (Xue et al., 2009b). تفاوت نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج ما احتمالاً به دلیل تفاوت جمعیت های مورد استفاده می باشد.

جدول ۷- QTLهای صفات مورد بررسی در لاین های هاپلوئید مضاعف جو و والدین آن ها (Nure×Tremois) برای میانگین دو شرایط

Table 7- QTLs of the studied traits in double haploid lines of barley and their parents (Nure×Tremois) for the mean of two conditions

صفات	QTL	گروه لینکاژی	نزدیکترین نشانگر	موقعیت QTL	LOD	اثر آلی (افزایشی)	R ² %	R ² کل
Traits		Linkage Group	Nearest marker	QTL position		Allelic effect (additive)		Total R ² %
ارتفاع بوته	<i>Qpht2Hm</i>	2H	bPb-1154-2H	147.2	3.378	-2.66	11	11
Plant height								
طول میانگره	<i>Qil1Hm</i>	1H	E39M61_247-1H	73.2	2.8	-0.43	9	9
Internode length								
تعداد گره	<i>Qnn6Hm</i>	6H	bPb-unk3-6H	57.8	3.2	0.29	9	9
No. of node								
تعداد دانه در سنبله	<i>Qng2Hma</i>	2H	E42M38_235-2H	109.6	4.9	-1.06	16	25
No. of grains/spike								
وزن هزار دانه	<i>Qng2Hmb</i>	2H	E42M38_210-2H	118.3	2.7	-0.7	9	
1000-grain weight	<i>Qtgw1Hm</i>	1H	WMC1E8-1H	112.6	4.12	0.98	12	21
	<i>Qtgw3Hm</i>	3H	bPb-5864-3H	180.5	2.9	1.09	9	

LOD: احتمال درست نمایی؛ اثر افزایشی مثبت نشان می دهد که آلل Nure مقدار صفت را افزایش داده است. ($R^2(\%) = \text{درصد واریانس فنوتیپی که توسط هر QTL توجیه می شود}$)

LOD: The likelihood of odds; Positive value indicate that the "Nure" allele increases the trait value; $R^2(\%) = \text{Percentage of phenotypic variance explained by the QTLs}$.

QTLهای صفت تعداد دانه در سنبله حدود ۲۲، ۱۵ و ۲۵ درصد از تنوع کل را به ترتیب در شرایط نرمال، تنش شوری و میانگین دو شرایط تشریح نمودند. دو QTL در شرایط نرمال (*Qng2H* و *Qng5Hn*)، یک QTL در شرایط تنش (*Qng2H*)

و دو QTL در میانگین دو شرایط (*Qng2Hmb* و *Qng2Hma*) شناسایی شدند. در شرایط نرمال QTLها به ترتیب روی کروموزوم های 2H و 5H در مکان های ۱۱۰/۸ و ۱۶۸/۷ bPb-۸۷۳۷-2H و bPb-۸۷۳۷-2H نشانگرهای bPb-۸۷۳۷-2H و bPb-۸۷۳۷-2H

5H-9147 قرار داشتند. در شرایط تنش، QTL شناسایی‌شده روی کروموزوم 2H در مجاورت نشانگر bPb-8737-2H نقشه‌یابی گردید. در میانگین دو شرایط هر دو QTL نقشه‌یابی شده روی کروموزوم 2H و به ترتیب در مکان‌های ۱۰۹/۶ و ۱۱۸/۳ در مجاورت نشانگرهای E42M38_235-2H و E42M38_210-2H قرار داشتند. QTL بزرگ اثر و پایدار *Qng2H* در هر دو شرایط نرمال و تنش در مجاورت نشانگر bPb-8737-2H با LOD برابر ۴/۰۲ و ۵/۰۴ قرار داشتند که نشان‌دهنده غیر حساس بودن این QTL به شرایط محیطی متفاوت است.

در مطالعه‌ای بر روی جمعیت ژنوتیپ‌های جو، برای صفت تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال، QTL‌هایی بر روی کروموزوم‌های 5H، و در شرایط تنش خشکی، QTL‌هایی بر روی کروموزوم‌های 3H، 5H و 6H شناسایی شدند (Jabbari *et al.*, 2018). در پژوهشی جهت مکان‌یابی QTL‌های تحمل به شوری، در جمعیت دابل هاپلوئید حاصل از تلاقی Clipper و Sahara 3771 برای صفت تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه یک QTL مشترک روی کروموزوم 2H در مجاورت نشانگر *Vrs1* شناسایی شد (Barati *et al.*, 2017). طبق برخی گزارشات، تفاوت در QTL‌های شناسایی‌شده به دلیل اختلافات ژنوتیپی جمعیت‌های جو در تحمل به شوری است (Xue *et al.*, 2009b).

تنها یک جایگاه واجد QTL برای صفت طول ریشک در شرایط تنش شوری (*Qal1Hs*) شناسایی شد درحالی‌که در شرایط نرمال و میانگین دو شرایط هیچ QTL‌ی برای این صفت یافت نگردید. QTL شناسایی‌شده روی کروموزوم 1H در موقعیت ۵۵/۱ سانتی‌مورگان و در مجاورت نشانگر bPb-1541-1H قرار داشت و ۹ درصد از تنوع فنوتیپی کل را توجیه نمود. برای صفت طول ریشک تحت تنش در مطالعات قبلی، QTL‌هایی بر روی کروموزوم‌های 2H و 4H در جمعیت هاپلوئید مضاعف حاصل از تلاقی Steptoe و Morex شناسایی شد (Fakheri and Mehravaran, 2013). تفاوت در جایگاه‌های شناسایی‌شده احتمالاً به دلیل تفاوت جمعیت‌های مورد مطالعه است.

برای صفت عملکرد دانه در مجموع چهار QTL شناسایی شد. در شرایط نرمال یک QTL (*Qgy2Hn*) و در شرایط تنش

سه QTL (*Qgy2Hsa*، *Qgy2Hsb* و *Qgy2Hsc*) نقشه‌یابی شدند که در مجموع به ترتیب ۲۹ و ۹ درصد از تنوع فنوتیپی را توجیه نمودند. در شرایط تنش شوری، هر سه QTL روی کروموزوم 2H و در جایگاه‌های ۱۴۲/۸، ۱۵۲/۳ و ۱۵۴/۶ سانتی‌مورگان و به ترتیب در نزدیکی نشانگرهای bPb-5942-2H، HvCSG-2H و bPb-4092-2H قرار داشتند. این QTL‌ها به ترتیب ۹، ۱۱ و ۹ درصد از تغییرات فنوتیپی این صفت را تبیین نمودند. QTL شناسایی شده در شرایط نرمال روی کروموزوم 3H و در موقعیت مکانی ۵۲/۱ سانتی‌مورگان و در مجاورت نشانگر bPb-2324-3H قرار داشت. در میانگین دو شرایط برای صفت عملکرد دانه QTL‌ی مشاهده نشد. در مطالعه همین جمعیت (Nure×Tremoise) در مناطق مدیترانه‌ای، QTL‌های مربوط به عملکرد دانه بر روی کروموزوم‌های 2H، 5H و 1H و برای اجزای عملکرد، QTL‌هایی بر روی کروموزوم 4H شناسایی شدند. در این مطالعه بیشترین تعداد QTL‌های شناسایی شده برای عملکرد، روی کروموزوم 2H قرار داشت (Tondelli *et al.*, 2014). مطالعه ما نیز اکثر QTL‌های صفات مورد بررسی روی کروموزوم 2H قرار دارند؛ بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که احتمالاً ژن‌های کنترل‌کننده عملکرد روی کروموزوم 2H قرار دارند.

QTL‌های وزن هزار دانه در مجموع ۲۱، ۱۲ و ۲۱ درصد از تغییرات فنوتیپی کل این صفت را به ترتیب در شرایط نرمال، تنش شوری و میانگین دو شرایط تبیین نمودند. دو جایگاه واجد QTL برای صفت وزن هزار دانه در شرایط نرمال (*Qtgw1H* و *Qtgw3Hn*)، یک جایگاه واجد QTL در شرایط تنش (*Qtgw1H*) و دو جایگاه واجد QTL برای میانگین دو شرایط (*Qtgw1Hm* و *Qtgw3Hm*) شناسایی شدند. در شرایط نرمال این QTL‌ها به ترتیب روی کروموزوم‌های 1H و 3H در مکان‌های ۱۱۲/۶ و ۱۷۹/۵ سانتی‌مورگان، نزدیک نشانگرهای WMC1E8-1H و bPb-9207-3H قرار داشتند و به ترتیب ۱۳ و ۸ درصد از تغییرات فنوتیپی این صفت را تبیین نمودند. در شرایط تنش، QTL شناسایی شده روی کروموزوم 1H، در موقعیت ۱۱۲/۶ سانتی‌مورگان در مجاورت نشانگر WMC1E8-1H قرار داشت و ۱۲ درصد از تنوع این صفت را تبیین نمود. برای میانگین دو شرایط، QTL‌های نقشه‌یابی شده روی کروموزوم‌های 1H و 3H به ترتیب در مکان‌های ۱۱۲/۶ و

۱۸۰/۵ سانتی‌مورگان و در نزدیکی نشانگرهای WMC1E8-1H و bPb-5864-3H قرار داشتند. این QTL ها به ترتیب ۱۲ و ۹ درصد از تغییرات فنوتیپی کل را توجیه نمودند. QTL های شناسایی شده روی کروموزوم 1H (*Qtgw1H*) در شرایط نرمال و تنش در مجاورت نشانگر WMC1E8-1H هم مکان بودند که نشان از تظاهر این QTL در شرایط محیطی متفاوت دارد. این در حالیکه در مطالعه‌ای جهت بررسی جایگاه‌های ژنومی کنترل‌کننده صفت وزن هزار دانه در جمعیت جوی بهاره، یک QTL بر روی کروموزوم 2H در فاصله ۱۰/۸۷ سانتی‌مورگان و یک QTL روی کروموزوم 4H در فاصله ۱۲۵/۰۸ سانتی‌مورگان شناسایی شده است (Koochakpour et al., 2021).

اجزای عملکرد دانه صفات پیچیده چند ژنی هستند که تحت تأثیر محیط و عوامل ژنتیکی و تعامل بین آن‌ها قرار می‌گیرند (Farokhzadeh et al., 2019). هم‌مکانی یا هم‌پوشانی دو QTL بر روی یک کروموزوم، همبستگی فنوتیپی معنی‌دار بین دو صفت را نشان می‌دهد. نوع اثرات افزایشی مربوط به این QTL ها توجیه‌کننده همبستگی مثبت و منفی بین صفات است. QTL های هم‌مکانی که دارای اثرات افزایشی مشابه هستند، دارای همبستگی مثبت و QTL های هم‌مکانی که دارای اثرات افزایشی متفاوتند دارای همبستگی منفی می‌باشند (Farokhzadeh et al., 2019). هم‌مکانی چند QTL باعث همبستگی بالای صفات می‌شود از طرفی همبستگی‌های ضعیف بین صفات به دلیل عدم وجود QTL مشترک بین آن‌ها می‌باشد (Fakheri and Mehravar, 2013). در این تحقیق برای صفات تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته QTL های هم‌مکان *Qns1Hna* و *Qnt1Hna* در جایگاه ۳۱ سانتی‌مورگان و *Qnt1Hnb* و *Qns1Hnb* در جایگاه ۴۶/۲ سانتی‌مورگان، بر روی کروموزوم 1H مشاهده شد از طرفی اثرات افزایشی آن‌ها مشابه بود که نشان‌دهنده همبستگی بالای بین این دو صفت می‌باشد. در تحقیقی دیگر در بررسی صفات مورفولوژیکی در جمعیت لاین‌های هاپلوئید مضاعف جو حاصل از تلاقی Steptoe×Morex، هم‌مکانی QTL های این دو صفت مشاهده شده است (Fakheri and Mehravar, 2013).

هم‌مکانی QTL ها به دلیل لینکاژ بین دو ژن، یا اثر پلیوتروپی یک ژن است (Farokhzadeh et al., 2020). در هم‌مکانی ناشی از اثرات پلیوتروپی همبستگی بین صفات هرگز

شکسته نمی‌شود. چرا که پلیوتروپی اجزای فرعی صفات را کنترل می‌کند. در پلیوتروپی انتخاب یک صفت باعث کاهش یا افزایش صفات همبسته می‌شود. اثر بزرگ QTL های جایگاه ۳۱ سانتی‌مورگان در نزدیکی نشانگر bPb-4813-1H روی کروموزوم 1H بر صفات تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته و نیز اثر بزرگ QTL های جایگاه ۴۶/۲ سانتی‌مورگان در نزدیکی نشانگر E41M38_206-1H روی کروموزوم 1H نشان‌دهنده این است که احتمالاً ژن‌های خوشه‌ای کنترل‌کننده اجزای عملکرد دانه در این نواحی از کروموزوم قرار گرفته است. QTL ها معمولاً شامل تعداد زیادی ژن یا مکان‌های ژنی می‌باشند که همه یا بعضی یا حتی گاهی یکی از آن‌ها به صفت کمی مربوط می‌شوند. بیشتر QTL ها دارای اثرات کوچک‌اند فقط تعدادی از آن‌ها اثرات قوی نشان می‌دهند، بنابراین شناسایی QTL های با اثر بزرگ بر روی فنوتیپ امکان‌پذیر می‌شود (Khalili and Mohammadian, 2016). در اینجا QTL های دارای R^2 بالاتر از ۱۰ و LOD بیشتر از ۳ به عنوان QTL های قوی و بزرگ اثر معرفی می‌شوند. در این تحقیق در مجموع دو شرایط و میانگین آن‌ها، ۷ عدد QTL قوی و بزرگ اثر شناسایی شد. برای صفت تعداد دانه در سنبله، در شرایط نرمال و تنش، یک QTL روی کروموزوم 2H (*Qng2H*) در مجاورت نشانگر bPb-8737-2H و همچنین QTL دیگری در شرایط نرمال، روی کروموزوم 5H (*Qng5Hn*) در مجاورت نشانگر bPb-9147-5H، QTL های قوی و بزرگ اثر بودند. همچنین برای صفت عملکرد دانه در شرایط تنش، یک QTL (*Qgy2Hsb*) در مجاورت نشانگر HvCSG-2H و برای صفت وزن هزار دانه در شرایط نرمال، یک QTL (*Qtgw1H*) در مجاورت نشانگر WMC1E8-1H، QTL های قوی و بزرگ اثر بودند. در میانگین دو شرایط، برای صفت ارتفاع بوته یک QTL (*Qpht2Hm*) در مجاورت نشانگر bPb-1154-2H، برای صفت تعداد دانه در سنبله یک QTL (*Qng2Hma*) در مجاورت نشانگر E42M38_235-2H، و برای صفت وزن هزار دانه، یک QTL (*Qtgw1Hm*) در مجاورت نشانگر WMC1E8-1H، QTL های قوی و بزرگ اثری بودند. واضح‌ترین QTL بزرگ اثر در این مطالعه، مربوط به تعداد سنبله در بوته (*Qng2Hma*) در میانگین دو شرایط روی کروموزوم 2H در مجاورت نشانگر E42M38_235-2H با LOD برابر با ۴/۹ بود که بیش از ۱۶

درصد از واریانس فنوتیپی کل را توجیه نمود.

از مهم‌ترین اهداف به‌نژادی گیاهی، اصلاح ژنوتیپ‌های دارای عملکرد و کیفیت بالا است به‌طوری‌که در محیط‌های مختلف از پایداری لازم برخوردار باشند (Yadav et al., 2003). برای دست‌یابی به پایداری یک رقم، یک راه شناسایی QTL‌های پایدار یا QTL‌های دارای حداقل اثر متقابل QTL در محیط ($Q \times E$) است که در گزینش به کمک نشانگر برای دست‌ورزی صفات مفید باشند. راه دیگر، دست‌یابی به ارقام دارای سازگاری وسیع از طریق هرمی کردن QTL‌های متفاوت مربوط به اقلیم‌های گوناگون در یک رقم است. بنابراین برای اهداف به‌نژادی، اولین موضوع پایداری در ظهور QTL‌های نقشه‌یابی شده‌ای است که ممکن است کاندیدای گزینش به کمک نشانگر باشند. QTL‌های پایدار، باعث پایداری نسبی کنترل ژنتیکی می‌شوند و بر اثر متقابل $Q \times E$ فائق می‌آیند. برای دست‌یابی به QTL‌های پایدار لازم است آزمایش در چند محیط مختلف تکرار شود تا QTL‌های محیط اختصاصی شناسایی شوند (Farokhzadeh et al., 2020; Mahdinejad et al., 2014). پایداری QTL‌ها در محیط‌ها و زمینه‌های ژنتیکی مختلف، به دلیل کنترل صفات توسط تعداد اندکی مکان ژنی با اثرات زیاد است. این موضوع، مهم‌ترین بخش گزینش به کمک نشانگر است (Fakheri and Mehravaran, 2014). در بین ۲۴ عدد QTL شناسایی شده تنها یک QTL در دو شرایط و میانگین دو شرایط دارای ثبات و پایداری بود. سایر صفات از پایداری لازم برخوردار نبودند و QTL‌های متنوعی برای آن‌ها شناسایی شد. QTL پایدار شناسایی شده (*Qtgw1H*) مربوط به صفت وزن هزار دانه بود که از آن می‌توان در انتخاب به کمک نشانگر استفاده نمود. نشانگرهای شناسایی شده برای این صفت، علاوه بر لینکاژ نزدیک با ژن مربوط به صفت وزن هزار دانه، دارای وراثت‌پذیری بالایی بوده و به آسانی قابل مشاهده است. از

نشانگرهای شناسایی‌شده مربوط به QTL‌های پایدار می‌توان در مطالعات بعدی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش، بین کلیه ژنوتیپ‌ها اختلافات آماری معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثر ژنوتیپ در محیط بر کلیه صفات به جز وزن هزار دانه و طول ریشک معنی‌دار بود یعنی وزن هزار دانه و طول ریشک در ژنوتیپ‌ها، تحت تأثیر محیط قرار نگرفتند. QTL‌های مربوط به دو صفت تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته دارای جایگاه یکسانی بودند که نشان‌دهنده لینکاژ و همبستگی بین این صفات می‌باشد. در این تحقیق از ۲۴ عدد QTL شناسایی‌شده فقط یک QTL مربوط به صفت وزن هزار دانه (*Qtgw1H*)، در هر سه شرایط پایدار بود و گزینه مناسبی در گزینش به کمک نشانگر است. با این حال، تکرار آزمایش در سال‌ها و مکان‌های بیشتر و متفاوت جهت بررسی پایداری QTL‌ها باید صورت گیرد چرا که دست‌یابی به QTL‌های پایدار در محیط‌های مختلف، باعث غلبه بر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌شود. همچنین در این تحقیق، ۷ QTL بزرگ اثر و قوی شامل *Qng5Hn*، *Qng2H* و *Qng2Hma*، *Qpht2Hm*، *Qtgw1H*، *Qgy2Hsb* و *Qtgw1Hm* شناسایی شد که دارای R^2 بالاتر از ۱۰ و LOD بالاتر از ۳ بودند. واضح‌ترین QTL بزرگ اثر در این مطالعه، مربوط به تعداد سنبله در بوته (*Qng2Hma*) در میانگین دو شرایط روی کروموزوم 2H در مجاورت نشانگر E42M38_235-2H با LOD برابر با ۴/۹ بود که بیش از ۱۶ درصد از واریانس فنوتیپی کل را توجیه نمود. QTL‌های تعداد پنجه در بوته و تعداد سنبله در بوته، QTL‌های هم مکان بودند هم مکانی آن‌ها نشان‌دهنده این است که این دو صفت دارای همبستگی شدید با هم می‌باشند.

References

- Aghnoum, R., Marcel, T.C., Johrde, A., Pecchioni, N., Schweizer, P. and Niks, R.E. 2010. Basal host resistance of barley to powdery mildew: Connecting quantitative trait loci and candidate genes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23, pp.91-10. doi: 10.1094/mpmi-23-1-0091
- Ahmadi-Ochtapeh, H., Soltanloo, H., Ramazanpour, S.S., Naghavi, M.R., Nikkhah, H.R. and Yoosefi Rad, S. 2015. QTL mapping for salt tolerance in barley at seedling growth stage. *Biologia Plantarum*, 59(2), pp.283-

290. doi: 10.1007/s10535-015-0496-z

- Aminfar, Z., Dadmehr, M., Korouzhdehi, B., Siahshar, B.A. and Heidari, M. 2011. Determination of chromosomes that control physiological traits associated with salt tolerance in barley at the seedling stage. *African Journal of Biotechnology*, 10(44), pp.8794-8799. doi: 10.5897/ajb10.1538
- Baghizadeh, A., Taei, A.R. and Naghavi, M.R. 2007. QTL analysis for some agronomic traits in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agriculture and Biology*, 2, pp.372-374.
- Barati, A., Moghadam, M., Mohammadi, S.A., Ghazvini, H.A. and Sadeghzadeh, B. 2017. Identification of QTLs associated with agronomic and physiological traits under salinity stress in barley. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, pp.185-200.
- Dudley, J.W. 1997. Quantitative genetic and plant breeding. *Advanced Agronomy*, 59, pp.1-23.
- Fakheri, B.A. and Mehravaran, L. 2013. Locating QTLs Controlling Agronomic Traits of "Steptoe×Morex" Derived Double Haploid Population of Barley under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 44(1), pp.47-57. [In Persian]. doi: 10.22059/ijfcs.2013.30483
- Fakheri, B.A. and Mehravaran, L. 2014. QTLs mapping of physiological and biochemical traits of barley under drought stress condition. *Iranian Journal of Sciences*, 4(60), pp.367-386. [In Persian].
- FAO. 2008. FAOSTAT. Land and plant nutrition management service. Available at <http://www.fao.org/ag/Agl/agll/spuch>.
- FAO. 2013. FAOSTAT. The state of food and agriculture, Food system for better nutrition. <http://faostat.fao.org/site>.
- Farokhzadeh, S., Fakheri, B.A., Mahdinejad, N., Tahmasebi, S. and Mirsoleimani, A. 2019. Mapping QTLs of flag leaf morphological and physiological traits related to aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(4), pp. 975-990. doi: 10.1007/s12298-019-00670-8
- Farokhzadeh, S., Fakheri, B.A., Mahdinejad, N., Tahmasebi, S., Mirsoleimani, A. and Heidari, B. 2020. Mapping QTLs associated with grain yield and yield-related traits under aluminum stress in bread wheat. *Crop and Pasture Science*, 71(5), pp.429-444. doi: 10.1071/cp19511
- Feizi, M., Solouki, M., Sadeghzadeh, B., Fakheri, B. and Mohammadi, S.A. 2019. QTL Mapping for Higher Seed Zn Concentration and Content in Barley using SSR Markers. *Journal of Crop Breeding*, 11(30), pp.58-67. [In Persian].
- Francia, E., Rizza, F., Cattivelli, L., Stanca, A., Galiba, G., Toth, B., Hayes, P., Skinner, J. and Pecchioni, N. 2004. Two loci on chromosome 5H determine low-temperature tolerance in a 'Nure'(winter)×'Tremois'(spring) barley map. *Theoretical and Applied Genetics*, 108, pp.670-680. doi: 10.1007/s00122-003-1468-9
- Francia, E., Barabaschi, D., Tondelli, A., Laidò, G., Rizza, F., Stanca, A.M. and Pecchioni, N. 2007. Fine mapping of a HvCBF gene cluster at the frost resistance locus Fr-H2 in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(8), pp.1083-1091. doi: 10.1007/s00122-007-0634-x
- Francia, E., Tondelli, A., Rizza, F., Badeck, F.W., Nicosia, O.L.D., Akar, T. and Pecchioni, N. 2011. Determinants of barley grain yield in a wide range of Mediterranean environments. *Field Crops Research*, 120(1), pp.169-

178. doi: **10.1016/j.fcr.2010.09.010**
- Hosseini-rad, F., Jorjani, E., Sabouri, H. and Gholamalipor Alamdari, E. 2021. Detection of quantitative genes controlling of metabolic in rice seedling under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), pp.1271-1280. [In Persian]. doi: **10.22077/escs.2020.2344.1607**
- Jabbari, M., Fakheri, B.A., Aghnoum, R., Mahdi Nezhad, N. and Ataei, R. 2018. GWAS analysis in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) for morphological traits exposed to drought. *PloS one*, 13(9), e0204952. doi: **10.1371/journal.pone.0204952**
- Khalili, M. and Mohammadian, R. 2016. Identifying QTLs associated with salinity tolerance in early stages of barley germination. *Crop Biotechnology*, 13, pp. 41-55. doi: **20.1001.1.22520783.1395.6.13.4.6**
- Koochakpour, Z., Solouki, M., Fakheri, B.A., Aghnoum, R., Mahdi Nezhad, N. and Jabbari, M. 2021. Identification of genomic loci controlling phenologic and morphologic traits in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using association analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(4), pp.291-304. [In Persian]. doi: **10.52547/abj.22.4.291**
- Laidò, G., Barabaschi, D., Tondelli, A., Gianinetti, A., Stanca, A.M., Li Destri Nicosia, O. and Pecchioni, N. 2009. QTL alleles from a winter feed type can improve malting quality in barley. *Plant Breeding*, 128(6), pp.598-605. doi: **10.1111/j.1439-0523.2009.01636.x**
- Mahdinejad, N., Omid, M., Jalalkamali, M.R., Naghavi, M.R. and Fakheri, B.A. 2014. QTL analysis of some phenological and morphological traits in Babax and Seri M82 recombinant inbred line population of wheat during salinity stress. *Modern Genetics Journal*, 9(2), pp.207-218. [In Persian].
- Mohammadi, M. and Baom, M. 2008. QTL analysis for morphological traits in the population of double Haploide barley. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 45(1), pp.111-120. [In Persian].
- Munns, R., James, R.A. and Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57, pp.1025-1043. doi: **10.1093/jxb/erj100**
- Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651-681.
- Mwando, E., Han, Y., Angessa, T.T., Zhou, G., Hill, C.B., Zhang, X.Q. and Li, C. 2020. Genome-wide association study of salinity tolerance during germination in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in Plant Science*, 11, p.118. doi: **10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911**
- Peighambari, S.A., Yazdi Samadi, B., Nabipour, A., Charmet, G. and Sarrafi, A. 2005. QTL analysis for agronomic traits in barley doubled haploids population grown in Iran. *Plant Science*, 169, pp.1008-1013. doi: **10.1016/j.plantsci.2005.05.018**
- Phillipa, P.C. 1998. The language of gene interaction. *Genetics*, 149, pp.1171-1167. doi: **10.1093/genetics/149.3.1167**
- Pitman, M.G. and Lauchli, A. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Lauchli A, Luttge U (eds.). *Salinity: Environment-Plants-Molecules*. Dordrecht: Kluwer, pp.3-20. doi: **10.1007/0-306-48155-3**
- Rabiei, B., Mardani, K.H., Sabouri, H. and Sabouri, A. 2014. The effect of rice chromosome 1 on

- traits associated with drought and salinity tolerance at germination and seedling stages. *Seed and Plant Improve Journal*, 30, pp.1-16. [In Persian]. doi: 10.22092/spij.2017.111197
- Saade, S., Negrão, S., Plett, D., Garnett, T. and Tester, M. 2018. Genomic and genetic studies of abiotic stress tolerance in barley. *In The barley genome*. Springer, Cham. pp. 259-286. doi: 10.1007/978-3-319-92528-8_15
- Siahsar B.A., Taleii, A.R., Peighambari, S.A. and Naghavi, M.R. 2008. Mapping QTL of forage quality-related traits of barley. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40, pp.35-45. [In Persian]. doi: 10.1007/978-3-642-10616-3_8
- Tondelli, A., Francia, E., Barabaschi, D., Aprile, A., Skinner, J.S., Stockinger, E.J. and Pecchioni, N. 2006. Mapping regulatory genes as candidates for cold and drought stress tolerance in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 112(3), pp.445-454. doi: 10.1007/s00122-005-0144-7
- Tondelli, A., Francia, E., Visioni, A., Comadran, J., Mastrangelo, A.M., Akar, T. and Pecchioni, N. 2014. QTLs for barley yield adaptation to Mediterranean environments in the 'Nure'×'Tremois' biparental population. *Euphytica*, 197(1), pp.73-86. doi: 10.1007/s10681-013-1053-5
- Wang, S., Basten, C.J. and Zeng, Z.B. 2007. Windows QTL cartographer 2.5. Department of Statistics, North Carolina State University, Raleigh, NC. Available at <http://statgen.ncsu.edu/qtlcart/WQTLCart.htm>.
- Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Loschenberger, F., Miedaner, H., Stergard, E. and Lammerts, T. 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica*, 163, pp.323-346. doi: 10.1007/s10681-008-9690-9
- Xue, D.W., Chen, M.C. and Zhang, G.P. 2009a. Mapping of QTLs associated with cadmium tolerance and accumulation during seedling stage in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica*, 165(3), pp.587-596. doi: 10.1007/s10681-008-9785-3
- Xue, D.W., Huang, Y., Zhang, X., Wei, K., Westcott, S., Li, C., ... and Lance, R. 2009b. Identification of QTLs associated with salinity tolerance at late growth stage in barley. *Euphytica*, 169(2), pp.187-196. doi: 10.1007/s10681-009-9919-2
- Xue, W., Yan, J., Zhao, G., Jiang, Y., Cheng, J., Cattivelli, L. and Tondelli, A. 2017. A major QTL on chromosome 7HS controls the response of barley seedling to salt stress in the Nure×Tremois population. *BMC Genetics*, 18(1), pp.1-15. doi: 10.1186/s12863-017-0545-z
- Yadav, R.S., Bidinger, F.R., Hash, C.T., Yadav, Y.P., Yadav, O.P., Bhatnagar, S.K. and Howarth, C.J. 2003. Mapping and characterization of QTL×E interactions for traits determining grain and Stover yield in pearl millet. *Theoretical and Applied Genetics*, 106, pp.512-520. doi: 10.1007/s00122-002-1081-3

Mapping genomic regions controlling agronomic characteristics of doubled haploid population of barley under normal and salinity stress conditions

Moussa Khamari¹, Mahmoud Solouki^{*2}, Barat Ali Fakhri², Reza Aghnoum³, Nafiseh Mahdinejad², Leila Mehravaran²

¹ PhD Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

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

³ Research and Training Center for Agriculture and Natural Resources of Khorasan Razavi, Khorasan Razavi, Iran

*Corresponding Author: mahmood.solouki@uoz.ac.ir

Received: 12 December 2021

Accepted: 8 January 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.319546.1166

Abstract

Introduction: Salinity is one of the main obstacles to increasing crop yield. The most severe problems in soil salinity occur in arid and semiarid regions. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is widely planting in the arid and semiarid regions. It is the fourth most important cereal crop worldwide, and it has a long history as a model for genetic studies. It is the most salt tolerant cereal. Salt tolerance in crop plants is a genetic and physiological complex trait and is controlled by several quantitative trait loci. Both genetic diversity and the adaptation to a broad spectrum of micro-ecological conditions including water availability, temperature, soil type and altitude have strongly influenced the development of salt tolerance in barley.

Materials and Methods: In order to identify genomic regions controlling the agro-morphological characteristics and markers linked to them under normal and salinity stress conditions, an experiment with 136 double haploid lines of barley and their parents (Nure and Tremois) was conducted based on alpha lattice design with two replications at the Agricultural Research Center of Zabol, during 2020-2021 crop year. Agronomic traits were including tiller number per plant, spike number per plant, grain number per spike, awn length, internode length, node number, plant height, 1000-grain weight and grain yield. The combined analysis of variance, correlation coefficients between the traits and descriptive statistics calculated for normal and salt stress conditions. The data were analyses by the SAS (ver. 9.2) statistical software. QTL analysis was conducted by composite interval mapping (CIM) method using QTL Cartographer v2.5 for each of the normal and stress conditions and their averages separately (with threshold value (LOD) 2.5, minimum distance 2 cM between QTL).

Result and Discussion: The combined analysis of variance indicated significant differences among the genotypes for all studied traits. This indicates high levels of genetic diversity in this population. Since the population is double haploid lines, therefore, the diversity observed in this population is often caused by additive effects. Maximum correlations were observed between grain yield with tiller number, as well as spike number per plant. The high correlation between the traits may be due to the similar loci controlling QTLs or due to their linkage. According to the table of descriptive statistics, the studied double haploids are representative of all the possible double haploids resulting from the crossing of Tremois and Nure, and the studied traits are controlled by the additive effects of genes. In total, 24 QTL loci were identified for the studied traits: 9 QTLs were obtained under normal conditions, 8 QTLs were identified under stress conditions, and 7 QTLs were identified in the average of the two conditions. These QTLs explained 8 to 16% of the phenotypic variance (R^2). The LOD value ranged of 2.5 - 5.04. The highest and lowest LOD values were related to QTLs of number of seeds per spike on chromosome 2H and number of nodes under stress conditions. Regarding marker-assisted selection, the stability of QTLs across different environments and genetic backgrounds is of utmost importance. Out of the 24 identified QTLs, only the QTL associated with the thousand seed

weight trait (*Qtgw1H*) demonstrated stability, making it suitable for marker selection. The markers identified for this trait not only exhibit close linkage with the gene responsible for the thousand seed weight trait but also possess high heritability and are easily detectable. The markers associated with stable QTLs can be utilized in future studies.

Conclusion: Based on the findings of this research, significant statistical differences were observed among all genotypes. Transgressive segregation, both high and low, was evident across all traits. Two traits, namely the number of tillers per plant and the number of spikes per plant, exhibited QTLs at the same location, indicating a linkage and correlation between these traits. Among the 7 major QTLs identified in this study, the most prominent one was associated with the number of spikes per plant (*Qng2Hma*) on chromosome 2H, linked with marker E42M38_235-2H, which accounted for 16% of the phenotypic variance. Only one QTL (*Qtgw1H*) for 1000-grain weight, linked with marker WMC1E8, was identified as a stable QTL. These genomic regions, once validated across various genetic backgrounds and environments for salinity tolerance in barley, can be utilized in marker-assisted breeding.

Keywords: Grain yield, QTL mapping, Salt tolerance, Yield components

بررسی مقایسه کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد خیار (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus)

قربانعلی اسدی^۱، سرور خرم دل^۱، محمد حسن هاتفی فرجیان^{۲*}، علی مومن^۳

۱- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دکتری بوم‌شناسی زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبه: mh-hatefifarajian@mail.um.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.331554.1198

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

چکیده

کاربرد کودهای آلی در کشاورزی پایدار نقش بسزایی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی دارد. آزمایش با هدف مقایسه تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد خیار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کود شیمیایی کامل (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی کامل به ترتیب شامل ۵۰، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار)، کود دامی (۴۰ تن در هکتار کود گاوی کاملاً پوسیده)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ورمی‌کمپوست+کود شیمیایی کامل (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه ۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی کامل به ترتیب شامل ۵۰، ۲۵ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار)، کمپوست زباله شهری (۱۰ تن در هکتار)، کود آلی پلیت‌شده (۱۰ تن در هکتار) و بدون مصرف کود بودند. نتایج نشان داد تمامی تیمارها عملکرد و خصوصیات رشدی خیار را بهبود دادند، به‌طوری‌که، تیمارهای ورمی‌کمپوست+کود شیمیایی کامل، ورمی‌کمپوست، کود دامی و کود شیمیایی کامل به ترتیب با ۳۵/۴۱، ۳۴/۵۴، ۳۴/۵ و ۳۱/۵۹ تن در هکتار بیشترین عملکرد خیار را نشان دادند و باعث افزایش ۴۷، ۴۲، ۳۳ و ۲۸ درصدی در مقایسه با شاهد شدند. بنابراین با در نظر گرفتن هزینه اقتصادی و مشکلات زیست‌محیطی کاربرد کودهای شیمیایی کامل، به‌نظر می‌رسد استفاده از ورمی‌کمپوست و کود دامی به تنهایی می‌تواند نتایج مطلوبی در تولید خیار در مزرعه به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: کمپوست زباله شهری، کود دامی، مدیریت تغذیه، ورمی‌کمپوست

مقدمه

کردند (Doan et al., 2013; Gomerio et al., 2008; Herencia et al., 2008). استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی باعث بهبود کارکردهای اکولوژیکی از قبیل ظرفیت ذخیره آب و عناصر غذایی، کاهش فشردگی و فرسایش خاک، تهویه خاک و مقاومت در برابر آلودگی ریشه به وسیله پاتوژن‌های خاکزاد می‌شود (Whalen et al., 2003). مشخص شده است که اصلاح‌کننده‌های خاک باعث افزایش فعالیت ماکروفون‌های خاک می‌شوند که نقش کلیدی در بهبود خصوصیات کیفی خاک و فراهم کردن خدمات بوم‌نظام دارند (Birkhofer et al., 2008).

کاربرد کمپوست از طریق افزایش ماده آلی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک و افزایش دسترسی عناصر غذایی نتایج سودمندی در افزایش کیفیت خاک و رشد و عملکرد محصولات دارد (Roy et al., 2010; Lima et al., 2006).

امروزه اطمینان از تولید مداوم و پایدار فرآورده‌های غذایی سالم و موافق با محیط زیست موضوع قابل توجهی در حوزه‌های مختلف علوم بوده و مورد توجه روزافزون کشاورزان، پژوهشگران، دولت‌مردان و سیاست‌گزاران قرار گرفته است (Toor et al., 2006). از طرفی، در آینده نزدیک مهم‌ترین و اصلی‌ترین مشخصه حضور در بازارهای جهانی، عرضه محصولات عاری از ترکیب‌های شیمیایی خواهد بود (Willer and Yussefi, 2004). اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی بهترین گزینه برای افزایش بهره‌وری گیاهان هستند ولی اغلب این راهکارها در طولانی‌مدت ناکارآمد می‌باشند (Lal, 2006).

مطالعات زیادی سودمندی اصلاح‌کننده‌های آلی خاک از قبیل ورمی‌کمپوست، بقایای گیاهی و کمپوست زباله شهری را بر بهبود عملکرد، حاصلخیزی خاک و خدمات بوم‌نظام گزارش

2004). برای مثال نتایج مطالعه‌ای در مزرعه نشان داد که کاربرد کمپوست شرایط محیطی میکروبیولوژی خاک را از طریق تنظیم کردن مقدار pH، نسبت کربن به نیتروژن و تخلخل خاک بهبود می‌دهد (Bougnom et al., 2010). در این رابطه محققان گزارش نمودند که کاربرد کمپوست کود مرغی، فراوانی باکتری‌ها، تنوع جمعیت میکروبی خاک و در نهایت عملکرد میوه خیار را به میزان ۱۵ درصد افزایش می‌دهد (Gao et al., 2015). نتایج آزمایشی نیز نشان داد که تیمار کاربرد سطحی کمپوست کود مرغی و تیمار کمپوست دفن شده آن، عملکرد میوه خیار را به ترتیب چهار و دو برابر در مقایسه با شاهد (۲/۶ تن در هکتار) افزایش دادند (Abobi et al., 2018). در آزمایش دیگری بیشترین تعداد و وزن میوه خیار در نتیجه کاربرد ۵ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد، همچنین کاربرد ۲ تن کود دامی به همراه ۴۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی کامل نیز به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد، اجزاء عملکرد خیار را بهبود داد (Okoli and Nweke, 2015). در پژوهشی گزارش شد که بیشترین مقدار عملکرد خیار در جیرفت در نتیجه کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود مرغی حاصل شد، همچنین در این آزمایش کود مرغی سبب افزایش معنی‌دار غلظت فسفر در برگ خیار نسبت به سایر منابع کودی گردید و حداکثر غلظت آهن در تیمار کود گوسفندی و کمپوست و بیشترین غلظت منگنز نیز با کاربرد کمپوست مشاهده شد (Ghaffari Nejad, 2017).

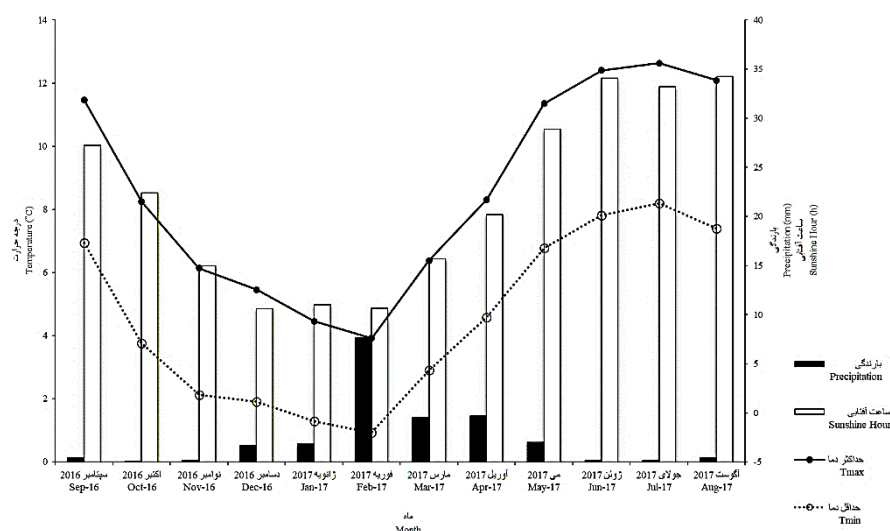
ورمی‌کمپوست یکی از بهترین روش‌های کمپوست کردن ماده آلی است که علاوه بر جلوگیری از آلوده شدن محیط زیست به وسیله زباله‌ها، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را به خوبی تأمین می‌کند (Nagavallema et al., 2004). ورمی‌کمپوست از طریق تجزیه زیستی مواد آلی به وسیله اثر متقابل کرم‌های خاکی و سایر میکروارگانیسم‌ها در دمای مطلوب ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و دامنه رطوبتی ۳۲ تا ۶۰ درصد تهیه می‌شود که دارای خصوصاتی چون تخلخل، تهویه، زهکشی، ظرفیت نگهداری آب و فعالیت‌های میکروبی بالا است (Atiyeh and Lee, 2002). ورمی‌کمپوست به طور معنی‌داری ماده آلی خاک، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک را نیز بهبود می‌دهد (Zhang et al., 2011; Zhang et al., 2013). در پژوهشی محققان گزارش دادند که کاربرد ورمی‌کمپوست

باعث بهبود جوانه‌زنی، رشد و عملکرد گیاهان در نتیجه آزادسازی سریع‌تر عناصر غذایی نسبت به سایر کمپوست‌های رایج و نیز تولید هورمون‌های رشد گیاهی می‌شود (Arancon et al., 2008). نتایج برخی مطالعات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بر روی دامنه وسیعی از محصولات شامل غلات، لگوها، سبزیجات، گیاهان زینتی و محصولات باغی، مؤید تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر رشد گیاه می‌باشد (Atiyeh et al., 2001). در آزمایشی عملکرد خیار در تمامی تیمارهای کودی به کار برده شده یکسان بود ولی کیفیت میوه خیار در تیمارهای کاربرد ورمی‌کمپوست و ورمی‌کمپوست + کودهای شیمیایی در گلخانه نسبت به کود مرغی و کاربرد کود شیمیایی افزایش معنی‌دار نشان داد (Zhao et al., 2010). همچنین در پژوهشی مشخص شد که سرعت رشد (RGR) خیار در تمامی دوره‌ی رشد همواره در تیمار ورمی‌کمپوست در مقایسه با روش‌های رایج کمپوست کردن بیشتر بود (Sallaku et al., 2009).

با وجود تحقیقات گسترده‌ای که در مورد تأثیر کودهای آلی و پتانسیل این کودها برای جایگزینی کودهای شیمیایی بر روی گیاهان زراعی انجام شده است، اطلاعات موجود در مورد مقایسه اثر کودهای آلی مختلف با یکدیگر و در تلفیق با کودهای شیمیایی بر روی کشت گیاهان باغی و صیفی‌جات از جمله خیار در مزرعه نسبتاً اندک است. لذا در راستای تسهیل دسترسی جامعه به تولیدات کشاورزی سالم و اکولوژیک و با عنایت به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در طی تولید گیاهان گلخانه‌ای مانند خیار، این مطالعه با هدف ارزیابی اثر انواع کودهای آلی و شیمیایی و همچنین مقایسه اثر ورمی‌کمپوست با سایر کودهای آلی و شیمیایی بر خصوصیات رشدی و عملکرد خیار در مزرعه در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دما، بارندگی و ساعت آفتابی شهرستان مشهد در سال زراعی



شکل ۱- میانگین ماهانه حداقل (دایره‌های توخالی) و حداکثر دما (دایره‌های توپر)، بارندگی (ستون‌های سیاه) و ساعت آفتابی (ستون‌های سفید) شهرستان مشهد در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵. پیکان، نشان‌گر دوره رشدی خیار در منطقه مورد نظر است.

Figure 1- Average of monthly minimum (hollow circles), maximum temperatures (solid circles), precipitations (dark bars) and sunshine hours (bright bars) at Mashhad in growing season 2016-17. Arrows indicate the growing period of cucumber in this area.

هکتار) (تهیه شده از سازمان پسماند شهرداری مشهد)، کود آلی پلیت‌شده (۱۰ تن در هکتار) و شاهد (بدون مصرف کود) بودند. لازم به ذکر است که تیمارهای کود آلی و شیمیایی براساس نیاز گیاه، اطلاعات آزمایش خاک و میزان عناصر غذایی کودهای آلی قبل از کاشت تعیین شدند. قبل از انجام آزمایش، نمونه‌برداری جهت تعیین خصوصیات خاک (از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) و کودهای آلی مورد استفاده انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

۹۶-۱۳۹۵ در شکل ۱ آورده شده است.

تیمارهای آزمایش شامل کود شیمیایی کامل (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی کامل به ترتیب شامل ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار)، کود دامی (۴۰ تن در هکتار کود گاوی)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی کامل (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی کامل به ترتیب شامل ۵۰، ۲۵ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار)، کمپوست زباله شهری (۱۰ تن در

جدول ۱- خصوصیات خاک، کود دامی، ورمی‌کمپوست، کمپوست زباله شهری و کود آلی پلیت‌شده

Table 1- The results of soil, manure, vermicompost, municipal solid waste compost and plated organic fertilizer properties

نمونه Sample	بافت Texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (%)	پتاسیم (%)Potassium	کربن آلی (%)Organic carbon	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)
خاک Soil	سیلتی-لومی Silty-loam	0.064	0.004	0.02	0.62	7.76	1.51
کود گاوی Manure	-	0.6	0.8	2.08	22.6	8.58	13.4
ورمی‌کمپوست Vermicompost	-	1.4	-	1.2	30	8	2.1
کمپوست زباله شهری Municipal solid waste compost	-	1.62	2.5	1	25.9	7.1	8.7
کود آلی پلیت شده Plated Organic fertilizer	-	1.1	1.6	1.3	26	7.4	3.5

ابعاد زمین مورد آزمایش ۴۰۰ متر مربع در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین در نیمه اول اردیبهشت‌ماه که شامل دیسک و تسطیح بود، کودهای آلی به خاک اضافه و سپس به‌طور کامل با لایه سطحی مخلوط شدند. ابتدا آبیاری به روش جوی و پشته‌ای انجام شد سپس عملیات کاشت در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه به صورت دستی و کپه‌ای بعد از رسیدن زمین به وضعیت رطوبتی مناسب انجام گرفت. در هر کپه دو تا سه عدد بذر خیار رقم سوپر دامینیوس شرکت پی‌توسید روی پشته‌هایی به فاصله ۰/۳ متر روی ردیف و ۱/۵ متر بین ردیف در چهار ردیف به طول ۳ متر انجام گرفت. آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تا پایان فصل رشد انجام شد. بعد از سبز شدن کامل بوته‌ها، عملیات تنک در مرحله ۴-۶ برگی برای دستیابی به تنها یک بوته در هر کپه انجام شد. به منظور جلوگیری از تأثیر علف‌های هرز، کنترل آن‌ها از طریق وجین دستی طی دو نوبت در طول فصل رشد انجام شد.

جهت اندازه‌گیری تعداد و عملکرد میوه در طول دوره برداشت، تقریباً هر سه روز یک‌بار، تعداد میوه‌های برداشت‌شده

از تمام کرت‌ها تا پایان چرخه تولید برای هر تیمار و تکرار به طور جداگانه شمارش گردید (۹ مرحله برداشت شد). به منظور محاسبه میانگین وزن تک میوه در هر بوته، عملکرد نهایی میوه در هر بوته به تعداد کل میوه‌های همان بوته برای هر تیمار و تکرار، تقسیم شد. برای اندازه‌گیری طول بوته و تعداد شاخه اصلی و فرعی در بوته، سه بوته از هر تیمار در نظر گرفته شد و میانگین آن‌ها لحاظ شد. تعداد گره‌های موجود در هر بوته به عنوان تعداد شاخه اصلی و فرعی در نظر گرفته شد.

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار 9.1 SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

طول بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر طول بوته خیار معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی خیار تحت تأثیر تیمارهای کودی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) cucumbers traits affect fertilizer treatments

منابع تغییر	درجه آزادی	طول بوته	تعداد شاخه اصلی در بوته	تعداد شاخه فرعی در بوته	متوسط وزن میوه	تعداد میوه در هکتار	عملکرد میوه
S.O.V	df	Plant length	Number of main branches per plant	Number of sub branches per plant	Average of fruit weight	Number of fruits per ha	Fruit yield
بلوک	2	84.14 ^{ns}	13.28 ^{ns}	3.61 ^{ns}	44.46 ^{ns}	59558796 ^{ns}	1.62 ^{ns}
Block تیمار							
Treatment	6	1989.49 ^{**}	19.21 [*]	7.38 [*]	50.20 ^{ns}	152875508404 [*]	43.80 ^{**}
خطا							
Error	12	400.75	6.23	1.79	18.62	4569331373	7.61
ضریب							
تغییرات							
CV (%)		13.28	25.32	22.09	9.17	12.61	8.76

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

ns: non-significant and * and **: significant at the level of five and one percent respectively

ورمی کمپوست و کود دامی بیشترین میزان طول بوته را نشان دادند که به ترتیب باعث بهبود ۵۸، ۳۴ و ۶۲ درصدی طول بوته خیار شدند که با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳).

تمامی تیمارهای کودی نسبت به شاهد باعث افزایش طول بوته خیار شدند. تیمار کود شیمیایی کامل در مقایسه با شاهد باعث افزایش معنی‌دار ۳۴ درصدی طول بوته خیار شد. با این حال، تیمارهای ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل،

جدول ۳- تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر خصوصیات رشدی و کمی خیار

Table 3- Effect of different fertilizer treatments on growth characteristics of cucumber

تیمارها Treatments	طول بوته Plant length (cm)	تعداد شاخه اصلی در بوته Number of main branches per plant	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of branches per plant	متوسط وزن میوه Average of fruit weight (g)
شاهد Control	*114c	6.33b	4.33c	173.5a
کود شیمیایی کامل NPK chemical fertilizer	152.33ab	10a	5.67bc	192.6a
ورمی کمپوست Vermicompost	153.67ab	11a	6bc	170.3a
ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل Vermicompost + NPK chemical fertilizer	180.67a	12.33a	7.67ab	170.7a
کمپوست زباله شهری solid waste compost Municipal	130.67bc	8.33ab	5c	176.5a
کود دامی Manure	185a	12.67a	8.67a	182.4a
کود آلی پلیت شده Plated Organic fertilizer	138.67bc	9.33ab	5c	175.4a

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column, means with a common letter at the 5% probability level according to LSD test are not significantly different statistically.

مقابل این گزارش‌ها، نتایج مطالعاتی نشان داد که در شرایط گلخانه‌ای عملکرد و رشد خیار در تیمارهای کودهای آلی نسبت به کود شیمیایی کاهش می‌یابد که علت آن عدم دسترسی و فراهمی عناصر غذایی کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی بود (Gul et al., 2007). با این حال، از یک طرف باید توجه کرد که شرایط مزرعه‌ای با شرایط گلخانه‌ای کاملاً متفاوت بوده و هدرروی کودهای شیمیایی در شرایط مزرعه بسیار بالاتر است. از طرف دیگر، هر چند در حدود ۳۵ درصد کل نیتروژن معدنی در سال اول استفاده از کود دامی (کودهای آلی) در خاک در دسترس قرار می‌گیرد (Klausner, 1997; Pavlou et al., 2002; Van Kessel and Reeves, 2007) ولی معدنی شدن و دسترسی عناصر غذایی در خاک تحت تأثیر دما و رطوبت مناطق مختلف با یکدیگر متفاوت است (Agehara and Warncke, 2005).

تعداد شاخه اصلی و فرعی در بوته

اثر کاربرد تیمارهای کودی بر تعداد شاخه اصلی خیار معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$) (جدول ۲). به‌طوری‌که، تیمارهای کود دامی و ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل به ترتیب با

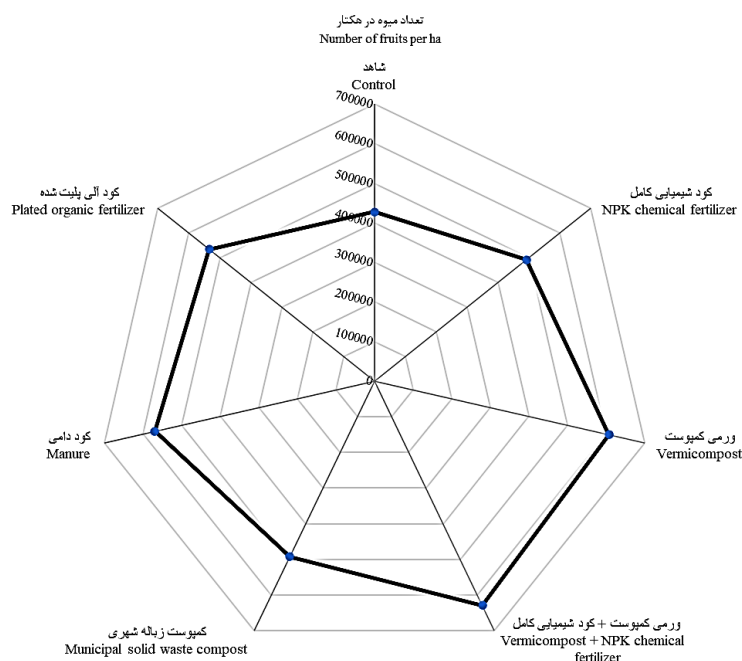
محققان اظهار داشتند که مصرف ورمی کمپوست، به دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی و محتوی عناصر غذایی، افزایش رشد گیاه را به دنبال دارد (Atiyeh et al., 2000). همچنین افزایش پارامترهای رشدی گیاه در شرایط استفاده از ورمی کمپوست در مقایسه با کودهای معدنی گزارش شده است (Singh et al., 2008). این اثرات ورمی کمپوست ممکن است در نتیجه دسترسی بهتر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و اسید هیومیک ورمی کمپوست باشد که به‌وسیله افزایش فعالیت‌های میکروبی در نتیجه استفاده از آن حاصل می‌شود (Arancon et al., 2004a). در آزمایش دیگری مشخص شده است که میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها، مخمرها، اکتینومیسیت‌ها و جلبک‌ها می‌توانند اکسین، جیبرلین و سایر هورمون‌های گیاهی را به مقدار قابل توجهی در شرایط استفاده از ورمی کمپوست تولید کنند (Arancon et al., 2004b; Brown, 1995) که به مقدار زیادی بر رشد رویشی گیاه مؤثر است (Arancon et al., 2006). مطابق با نتایج این آزمایش مشخص شد که ارتفاع گیاه کاهو در اثر کاربرد کودهای آلی (کود دامی و کود مرغی) در مقایسه با کودهای معدنی افزایش معنی‌داری نشان داد (Masarirambi et al., 2010). اما در

عناصر غذایی توسط گیاه، دارا بودن مواد آلی و تقویت فعالیت‌های شبه هورمونی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Bchman and Metzger, 2008). همچنین در آزمایشی بیان شد که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کود دامی و کود مرغی به همراه ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع و رشد فلفل در مقایسه با شاهد و استفاده از کود آلی به تنهایی شد (Aliyu, 2000).

تعداد میوه در هکتار

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر تیمارهای کودی بر تعداد میوه در هکتار خیار معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود اعمال تیمارهای ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل، ورمی کمپوست و کود دامی به ترتیب با ۶۲۸۸۸۹، ۶۰۸۳۳۳ و ۵۶۹۴۴۴ میوه در هکتار بیشترین مقدار را نشان دادند و اختلاف معنی‌داری را با شاهد داشتند که به ترتیب باعث افزایش ۴۷، ۴۲ و ۳۳ درصدی تعداد میوه شدند.

۱۲/۶۷ و ۱۲/۳۳ شاخه اصلی در بوته بیشترین و شاهد با ۶/۳۳ شاخه اصلی در بوته، کمترین تعداد شاخه اصلی را در بوته خیار نشان دادند (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که از نظر تعداد شاخه فرعی خیار، بین تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0.05$) وجود دارد (جدول ۲). به‌طوری‌که، همانند تعداد شاخه اصلی، تیمارهای کود دامی و ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل به ترتیب با میانگین ۸/۶۷ و ۷/۶۷ بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته را نشان دادند (جدول ۳). مصرف منابع آلی می‌تواند با بهبود فعالیت‌های میکروبی و خصوصیات فیزیکی خاک تحت تأثیر افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک، محتوی عناصر غذایی قابل دسترس گیاه را افزایش دهد (Sarkar et al., 2004). همچنین گزارشات نشان می‌دهد که کاربرد ورمی کمپوست از طریق افزودن عناصر غذایی و همچنین تحریک تولید هورمون‌های محرک رشد منجر به بهبود خصوصیات رشدی گیاه می‌شود (Sallaku et al. 2009; Yang et al., 2015). در مطالعه‌ای بیان شده است که ورمی کمپوست از طریق بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش جذب



شکل ۲- نمودار راداری تأثیر تیمارهای کودی بر تعداد میوه در هکتار خیار

Figure 2- Radar diagram of the effect of fertilizer treatments on the number of fruits per hectare of cucumber

نشان ندادند. شاهد نیز با ۴۲۷۷۷۸ میوه در هکتار کمترین تعداد میوه را نشان داد (شکل ۲). صرف نظر از این که ترکیب

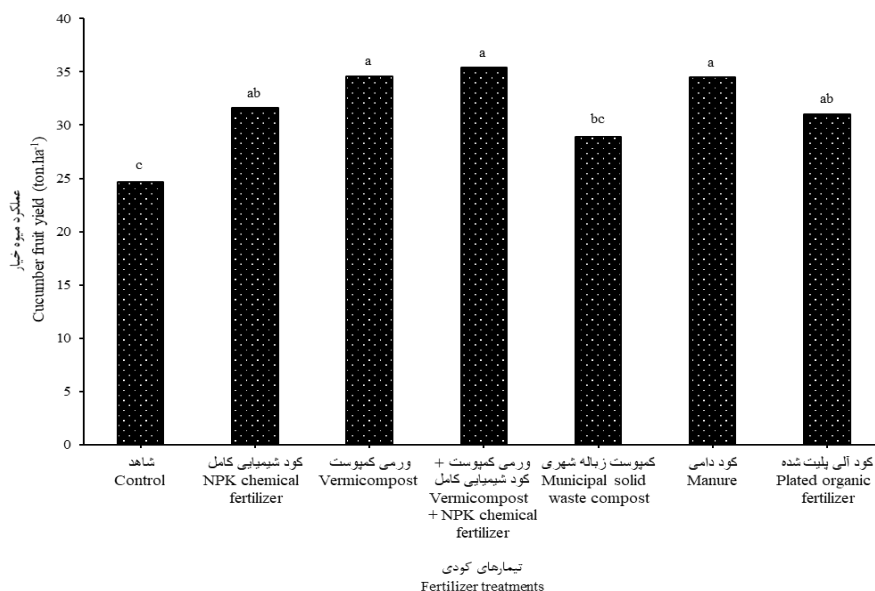
اما تیمارهای کمپوست، کود شیمیایی کامل و کود آلی پلیت‌شده، اختلاف معنی‌داری را نسبت به شاهد از این نظر

اکتینومیست‌ها تولید می‌شوند (Arancon *et al.*, 2004).

متوسط وزن و عملکرد میوه

اثر تیمارهای کودی بر متوسط وزن میوه خیار اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($p \geq 0.05$) (جدول ۲). اما عملکرد میوه خیار تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). تمامی تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد باعث افزایش عملکرد خیار شدند که تنها تیمار کمپوست زباله شهری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۳). بیشترین و کمترین مقدار این صفت نیز به ترتیب با ۳۵/۴۱ و ۲۴/۶۵ تن در هکتار از تیمارهای ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل و شاهد به دست آمد. مطابق با این نتایج در آزمایشی کاربرد ورمی کمپوست به طور معنی‌داری عملکرد خیار را افزایش داد (Azarmi *et al.*, 2009). ورمی کمپوست در تعداد زیادی از محصولات کشاورزی به طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طوری‌که استفاده از این کود علاوه بر تأمین نیازهای غذایی، منجر به ارتقاء شرایط فیزیکی و میکروبی خاک نیز می‌گردد (Robin *et al.*, 2001).

ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل بیشترین میزان تعداد میوه در هکتار را نشان داد، افزایش میزان این صفت در تیمار ورمی کمپوست در مقایسه با سایر تیمارها را می‌توان به دلایل زیر توجیه نمود؛ فرآیند ورمی کمپوست شدن نسبت به کمپوست شدن رایج متفاوت است چرا که مواد آلی به وسیله سیستم گوارشی کرم‌ها فرآیند می‌شوند (Chaoui *et al.*, 2002) و حاوی عناصر غذایی در شکل‌هایی از قبیل نیترات، فسفر قابل دسترس، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول هستند که به راحتی و سریع‌تر توسط گیاهان جذب می‌شوند (Yang *et al.*, 2015). در همین رابطه گزارش شده است که در آخر فصل رشد بیشترین میزان آمونیوم، نیترات و ارتوفسفات‌ها در تیمار ورمی کمپوست مشاهده شد (Arancon *et al.*, 2006). علاوه بر این ورمی کمپوست حاوی مواد حاصل از فعالیت‌های زیستی از قبیل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است (Tomati *et al.*, 1988). همچنین نتایج مطالعه دیگری نیز نشان داد که اثر ورمی کمپوست بر روی رشد و افزایش تعداد میوه خیار را می‌توان به افزایش تنظیم‌کننده‌های رشدی و هیومیک اسید موجود در ورمی کمپوست نسبت داد که به‌وسیله افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌هایی از قبیل قارچ‌ها، باکتری‌ها، مخمرها و

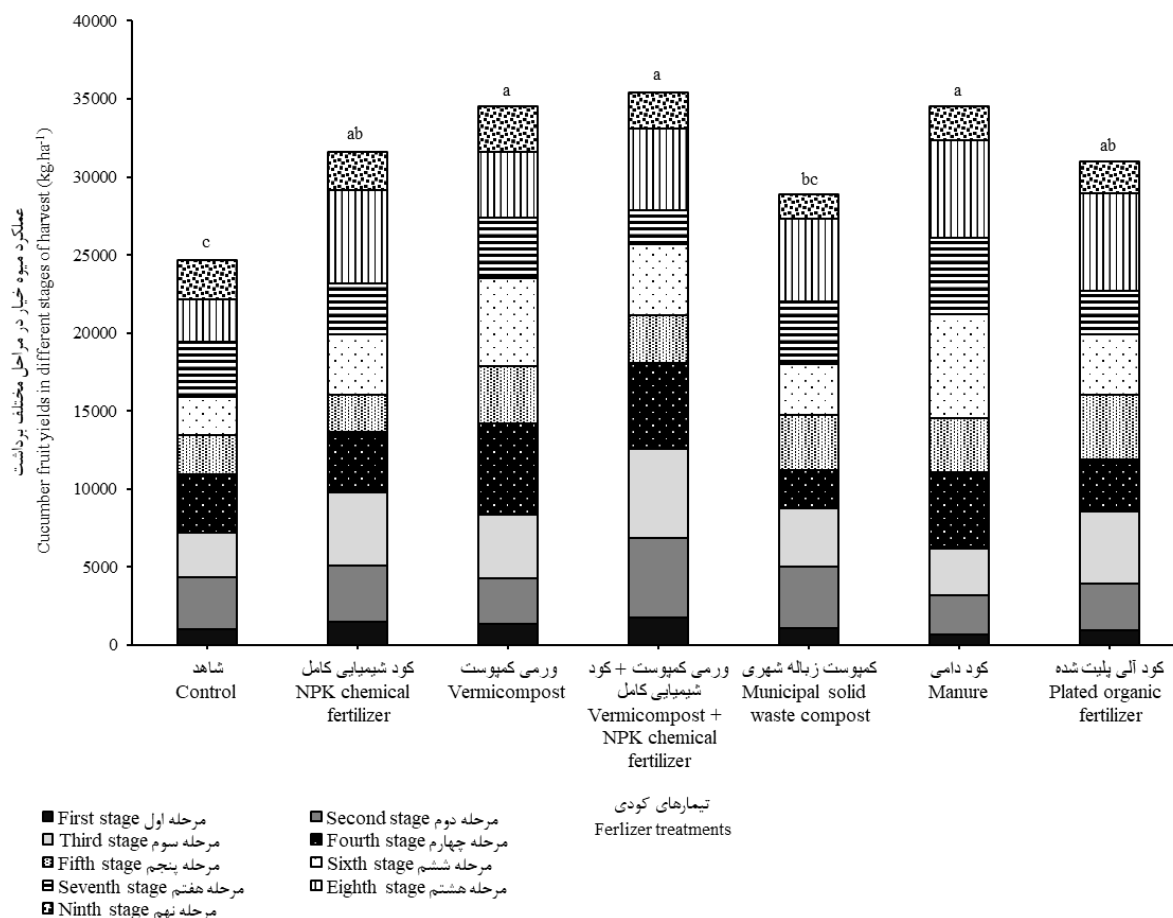


در هر ستون میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with a common letter at the 5% probability level according to LSD test are not significantly different statistically.

شکل ۳- اثر تیمارهای کودی بر عملکرد میوه خیار

Figure 3- Effect of fertilizer treatments on cucumber fruit yield



در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with a common letter at the 5% probability level according to LSD test are not significantly different statistically.

شکل ۴- اثر تیمارهای کودی بر عملکرد میوه خیار در مراحل مختلف برداشت

Figure 4- Effect of fertilizer treatments on cucumber fruit yield in different stages of harvesting

افزایش عملکرد به طور میانگین در هر مرحله برداشت به ترتیب در تیمارهای ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی کامل، ورمی‌کمپوست و کود دامی در مقایسه با تیمار کود شیمیایی کامل به خوبی قابل مشاهده است و نشان از برتری کاربرد کودهای آلی به تنهایی و در تلفیق با کود شیمیایی کامل در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی کامل به تنهایی، دارد (شکل ۴).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی رشد و عملکرد خیار به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد انواع حاصلخیزکننده‌های خاک قرار گرفت. به‌طوری‌که بیشترین کمترین مقدار عملکرد میوه به‌ترتیب با ۳۵/۴۱ و ۲۴/۶۵ تن در هکتار از تیمارهای ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی کامل و

گزارش شده است که جمعیت میکروبی خاک در تیمار کود آلی همراه با کود شیمیایی بیشترین مقدار را نشان داد (Liu et al., 2010). نتایج برخی دیگر از مطالعات نیز این موضوع را تایید می‌کنند (Gu et al., 2009; Hao et al., 2008; Marschner et al., 2003). از این رو افزایش عملکرد خیار در تیمار ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی کامل و همچنین استفاده از کودهای آلی را می‌توان به فراهمی عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های خاک نسبت داد. تایید شده است که افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک می‌تواند نقش مهمی را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایفا کند (Marschner et al., 2003).

همچنین تمامی تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد در هر مرحله از برداشت، باعث افزایش عملکرد خیار شدند که این

کامل در مقایسه با تیمار کود دامی، ورمی کمپوست و کود آلی پلیت‌شده و در نظر گرفتن هزینه اقتصادی و مشکلات زیست‌محیطی استفاده از کودهای شیمیایی، کاربرد ورمی کمپوست و کود دامی به تنهایی می‌تواند نتایج مطلوبی را در تولید خیار در مزرعه به همراه داشته باشد.

شاهد به‌دست آمد. همچنین تمامی تیمارهای کودی در مقایسه با شاهد باعث افزایش عملکرد خیار شدند که تنها تیمار کمپوست اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. به‌طور کلی تیمارهای ورمی کمپوست + کود شیمیایی کامل، کود دامی و ورمی کمپوست بهترین نتایج را در این مطالعه نشان دادند ولی با توجه به عدم معنی‌داری تیمار ورمی کمپوست + کود شیمیایی

References

- Abobi, H., Kone, A.W., Koffi, B.Y., Diahuissie, S.S., Loukou, S.K. and Tiho, S., 2018. Soil chemistry and cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield as influenced by 16 years of composted poultry litter addition. *Journal of Agricultural Science*, 10(1), pp.325-335. doi: 10.5539/jas.v10n1p325
- Agehara, S. and Warncke, D.D., 2005. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal*, 69, pp.1844-1855. doi: 10.2136/sssaj2004.0361
- Aliyu, L., 2000. Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annum* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 18(1), pp.29-36. doi: 10.1080/01448765.2000.9754862
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A. and Bierman, P., 2006. Influences of vermicompost on field strawberries: effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*, 97, pp.831-840. doi: 10.1016/j.biortech.2005.04.016
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R. and Metzger, J.D., 2004a. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology*, 93, pp.139-144. doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.015
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J.D., 2004b. Influence of vermicompost on field strawberries: 1. effect on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93, pp.145-153. doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.014
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P. and Metzger, J.D., 2008. Influences of vermicompost, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology*, 39, pp.91-99. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.11.010
- Atiyeh, R.M., Subler, S., Edwards, C.A., Bachman, G., Metzger, J.D. and Shuster, W., 2000. Effects of vermicompost and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44, pp.579-590. doi: 10.1078/s0031-4056(04)70073-6
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S. and Metzger, J.D., 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 78, pp.11-20. doi: 10.1016/s0960-8524(00)00172-3
- Atiyeh, R.M. and Lee, S., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic waste on plant growth. *Bioresource Technology*, 84, pp.7-14. doi: 10.1016/s0960-8524(02)00017-2

- Azarmi, R., Giglou, M.T. and Hajieghrari, B., 2009. The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse. *African Journal of Biotechnology*, 8(19), pp.4953-4957. doi: **10.4314/ajb.v8i19.65198**
- Bachman, G.R. and Metzger, J.D., 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology*, 99, pp.3155-3161. doi: **10.1016/j.biortech.2007.05.069**
- Birkhofer, K., Bezemer, T.M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., Ekelund, F., Fließbach, A., Gunst, L., Hedlund, K., Mäder, P., Mikola, J., Robin, C., Setälä, H., Tatin-Froux, F., Putten van der, W.H. and Scheu, S., 2008. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: pp.2297-2308. doi: **10.1016/j.soilbio.2008.05.007**
- Bougnom, B., Knapp, B., Elhottová, D., Koubová, A., Etoa, F. and Insam, H., 2010. Designer compost with biomass ashes for ameliorating acid tropical soils: effects on the soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, 45, pp.319-324. doi: **10.1016/j.apsoil.2010.05.009**
- Brown, G.G., 1995. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? *Plant and Soil*, 170, pp.209-231. doi: **10.1007/bf02183068**
- Chaoui, H., Edwards, C.A., Brickner, A., Lee, S.S. and Arancon, N.Q., 2002. Suppression of the plant parasitic diseases: Pythium (damping off), Rhizoctonia (root rot) and Verticillium (wilt) by vermicompost. *Proceedings of Brighton Crop Protection Conference–Pest and Diseases*.
- Doan, T.T., Ngo, P.T., Rumpel, C., Nguyen, B.V. and Jouquet, P., 2013. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*, 160, pp.148-154. doi: **10.1016/j.scienta.2013.05.042**
- Gao, Y., Tian, Y., Liang, X. and Gao, L., 2015. Effects of single-root-grafting, double-root-grafting and compost application on microbial properties of rhizosphere soils in Chinese protected cucumber (*Cucumis sativus* L.) production systems. *Scientia Horticulturae*, 186, pp.190-200. doi: **10.1016/j.scienta.2015.02.026**
- Ghaffari Nejad, S.A., 2017. Response of greenhouse cucumber to different levels and sources of organic manures and their effects on some soil properties. *Science and Technology Greenhouse Culture*, 8(2), pp.67-80. [In Persian]. doi: **10.18869/acadpub.ejgcst.8.2.67**
- Gomerio, T., Paoletti, M.G. and Pimentel, D., 2008. Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27, pp.239-254. doi: **10.1080/07352680802225456**
- Gu, Y., Zhang, X., Tu, S. and Lindström, K., 2009. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments under wheat-rice cropping. *European Journal of Soil Biology*, 45, pp.239-246 doi:**10.1016/j.ejsobi.2009.02.005**
- Gül, A., Kıdoğlu, F. and Anaç, D., 2007. Effect of nutrient sources on cucumber production in different substrates. *Scientia Horticulturae*, 113, pp.216-220. doi:**10.1016/j.scienta.2007.02.005**
- Hao, X.H., Liu, S.L., Wu, J.S., Hu, R.G., Tong, C.L. and Su, Y.Y., 2008. Effect of long-term application of inorganic fertilizer and organic amendments on soil organic matter and microbial biomass in three subtropical

- paddy soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81, pp.17-24. doi: **10.1007/s10705-007-9145-z**
- Herencia, J.F., Ruiz, J.C., Melero, S., Galavis, P.A.G. and Maqueda, C., 2008. A short-term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *Journal of Agricultural Science*, 14, pp.677-687. doi: **10.1017/s0021859608008071**
- Klausner, S.D., 1997. Nutrient management: crop production and water quality. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, NY.
- Lal, R., 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17, pp.197-209. doi: **10.1002/ldr.696**
- Lima, J., De Queiroz, J. and Freitas, H., 2004. Effect of selected and non-selected urban waste compost on the initial growth of corn. *Resources, Conservation and Recycling*, 42, pp.309-315. doi: **10.1016/j.resconrec.2004.02.006**
- Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S.H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S. and Fan, T., 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, 158, pp.173-180. doi: **10.1016/j.geoderma.2010.04.029**
- Marschner, P., Kandeler, E., Marschner, B. and Patra, A.K., 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, pp.453-461. doi: **10.1016/S0038-0717(02)00297-3**
- Masarirambi, M.T., Hlawe, M.M., Oseni, O.T. and Sibiya, T.E., 2010. Effects of organic fertilizers on growth, yield, quality and sensory evaluation of red lettuce (*Lactuca sativa* L.) 'Veneza Roxa'. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(6), pp.1319-1324. doi: **10.5251/abjna.2010.1.6.1319.1324**
- Nagavallema, K.P., Wani, S.P., Lacroix, S., Padmaja, V.V., Vineela, C., Babu, R.M. and Sahrawat, K.L., 2004. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. Global Theme on Agroecosystem's Report no. 8. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: ICRISAT. 20 pp.
- Okoli, P.S.O. and Nweke, I.A., 2015. Effect of poultry manure and mineral fertilizer on the growth performance and quality of cucumber fruits. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3, pp.12-14. doi: **10.18006/2015.3(4).362.367**
- Pavlou, G.C., Ehaliotis, C.D. and Kavvadias, V.A., 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 111, pp.319-325. doi: **10.1016/j.scienta.2006.11.003**
- Robin, A., Szmidt, R.A.K. and Dickson, W., 2001. Use of compost in agriculture, Frequently Asked Questions (FAQs). Remade Scotland. P: 324-336.
- Roy, S., Arunachalam, K., Dutta, B.K. and Arunachalam, A., 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Applied Soil Ecology*, 45, pp.78-84. doi: **10.1016/j.apsoil.2010.02.004**
- Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S. and Balliu, A., 2009. The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. *Journal of Food*,

- Agriculture & Environment*, 7(3-4), pp.869-872. doi: **10.1234/4.2009.2818**
- Sarkar, M.A.R., Pramanik, M.Y.A., Faruk, G.M. and Ali, M.Y., 2004. Effect of green manures and levels of nitrogen on some growth attributes of transplant Aman rice. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(5), pp.739-742. doi: **10.3923/pjbs.2004.739.742**
- Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K. and Patil, R.T., 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology*, 99, pp.8507-8511. doi: **10.1016/j.biortech.2008.03.034**
- Tomati, U., Grapelli, A. and Galli, E., 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 5, pp.288-294. doi: **10.1007/BF00262133**
- Toor, R.K., Savage, G.P. and Heeb, A., 2006. Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(1), pp.20-27. doi: **10.1016/j.jfca.2005.03.003**
- Van Kessel, J.S. and Reeves, J.B., 2002. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and Fertility of Soils*, 36(2), pp.118-123. doi: **10.1007/s00374-002-0516-y**
- Whalen, J.K., Hu, Q. and Liu, A., 2003. Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 67, pp.1842-1847. doi: **10.2136/sssaj2003.1842**
- Willer, H. and Yussefi, M., 2004. The world of organic agriculture – statistics and emerging trend. Foundation Ecology and Agriculture, Germany, and IFOAM, 167p.
- Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T. and Li, F., 2015. Effects of vermicompost on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 160, pp.98-105. doi: **10.1016/j.agwat.2015.07.002**
- Zhang, C., Dai, J., Zhou, B., Chen, X., Li, J., Zhang, J. and Zhang, C., 2013. Effects of vermicompost at different proportions on the growth of *Zea mays* and soil fertility. *Journal of South China Agricultural University*, 34(2), pp.137-143.
- Zhang, N., Ren, Y., Shi, Q., Wang, X., Wei, M. and Yang, F., 2011. Effects of vermicompost on quality and yield of watermelon. *China Vegetation*, 6, pp.76-79.
- Zhao, H., Luo, J., Shan, Y., Wang, A., Liu, P. and Feng, K., 2010. Effects of vermicompost organic-inorganic mixed fertilizer on yield and quality components of cucumber cultivated in greenhouse. *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 16(5), pp.1288-1293.

Study of comparison of organic and chemical fertilizers on growth characteristics and yield of cucumber (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus)

GhorbanAli Asadi¹, Soroor Khorramdel¹, Mohammad Hassan Hatefi Farajian^{2*}, Ali Momen³

¹ Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Ph.D. Student in Agroecology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Ph.D. in Agroecology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding Author: mh-hatefifarajian@mail.um.ac.ir

Received: 26 February 2022

Accepted: 15 July 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.331554.1198

Abstract

Introduction: Although the utilization of chemical fertilizers could be viewed as the best solution in terms of plant productivity, this approach is often inefficient in the long-term. Therefore, application of organic manures is one of the most important strategies for plant nutrition compared to chemical fertilizers, especially in ecological management of crops. In recent years, the effect of exogenous organic amendments on soil properties has received renewed attention. Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of organic and chemical fertilizers on growth characteristics and cucumber yield.

Materials and Methods: In order to evaluate the effects of different organic and chemical fertilizers on yield and growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus), a field experiment was conducted based on randomized complete block design with seven treatment and three replications at the Agricultural Research Station, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, during growing seasons 2016-2017. The treatments included chemical fertilizer (200 kg ha⁻¹ NPK, 100, 50 and 50 kg ha⁻¹, respectively), cow manure (40-ton ha⁻¹), vermicompost (10-ton ha⁻¹), vermicompost + NPK (including 5-ton ha⁻¹ vermicompost + 100 kg ha⁻¹ NPK, 50, 25 and 25 kg ha⁻¹, respectively), municipal solid waste compost (10-ton ha⁻¹), plated organic fertilizer (10-ton ha⁻¹) and no fertilizer. The traits such as plant length, number of main and sub branches, average fruit weight, number of fruits and the fruit yield per hectare were evaluated. Analysis of variance was performed by SAS 9.4 software, and means of different treatments were compared by LSD test at the probability level of 5%.

Results and Discussion: The effect of application of different fertilizer treatments was significant ($p \leq 0.05$) on the number of main and sub branches of cucumber. So, cow manure treatments and combination of vermicompost with NPK fertilizer showed the highest number of main and sub branches. Application of organic materials improves microbial activity and physical properties of the soil by increasing the water holding capacity in the soil and increasing the content of available plant nutrients. Therefore, it seems that the higher number of main and sub branches in cow manure treatment and other organic fertilizers is due to improvement of physical and nutritional conditions of the soil.

All fertilizer treatments except municipal solid waste compost treatment compared with control significantly increased the yield of cucumber. So that, vermicompost + NPK, vermicompost, cow manure and NPK fertilizer showed the highest yield of cucumber with 35.41, 34.44, 34.5 and 31.59 ton ha⁻¹, respectively, so increased yield by 47, 42, 33 and 28 percent compared with the control. However, the results of group comparison of treatments indicated that the yield of cucumber was not significantly different from that of organic fertilizers compared to NPK fertilizer and vermicompost + NPK, suggesting that nutrition management by organic fertilizers alone can be a very good alternative instead of applying chemical fertilizer in cucumber production. Also reported that application of organic fertilizers significantly improved the yield of tomato and cucumber.

Conclusion: The results of this study showed that cucumber growth and yield were significantly affected by the application of different treatments. So that, the highest and lowest of fruit yield were obtained in vermicompost + NPK and control treatments with corresponding values of 35.41 and 24.65 ton ha⁻¹, respectively. Combined treatment of vermicompost and NPK, cow manure, vermicompost and NPK fertilizer had best results in this study. Since there was no significant difference between yields in these treatments and generally organic fertilizers compared to chemical fertilizer. Hence, given to environmental problems and high cost of chemical fertilizers, the use of vermicompost and cow manure can lead to good results in cucumber production in the field.

Keywords: Feeding management, Manure, Municipal solid waste compost, Vermicompost

ارزیابی عملکرد علوفه، کارایی مصرف آب و تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی

محمد زمانیان^{۱*}، فرید گل‌زردی^۱

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: m.zamanian@areeo.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.369467.1289

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱

چکیده

به منظور مقایسه ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی در شرایط تنش کم‌آبی، تأثیر دو رژیم آبیاری (آبیاری کامل و کم‌آبیاری) بر عملکرد علوفه، بهره‌وری آب و شاخص‌های تحمل به خشکی پنج ژنوتیپ (پارس، زابل، الشتر، اقلید و هراتی) در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه صفات مورد بررسی قرار گرفتند. در شرایط آبیاری کامل، اکوتیپ هراتی بیشترین مجموع عملکرد علوفه تازه و ماده خشک طی سه چین (به ترتیب ۹۱/۱۹ و ۱۳/۰۲ تن در هکتار) را داشت، در حالی که در شرایط کم‌آبیاری حداکثر مجموع عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (به ترتیب ۶۸/۰۷ و ۱۰/۷۹ تن در هکتار) توسط اکوتیپ زابل حاصل شد. حداکثر کارایی مصرف آب (۱/۴۵۵ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب) در سال دوم و توسط اکوتیپ زابل تحت شرایط کم‌آبیاری حاصل شد در حالی که حداقل کارایی (۰/۸۹۹ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب) در سال اول تحت شرایط آبیاری کامل و در اکوتیپ زابل ثبت گردید. تیمار تنش خشکی در ژنوتیپ‌های پارس، الشتر، اقلید، هراتی و زابل در مقایسه با آبیاری کامل، باعث کاهش عملکرد ماده خشک به ترتیب به میزان ۲۴/۰، ۲۱/۷، ۲۳/۴، ۱۱/۹ و ۲۳/۸ درصد شد. بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اکوتیپ زابل و پس از آن اکوتیپ الشتر به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش کم‌آبیاری شناسایی شدند. به طور کلی نتایج نشان داد که در شرایط فراهمی آب آبیاری، اکوتیپ هراتی و در شرایط محدودیت آبی، اکوتیپ زابل برای کشت در مناطق نیمه‌خشک کشور قابل توصیه هستند.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ، حساسیت به تنش، علوفه تازه، کم‌آبیاری، ماده خشک

مقدمه

ژنتیکی موجود (به خصوص توده‌های محلی) شناسایی و پتانسیل تولید آن‌ها در شرایط مختلف تعیین شود (Mishra *et al.*, 2018; Khalilian *et al.*, 2022). مطالعات نشان داده است که در بین توده‌های محلی و اکوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بسیاری وجود دارد که می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای توسعه ارقام مقاوم به خشکی استفاده کرد (Panda *et al.*, 2021). بنابراین شناسایی و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، به عنوان یکی از اهداف اصلی به‌نژادگران در مقابله با مشکل کمبود منابع آبی مطرح می‌باشد (Sabouri *et al.*, 2022).

شبدرها متعلق به جنس تریفولیوم جزو مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای خانواده لگومینوز در مناطق معتدل و مرطوب دنیا هستند که از نظر علوفه‌ای و مرتعی دارای ارزش بسیار زیادی می‌باشند و در تغذیه دام‌ها نقش بسزایی دارند (Bakhtiyari *et al.*, 2020; Pourali *et al.*, 2023). بعد از یونجه، شبدرها با ۷۰ هزار هکتار، بیشترین سطح زیر کشت لگوم‌های علوفه‌ای

تغییرات اقلیمی، گسترش خشکسالی‌ها و محدودیت آب آبیاری، باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و تهدید امنیت غذایی در سال‌های اخیر شده است (Nazari *et al.*, 2017; Balazadeh *et al.*, 2021). تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است که اثرات متعددی بر مراحل مختلف رشد و نمو گیاه داشته و نظام‌های کشاورزی و تولید غذا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Baghdadi *et al.*, 2021). از آنجا که کمبود منابع آب آبیاری تولید علوفه را به شدت تحت تأثیر می‌گذارد، ضروری است به راه‌کارهای صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و کشت گونه‌ها و ارقام متحمل به خشکی توجه شود (Farhadi *et al.*, 2022). در این راستا شناسایی و اصلاح ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند باعث افزایش کارایی مصرف آب و بهبود پایداری عملکرد در شرایط مختلف محیطی شود (Pandey and Shukla, 2015). برای تولید ارقام برتر ابتدا لازم است تنوع

توجه به شرایط کم‌آبی و گسترش خشکسالی‌ها در سال‌های اخیر و همچنین افزایش جمعیت و تقاضای رو به رشد برای محصولات دامی در کشور ضروری است پتانسیل تولید علوفه در اکوتیپ‌های شبدر ایرانی موجود در کشور مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف مقایسه عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب آبیاری ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری انجام شد. یکی دیگر از اهداف این آزمایش ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (۳۵ درجه و ۸۰ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۹۷ دقیقه غربی) طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ انجام شد. رژیم‌های آبیاری در دو سطح (شامل آبیاری کامل و کم‌آبیاری با تأمین به‌ترتیب ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی شبدر) به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی در پنج سطح (رقم پارس و اکوتیپ‌های زابل، الشتر، اقلید و هراتی) به عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی دارای آب و هوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه‌خشک بود. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جهت اجرای آزمایش، ابتدا زمین شخم و سپس دو مرتبه دیسک عمود بر هم زده شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و نیاز غذایی شبدر، کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان آغازگر به خاک اضافه شد و به همراه شخم با خاک مخلوط گردید. فاصله بین تکرارها دو متر و فاصله بین کرت‌های اصلی نیز دو متر در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی شامل چهار خط پنج متری با فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر بود. عملیات کاشت در تاریخ ۲۰ شهریور هر سال توسط نیروی کارگری با مصرف ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار و عمق کاشت دو سانتی‌متری صورت گرفت. آبیاری با روش جویچه‌ای و دور هفت روز یک‌بار انجام شد (بر اساس عرف منطقه) و مقدار آب آبیاری مورد نیاز

در کشور را دارند (Zamanian, 2021). شبدرها به علت داشتن ارقام جدید و توده‌های بومی متنوع، سازگار و پرمحصول و امکان استفاده و بهره‌برداری از بارندگی‌های پاییزه (آب سبز)، می‌توانند جایگاه ویژه‌ای در تأمین علوفه مورد نیاز کشور داشته باشند (Balazadeh et al., 2021). از مهم‌ترین گونه‌های شبدر که در ایران مورد کشت و کار قرار می‌گیرند می‌توان به شبدر ایرانی، شبدر برسیم، شبدر قرمر و شبدر لاکی اشاره کرد (Zamanian, 2021). شبدر ایرانی گیاهی یکساله و پاییزه، بومی ایران و با کیفیت علوفه بالا است که در زمستان به صورت خوابیده و در بهار به صورت ایستاده رشد می‌کند (Zamanian and Shahverdi, 2017).

تنش خشکی می‌تواند تولید لگوم‌های علوفه‌ای را به شدت تحت تأثیر قرار دهد و منجر به کاهش عملکرد با توجه به شدت و مدت زمان بروز تنش گردد (Liu et al., 2018; Barjas et al., 2022). به خوبی مشخص شده است که لگوم‌های علوفه‌ای در حساسیت به خشکی متفاوت هستند (Liu et al., 2018). تأثیر تنش خشکی بر تولید علوفه لگوم‌های پاییزه هم‌چون شبدر ایرانی و نخود علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد متفاوت است و عملکرد ماده خشک و دانه این گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ateş, 2016). گزارش شده است که تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی و دمای بالا رشد و گره‌زایی ریشه در لگوم‌ها را کاهش می‌دهند، مانع از فعالیت نیتروژن‌از می‌گردند، و از این طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و عملکرد را کاهش می‌دهند (Lipiec et al., 2013).

طی سال‌های اخیر کم‌آبیاری به عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای به حداکثر رساندن کارایی مصرف آب آبیاری مطرح شده است (Karimi Azar et al., 2022). هدف اصلی کم‌آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش میزان آب مصرفی در هر نوبت آبیاری یا کاهش دفعات آبیاری می‌باشد (Du et al., 2015). از آنجا که تنش خشکی به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی، اثرات متعددی بر مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی داشته و نظام‌های کشاورزی و تولید غذا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Baghdadi et al., 2021)، لازم است ارقام متحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شناسایی شوند (Gharibeshghi and Mozafari, 2017). با

در تیمار آبیاری کامل با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Chaichi *et al.*, 2015):

$$I_n = 0.623 \times A \times K_c \times ET_0 \times IE^{-1} \quad (1)$$

که در آن I_n حجم آب آبیاری بر حسب گالن است که در نهایت برای محاسبه میزان آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری به مترمکعب تبدیل شد، A سطح کانوپی در مترمربع که در معادله فوق به فوت مربع تبدیل می‌شود، K_c ضریب گیاهی شبدر، ET_0 تبخیر و تعرق بالقوه هفتگی (برحسب اینچ) و IE راندمان آبیاری (معادل با ۶۵ درصد) است. میزان ET_0 با استفاده از روش Penman-Monteith محاسبه شد (Allen *et al.*, 1998). مقدار متوسط ضریب گیاهی برای شبدر بر اساس گزارشات فائو استخراج شد. دور آبیاری در همه تیمارها هفت روز یکبار بود و رژیم‌های آبیاری بر اساس میزان آب مصرفی در هر نوبت اعمال شدند. بنابراین در تیمار کم‌آبیاری از ۷۵ درصد آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل استفاده شد. اندازه‌گیری و کنترل دقیق میزان آب مصرفی در هر نوبت با استفاده از کنتور حجمی انجام شد. طی سال اول و دوم مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۱۰۱۲۵ و ۱۱۹۸۵ مترمکعب در هکتار و در تیمار کم‌آبیاری ۷۵۹۴ و ۸۹۸۹ مترمکعب در هکتار بود.

جدول ۱- دما، رطوبت نسبی، میزان تبخیر و بارندگی در مزرعه آزمایشی

Table 1- Temperature, relative humidity, evaporation and rainfall at experimental site

Table 1- Temperature, Relative humidity, Evaporation and Rainfall at Experimental site												
ماه Month	دما Temperature (°C)						رطوبت نسبی Relative humidity (%)		تبخیر Evaporation (mm)		بارندگی Rainfall (mm)	
	حداکثر		حداقل		میانگین							
	Maximun		Minimun		Mean							
	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۷
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
شهریور September	32	32	16	17	24	24	34	35	268	266	0	0.81
مهر October	24	23	11	11	17	17	38	53	175	138	4.8	29.12
آبان November	17	13	6	5	11	9	43	73	89	71	0.64	65.91
آذر December	12	11	2	4	7	7	50	62	36	42	4.72	34.32
دی January	9	9	0	0	4	4	54	61	0	0	19.84	61.53
بهمن February	11	10	2	1	6	5	65	56	0	0	30.62	12.23
اسفند March	21	13	8	3	15	8	39	59	0	0	14.11	91.94
فروردین April	20	18	8	7	14	12	51	57	188	115	45.8	41.86
اردیبهشت May	26	28	12	13	18	21	55	44	191	240	57.06	12.03
خرداد June	34	35	17	19	26	28	37	29	334	297	7.23	0.02

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه آزمایشی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸

Table 2- Physical and chemical properties of the soil in the experimental field during the 2017-18 and 2018-19 cropping seasons

Year	K (mg kg ⁻¹)	P	N	OC	pH	FC	PWP	بافت خاک Soil texture
			(%)				(%)	
۱۳۹۶-۱۳۹۷	256	12.6	0.06	0.58	7.2	33	11	لوم رسی
2017-2018								Clay loam
۱۳۹۷-۱۳۹۸	248	12.1	0.05	0.56	7.2	32	10	لوم رسی
2018-2019								Clay loam

OC: کربن آلی، FC: ظرفیت زراعی، PWP: نقطه پژمردگی دائم.

OC: Organic carbon, FC: Field capacity, PWP: Permanent wilting point.

در این مطالعه صفات عملکرد علوفه تازه و ماده خشک، کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه و ماده خشک، تعداد روز تا گل‌دهی و شاخص‌های تحمل به خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. معیار برداشت علوفه، مرحله ۱۰ درصد گل‌دهی در نظر گرفته شد (Balazadeh et al., 2021) و تعداد کل چین‌ها در هر سال آزمایش سه چین بود. جهت تعیین عملکرد علوفه تازه، دو ردیف وسط هر کرت با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها (اثرات حاشیه‌ای)، برداشت و توزین شد. جهت تعیین محتوی ماده خشک، دو کیلوگرم نمونه علوفه تازه از هر کرت توسط آون هواخشک با دمای ۶۵ درجه تا رسیدن به وزن ثابت (۴۸ ساعت) خشک (Aashoori et al., 2021) و توزین شدند و بر اساس محتوی ماده خشک در هر نمونه، عملکرد ماده خشک در هر کرت و در هکتار محاسبه گردید. کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه و ماده خشک با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Baghdadi et al., 2021; Balazadeh et al., 2021).

شاخص‌های مذکور بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Y_p)، عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی (Y_s)، میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش ($\bar{Y}_p$) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها تحت تنش خشکی ($\bar{Y}_s$) محاسبه شدند. محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس این شاخص‌ها و ارزیابی همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش با استفاده از نرم‌افزار آنالین iPASTIC انجام شد. برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس ماتریس همبستگی عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش نیز از نرم‌افزار XLSTAT 2019 استفاده شد. قبل از انجام تجزیه آماری، پراکنش داده‌ها توسط آزمون شاپیرو ویلک^۱ در نرم‌افزار SAS9.1 بررسی شد و نرمال بودن آن‌ها به اثبات رسید. سپس با توجه به همگنی خطاهای آزمایشی طی دو سال آزمایش، تجزیه واریانس مرکب توسط نرم‌افزار SAS9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. در مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه، به منظور تسهیل ارزیابی ژنوتیپ‌ها از روش برش‌دهی بر روی سال × رژیم آبیاری استفاده شد.

$$IWUE = \text{Yield} / WU \quad (2)$$

که در آن، IWUE کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه و ماده خشک (بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب)، Yield عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (بر حسب کیلوگرم در هکتار) و WU حجم آب آبیاری مصرفی (بر حسب مترمکعب در هکتار) می‌باشد. کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تازه در واقع میزان علوفه تازه تولید شده (بر حسب کیلوگرم) به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری را نشان می‌دهد درحالی‌که کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک بیانگر میزان ماده خشک تولیدی (بر حسب کیلوگرم) به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری می‌باشد (Baghdadi et al., 2021; Balazadeh et al., 2021).

¹- Shapiro-Wilk Test

جدول ۳- رابطه‌های مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

Table 3- Equations used to calculate stress tolerance and susceptibility indices

رابطه	شماره رابطه	منبع
Equation	Equation No.	Reference
$TOL = Y_p - Y_s$	(۳)	(Rosielle and Hamblin, 1981)
$STI = (Y_s \times Y_p) / (\bar{Y}_p)^2$	(۴)	(Fernandez, 1992)
$SSI = ((1 - (Y_s/Y_p)) / ((1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)))$	(۵)	(Fischer and Maurer, 1978)
$MP = (Y_p + Y_s) / 2$	(۶)	(Rosielle and Hamblin, 1981)
$GMP = (Y_p \times Y_s)^{0.5}$	(۷)	(Fernandez, 1992)
$HM = 2(Y_s \times Y_p) / (Y_s + Y_p)$	(۸)	(Bidingier et al., 1987)
$RSI = (Y_s/Y_p) / (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$	(۹)	(Fischer and Wood, 1979)
$YI = Y_s / \bar{Y}_s$	(۱۰)	(Gavuzzi et al., 1997)
$YSI = Y_s / Y_p$	(۱۱)	(Bouslama and Schapaugh, 1984)

Y_p : عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Y_s : عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، $\bar{Y}_p$: میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، $\bar{Y}_s$: میانگین عملکرد تمامی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، TOL : شاخص تحمل، MP : میانگین بهره‌وری، GMP : میانگین هندسی بهره‌وری، HM : میانگین هارمونیک، SSI : شاخص حساسیت به تنش، STI : شاخص تحمل به تنش، YI : شاخص عملکرد، YSI : شاخص پایداری عملکرد، RSI : شاخص تنش نسبی.

Y_p : genotype yield under non-stress condition; Y_s : genotype yield under stress condition; $\bar{Y}_p$: mean yield of all genotypes under non-stress condition; $\bar{Y}_s$: mean yield of all genotypes under stress condition; TOL : tolerance index; MP : mean productivity; GMP : geometric mean productivity; HM : harmonic mean; SSI : stress susceptibility index; STI : stress tolerance index; YI : yield index; YSI : yield stability index; RSI : relative stress index.

نتایج و بحث

مقایسه ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی از نظر تعداد روز تا گل‌دهی تحت رژیم‌های آبیاری کامل و کم‌آبیاری نشان داد که تنش خشکی در تمامی ژنوتیپ‌ها و سال‌های موردبررسی، طول دوره رشد را کاهش داد و سبب زودرسی گیاه شبدر شد (جدول ۴). بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی در چین اول و کمترین آن در چین سوم مشاهده شد که با توجه به روند افزایش دما طی این دوره زمانی (جدول ۱)، منطقی به نظر می‌رسد. بیشتر بودن تعداد روز تا گل‌دهی در سال دوم نیز با دمای کمتر هوا طی این دوره مرتبط است (جدول ۱). شدیدترین کاهش تعداد روز تا گل‌دهی تحت تأثیر تنش خشکی در چین اول سال دوم و در اکوتیپ اقلید (۱۴ روز) و رقم پارس (۱۳ روز) مشاهده شد. به طور کلی در هر سه چین بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی طی سال دوم و رژیم آبیاری کامل ثبت شد و کمترین میزان این صفت در سال اول و تحت شرایط کم‌آبیاری مشاهده گردید (جدول ۴). در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی نیز تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ زابل کمترین حساسیت را به تنش خشکی نشان داد. رژیم کم‌آبیاری سبب شد تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ زابل طی چین‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۲، ۳ و ۱ روز در سال اول و ۶، ۳ و ۳ روز در سال دوم کاهش یابد (جدول ۴). کاهش تعداد روز تا گل‌دهی بر اثر تنش خشکی و گرما در

گیاهان زراعی مختلف به اثبات رسیده است (Ghasemi *et al.*, 2019; Sadeghinejad *et al.*, 2015; Jazayeri and Rezaei, 2006). کم‌آبی و دمای بالا سبب تسریع در زودرسی گیاهان می‌شود و این واکنش به عنوان یکی از مهمترین مکانیزم‌های فرار از شرایط تنش به شمار می‌رود (Jazayeri and Rezaei, 2006).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد علوفه تازه و ماده خشک در چین اول، دوم و سوم و همچنین مجموع آن‌ها و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه و ماده خشک به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل سال $\times$ آبیاری $\times$ ژنوتیپ قرار گرفتند (جدول ۵ و ۶). اثر سال بر عملکرد علوفه تازه و ماده خشک و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک معنی‌دار بود، به‌نحوی که در سال دوم میزان این صفات افزایش یافت (جدول ۷ و ۸). بیشترین مجموع عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (به ترتیب ۱۰۳/۳۳ و ۱۵/۴۰ تن در هکتار) توسط اکوتیپ زابل و تحت رژیم آبیاری کامل در سال دوم حاصل شد. این ترکیب تیماری در چین اول، دوم و سوم هم جزو گروه آماری برتر رتبه‌بندی شد (جدول ۷ و ۸). کمترین عملکرد علوفه تازه در سال اول (۶۵/۸۸ تن در هکتار) توسط اکوتیپ زابل و در سال دوم (۹۲/۶۸ تن در هکتار) توسط رقم پارس به دست آمد (جدول ۷).

جدول ۴- تعداد روز تا گلدهی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی تحت رژیم‌های آبیاری کامل و کم‌آبیاری طی سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸

Table 4- Days to flowering of Persian clover genotypes under full irrigation and deficit irrigation regimes during the 2017-18 and 2018-19 cropping seasons

سال	رژیم آبیاری	ژنوتیپ	چین ۱	چین ۲	چین ۳
Year	Irrigation regime	Genotype	Cut 1	Cut 2	Cut 3
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	228	26	24
		Aleshtar	231	28	21
		Eghlid	231	27	21
		Harati	222	27	25
		Zabol	217	26	24
	کم‌آبیاری Deficit irrigation	Pars	220	24	21
		Aleshtar	225	24	19
		Eghlid	223	24	19
		Harati	218	23	21
		Zabol	215	24	23
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	235	28	26
		Aleshtar	233	28	26
		Eghlid	238	30	23
		Harati	238	29	27
		Zabol	238	30	27
	کم‌آبیاری Deficit irrigation	Pars	222	26	22
		Aleshtar	228	26	22
		Eghlid	224	27	21
		Harati	228	26	24
		Zabol	232	27	24

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد علوفه تازه و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 5- Analysis of variance of fresh forage yield and irrigation water-use efficiency for forage production (IWUE-FFY) as affected by experimental treatments

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				کارایی مصرف آب
		چین ۱	چین ۲	چین ۳	مجموع	
S.O.V.	d.f.	Cut 1	Cut 2	Cut 3	Total	IWUE-FFY
سال	1	1605.80**	222.33**	242.60**	4978.61**	4.820 ^{ns}
Year						
بلوک (سال)	4	68.49	9.18	4.10	118.26	1.253
Block (Year)						
آبیاری	1	921.98 ^{ns}	828.07 ^{ns}	720.72 ^{ns}	7393.71 ^{ns}	0.030 ^{ns}
Irrigation						
سال × آبیاری	1	56.45 ^{ns}	10.33 ^{ns}	14.55 ^{ns}	65.83 ^{ns}	0.049 ^{ns}
Year × Irrigation						
خطای اصلی	4	11.62	6.44	1.51	28.39	0.368
Error a						
رقم	4	81.88 ^{ns}	19.14 ^{ns}	122.95**	39.52 ^{ns}	0.382 ^{ns}
Cultivar						
سال × رقم	4	189.63**	5.61 ^{ns}	5.52 ^{ns}	232.14*	2.526*
Year × Cultivar						
آبیاری × رقم	4	38.52 ^{ns}	14.23 ^{ns}	12.25 ^{ns}	46.84 ^{ns}	0.527 ^{ns}
Irrigation × Cultivar						
سال × آبیاری × رقم	4	36.01*	16.45**	8.79**	34.43*	0.377*
Year × Irrigation × Cultivar						
خطای آزمایشی	32	12.05	3.60	1.86	11.80	0.134
Error						
ضریب تغییرات	-	8.02	8.83	11.75	9.49	9.68
CV (%)						

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

ns: not significant; ** and * represent significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively.

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

Table 6- Analysis of variance of dry matter yield and irrigation water-use efficiency for dry matter production (IWUE-DMY) as affected by experimental treatments

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean squares				کارایی مصرف آب IWUE-DMY
		چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۳ Cut 3	مجموع Total	
سال Year	1	32.76*	10.76**	11.81**	154.75**	0.2795*
بلوک (سال) Block (Year)	4	1.93	0.13	0.08	2.67	0.0276
آبیاری Irrigation	1	15.81 ^{ns}	5.67 ^{ns}	14.33 ^{ns}	102.86 ^{ns}	0.0587 ^{ns}
سال × آبیاری Year × Irrigation	1	1.69 ^{ns}	0.23 ^{ns}	1.35 ^{ns}	3.93 ^{ns}	0.0018 ^{ns}
خطای اصلی Error a	4	0.40	0.05	0.03	0.67	0.0092
رقم Cultivar	4	1.24 ^{ns}	0.27 ^{ns}	3.86**	0.88 ^{ns}	0.0083 ^{ns}
سال × رقم Year × Cultivar	4	4.33**	0.24 ^{ns}	0.11 ^{ns}	5.80**	0.0599**
آبیاری × رقم Irrigation × Cultivar	4	0.56 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.36 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.0174 ^{ns}
سال × آبیاری × رقم Year × Irrigation × Cultivar	4	0.72*	0.20*	0.29**	1.30*	0.0136*
خطای آزمایشی Error	32	0.26	0.07	0.05	0.37	0.0047
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.62	9.11	11.20	10.43	10.94

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

ns: not significant; ** and * represent significant difference at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively.

اشاره نمود (Balazadeh *et al.*, 2021).

بیشترین عملکرد ماده خشک در سال اول (۱۱/۲۲) تن در هکتار) توسط اکوتیپ الشتر در شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان آن در اکوتیپ زابل به دست آمد به نحوی که برتری عملکرد اکوتیپ الشتر نسبت به اکوتیپ زابل در حدود ۲۳ درصد بود (جدول ۸). عملکرد علوفه تازه و ماده خشک در چین اول، دوم و سوم روند کاهشی داشت به نحوی که بیشترین تولید علوفه در چین اول و کمترین آن در چین سوم ثبت گردید (جدول ۷ و ۸). هر چند کم‌آبیاری عملکرد ماده خشک را در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش داد اما درصد کاهش در طی سال‌ها و چین‌های مورد بررسی یکسان نبود، به طوری که در چین سوم و سال دوم حساسیت بیشتری به تنش خشکی مشاهده شد. شدیدترین کاهش عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی (۴۰/۱ درصد) در چین سوم و سال دوم ثبت گردید که دامنه

در شرایط کم‌آبیاری نیز بیشترین عملکرد علوفه تازه و ماده خشک (به ترتیب ۸۲/۰۸ و ۱۳/۰۸ تن در هکتار) در اکوتیپ زابل و سال دوم ثبت شد، درحالی‌که در سال اول اکوتیپ اقلید با تولید ۶۰/۲۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد علوفه تازه در شرایط کم‌آبیاری را نشان داد (جدول ۷ و ۸). کمترین عملکرد علوفه تازه تحت شرایط کم‌آبیاری در سال اول (۵۳/۹۶) تن در هکتار) توسط اکوتیپ هراتی و در سال دوم (۶۵/۳۸) تن در هکتار) توسط رقم پارس تولید شد (جدول ۷). کاهش عملکرد علوفه شبدر در شرایط تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Nikou *et al.*, 2014; Nematollahi *et al.*, 2020). از علل کاهش عملکرد شبدر در شرایط تنش خشکی می‌توان به تسریع گل‌دهی و کاهش دوره رشد، کاهش ارتفاع بوته، کاهش تعداد برگ، افزایش نرخ تنفس گیاه و کاهش فتوسنتز خالص و در نهایت کاهش تولید ماده خشک علوفه

نتایج با یافته‌های سایر محققین نیز مطابقت دارد (Bakhtiyari et al., 2020; Balazadeh et al., 2021). در بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد علوفه گونه‌های مختلف شبدر گزارش شده است که در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی متوسط، شبدر لاک‌ی و در شرایط تنش خشکی شدید شبدر ایرانی عملکرد علوفه بالاتری داشتند (Nematollahi et al., 2020).

تغییرات عملکرد از ۲۸/۲- درصد در اکوتیپ زابل تا ۵۴/۸- درصد در اکوتیپ الشتر متفاوت بود (جدول ۷ و ۸). از جمله دلایل کاهش شدید عملکرد ماده خشک در چین سوم و سال دوم مصادف شدن دوره رشد شبدر با هوای گرم و سیستم فتوسنتزی سه‌کربنه این گیاه بود. اطلاعات هواشناسی هم موید این موضوع است به‌نحوی که در زمان رشد چین سوم در سال دوم میانگین دمای هوا بیشتر از سال اول بود (جدول ۱). این

جدول ۷- اثر متقابل سال × تنش خشکی × ژنوتیپ بر عملکرد علوفه تازه و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه شبدر ایرانی (برش‌دهی بر روی سال و رژیم آبیاری)

Table 7- The interaction of year × drought stress × genotype on fresh forage yield and irrigation water-use efficiency for forage production of Persian clover, IWUE-FFY (sliced upon the year and irrigation regime)

Production of Persian clover, IWUE-FFY (sheed upon the year and irrigation regime)							
سال Year	رژیم آبیاری Irrigation regime	ژنوتیپ Genotype	عملکرد علوفه تازه Fresh forage yield (ton ha ⁻¹)				کارایی مصرف آب برای تولید علوفه تازه
			چین ۱ Cut 1	چین ۲ Cut 2	چین ۳ Cut 3	مجموع Total	IWUE-FFY (kg m ⁻³)
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	42.70	20.58	14.11	77.40	7.644
		Aleshtar	44.70	20.81	7.31	78.83	7.786
		Eghlid	49.66	25.05	7.41	82.13	8.112
		Harati	37.85	26.05	18.51	82.41	8.140
		Zabol	30.21	20.06	15.60	65.88	6.507
		LSD _{0.05}	4.23	2.78	2.72	5.36	0.530
	کم آبیاری Deficit irrigation	Pars	35.35	15.48	7.13	57.96	7.634
		Aleshtar	40.36	14.95	4.58	59.90	7.888
		Eghlid	38.81	17.43	4.00	60.25	7.934
		Harati	33.31	13.23	7.41	53.96	7.107
		Zabol	27.78	16.16	10.10	54.05	7.118
		LSD _{0.05}	2.99	3.77	2.57	6.27	0.826
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	51.76	23.66	17.25	92.68	7.733
		Aleshtar	51.50	26.16	17.25	94.91	7.920
		Eghlid	54.83	30.25	12.25	97.33	8.121
		Harati	52.96	26.00	21.00	99.96	8.341
		Zabol	55.50	27.58	20.25	103.33	8.622
		LSD _{0.05}	10.89	4.52	3.36	7.26	0.607
	کم آبیاری Deficit irrigation	Pars	36.46	19.33	9.58	65.38	7.274
		Aleshtar	46.66	20.08	7.33	74.08	8.242
		Eghlid	41.90	20.16	6.91	68.98	7.674
		Harati	43.63	20.41	12.16	76.21	8.479
		Zabol	49.00	20.66	12.41	82.08	9.132
		LSD _{0.05}	5.02	2.94	1.06	6.81	0.758
LSD _{0.05} (Year×Irrigation×Genotype)			4.61	3.08	2.69	5.71	0.610

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

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

جدول ۸- اثر متقابل سال × تنش خشکی × ژنوتیپ بر عملکرد ماده خشک و کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید ماده خشک شبدر ایرانی (برش‌دهی بر روی سال و رژیم آبیاری)

Table 8- The interaction of year × drought stress × genotype on dry matter yield and irrigation water-use efficiency for dry matter of Persian clover, IWUE-DMY (sliced upon the year and irrigation regime) production

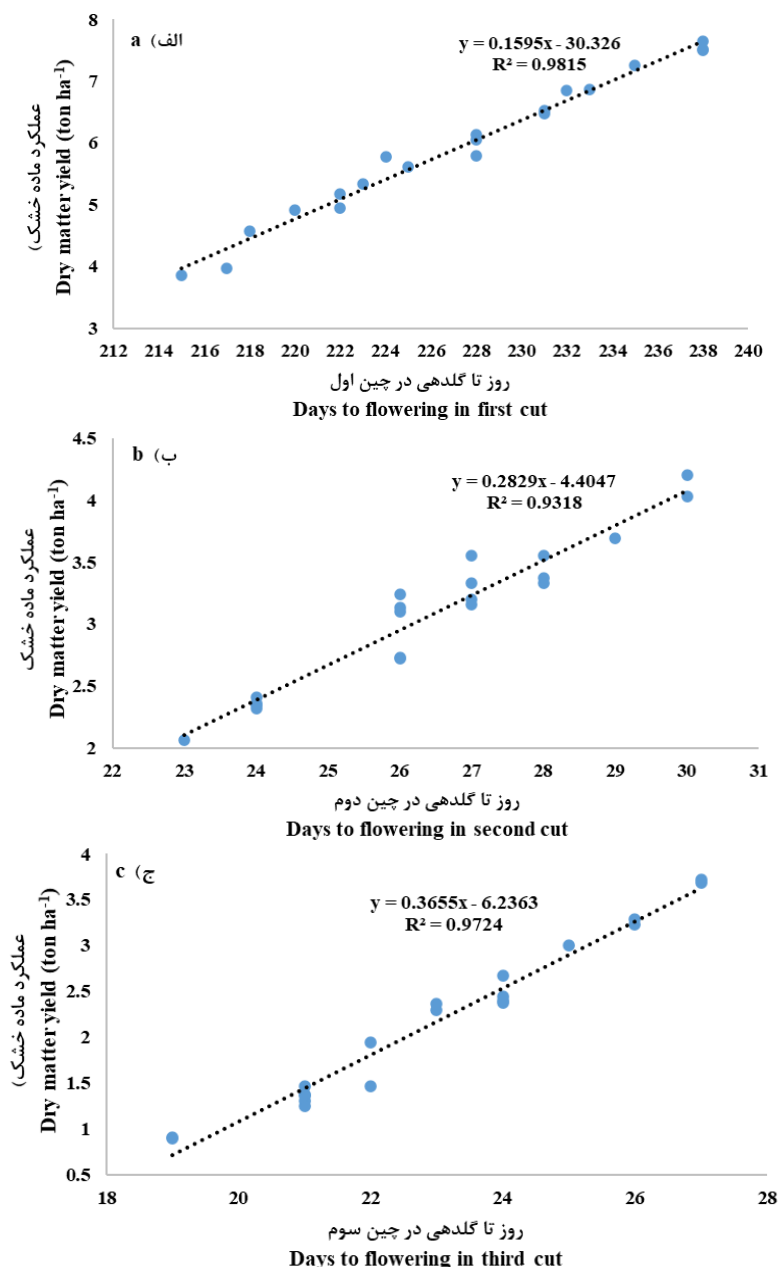
عملکرد ماده خشک							
سال	رژیم آبیاری	ژنوتیپ	Dry matter yield (ton ha ⁻¹)				کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک IWUE-DMY (kg m ⁻³)
			چین ۱	چین ۲	چین ۳	مجموع	
Year	Irrigation regime	Genotype	Cut 1	Cut 2	Cut 3	Total	
۱۳۹۶-۱۳۹۷ 2017-2018	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	5.80	2.73	2.37	10.91	1.078
		Aleshtar	6.53	3.37	1.31	11.22	1.108
		Eghlid	6.48	3.20	1.25	10.93	1.080
		Harati	4.95	3.16	3.00	11.12	1.098
		Zabol	3.97	2.72	2.40	9.10	0.899
		LSD _{0.05}	0.72	0.45	0.35	0.99	0.098
	کم آبیاری Deficit irrigation	Pars	4.91	2.34	1.37	8.63	1.136
		Aleshtar	5.61	2.32	0.91	8.85	1.166
		Eghlid	5.33	2.41	0.90	8.65	1.140
		Harati	4.57	2.06	1.46	8.10	1.068
		Zabol	3.85	2.36	2.29	8.50	1.120
		LSD _{0.05}	0.63	0.59	0.37	1.38	0.182
۱۳۹۷-۱۳۹۸ 2018-2019	آبیاری کامل Full irrigation	Pars	7.26	3.33	3.29	13.88	1.158
		Aleshtar	6.87	3.55	3.23	13.65	1.139
		Eghlid	7.50	4.20	2.36	14.05	1.172
		Harati	7.52	3.69	3.69	14.91	1.244
		Zabol	7.65	4.03	3.72	15.40	1.285
		LSD _{0.05}	1.39	0.61	0.65	0.97	0.082
	کم آبیاری Deficit irrigation	Pars	5.17	3.10	1.94	10.21	1.137
		Aleshtar	6.14	3.13	1.46	10.73	1.194
		Eghlid	5.78	3.33	1.36	10.48	1.167
		Harati	6.05	3.24	2.44	11.73	1.305
		Zabol	6.85	3.55	2.67	13.08	1.455
		LSD _{0.05}	0.91	0.46	0.39	1.19	0.133
LSD _{0.05} (Year×Irrigation×Genotype)			0.83	0.55	0.41	1.01	0.114

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

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

فتوسنتز می‌گردد اما با پیشرفت تنش خشکی، کاهش در فتوسنتز بیشتر به دلیل عوامل غیرروشنه‌ای می‌باشد (Chaves *et al.*, 2009). عملکرد علوفه و ماده خشک شبدر با رشد و نمو استولون و میزان تولید برگ در گره‌های استولون تعیین می‌شود (Marshall *et al.*, 2015). در آزمایشی بر روی هیبریدهای شبدر سفید (*Trifolium repens*) و قفقازی (*Trifolium ambiguum*) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شد که شبدر قفقازی تحمل بیشتری به خشکسالی نسبت به شبدر سفید دارد و تحت شرایط تنش خشکی شبدر قفقازی محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ بیشتری را نسبت به شبدر سفید حفظ می‌کند (Marshall *et al.*, 2015).

در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش تعداد روز تا گل‌دهی، عملکرد ماده خشک بهبود یافت و ژنوتیپ‌هایی که طول دوره رشدشان کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، عملکرد بیشتری داشتند. در مطالعه دیگری نیز گزارش شد که با افزایش طول دوره رشد، عملکرد شبدر افزایش یافت (Shoushi Dezfuli *et al.*, 2019). بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، تأمین دی‌اکسید کربن را برای سیستم فتوسنتزی مشکل می‌سازد (Chaves *et al.*, 2002) و فتوسنتز و رشد سلول همراه با هم، از جمله اولین فرآیندهایی هستند که تحت تأثیر خشکی کاهش می‌یابند (Munns *et al.*, 2006). در شرایط تنش ملایم هدایت روزنه‌ای به مقدار اندک کاهش یافته و موجب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن و در نتیجه محدودیت



شکل ۱- رابطه رگرسیونی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گلدهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی طی چین‌های اول (الف)، دوم (ب) و سوم (ج)

Figure 1- Regression relationship between dry matter yield and number of days to flowering in Persian clover genotypes during the first (a), second (b) and third (c) cut

کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (شکل ۱). بیشتر بودن شیب رابطه خطی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گل‌دهی در چین سوم نسبت به چین دوم و در چین دوم نسبت به چین اول (شکل ۱) با تغییرات دمای هوای مرتبط است، به‌نجوی که در چین سوم هوا گرم‌تر بود و طی هر روز، میزان بیشتری از نیاز حرارتی شبدر تأمین می‌شد درحالی‌که در چین اول میانگین دمای هوا کمتر بود و به همین نسبت نیاز حرارتی

در شکل ۱ رابطه رگرسیونی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی طی چین‌های اول، دوم و سوم ارائه شده است. بر این اساس با افزایش تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی، عملکرد ماده خشک در هر سه چین به طور خطی افزایش می‌یابد. به ازای هر یک روز کاهش در تعداد روز تا گل‌دهی طی چین‌های اول، دوم و سوم، عملکرد ماده خشک به‌ترتیب حدود ۱۶۰، ۲۸۳ و ۳۶۶

کمتری طی هر روز تأمین می‌شد (جدول ۴). بنابراین در چین اول حساسیت کمتری به کاهش طول دوره رشد مشاهده شد، درحالی‌که در چین سوم بیشترین حساسیت وجود داشت (شکل ۱). با توجه به اثر تنش خشکی بر زودرسی و کاهش تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی (جدول ۴) و همچنین با در نظر گرفتن رابطه رگرسیونی بین عملکرد ماده خشک و تعداد روز تا گل‌دهی (شکل ۱)، می‌توان کاهش عملکرد علوفه تحت تنش خشکی را با کاهش تعداد روز تا گل‌دهی شبدر مرتبط دانست. تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ زلیل کمترین حساسیت را به تنش خشکی نشان داد (جدول ۴) و از آنجائی که رابطه خطی مستقیمی بین تعداد روز تا گل‌دهی و عملکرد ماده خشک وجود داشت (شکل ۱)، حداکثر عملکرد علوفه در شرایط کم‌آبیاری در اکوتیپ زلیل (با بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی) ثبت شد (جداول ۷ و ۸). مطالعات مختلفی نشان داده است که تنش خشکی سبب زودرسی گیاهان زراعی می‌شود که این واکنش به عنوان یکی از مهمترین مکانیزم‌های فرار از شرایط تنش به شمار می‌رود (Ghasemi *et al.*, 2019; Sadeghinejad *et al.*, 2015; Jazayeri and Rezaei, 2006). هر چند قابلیت فرار از تنش به اطمینان از تکمیل چرخه زندگی گیاه و تولید بذر کمک می‌کند ولی وقتی هدف از کشت تولید علوفه باشد، این مکانیزم چندان مطلوب نیست زیرا سبب کاهش معنی‌دار عملکرد ماده خشک و علوفه تولیدی خواهد شد (Balazadeh *et al.*, 2021). حداکثر کارایی مصرف آب آبیاری برای تولید علوفه و ماده

خشک (به‌ترتیب ۹/۱۳۲ و ۱/۴۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در اکوتیپ زلیل تحت تنش خشکی در سال دوم ثبت گردید درحالی‌که کمترین میزان آن‌ها (به‌ترتیب ۶/۵۰۷ و ۰/۸۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب) در اکوتیپ زلیل تحت آبیاری کامل در سال اول مشاهده شد (جداول ۷ و ۸). واکنش کارایی مصرف آب آبیاری به تنش خشکی وابسته به ژنوتیپ بود و در برخی ژنوتیپ‌ها کارایی مصرف آب تحت کم‌آبیاری کاهش و در برخی افزایش یافت. بیشترین افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی در اکوتیپ زلیل مشاهده شد به نحوی که کم‌آبیاری در سال اول و دوم به‌ترتیب سبب افزایش ۲۴/۶ و ۱۳/۲ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید ماده خشک در این ژنوتیپ شد (جدول ۸). مدیریت آب از طریق تغییر در کمیت آبیاری در مراحل مختلف رشد سبب به حداقل رسیدن تبخیر و افزایش کارایی آب برای رشد گیاه می‌شود (Zou *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد در شرایط کم‌آبی، ژنوتیپ‌های شبدر با بستن روزنه‌ها یا کاهش سطح برگ باعث کاهش تعرق و تلفات آب شده و موجبات افزایش کارایی مصرف آب را فراهم می‌آورند (Balazadeh *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای گزارش شد که تحت تنش خشکی، کارایی مصرف آب برای تولید بیوماس نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) افزایش یافت (Farhadi *et al.*, 2022).

مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تحمل به خشکی به‌ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۹- شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی

Table 9- Drought tolerance indices in Persian clover genotypes

ژنوتیپ Genotype	Yp (ton.ha ⁻¹)	Ys (ton.ha ⁻¹)	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Pars	12.40	9.42	2.98	10.91	10.81	10.71	1.14	0.57	0.95	0.76	0.96
Aleshtar	12.44	9.74	2.70	11.09	11.01	10.93	1.03	0.77	0.99	0.78	0.99
Eghlid	12.49	9.57	2.92	11.03	10.93	10.84	1.11	0.76	0.97	0.77	0.97
Harati	13.02	9.92	3.10	11.47	11.36	11.26	1.13	0.82	1.00	0.76	0.96
Zabol	12.25	10.79	1.46	11.52	11.50	11.47	0.57	0.84	1.09	0.88	1.12

Yp: عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی.

Yp: genotype yield under non-stress condition; Ys: genotype yield under stress condition; TOL: tolerance index; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; HM: harmonic mean; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index; YI: yield index; YSI: yield stability index; RSI: relative stress index.

جدول ۱۰- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های شبدر ایرانی بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 10- Ranking of Persian clover genotypes based on drought tolerance indices

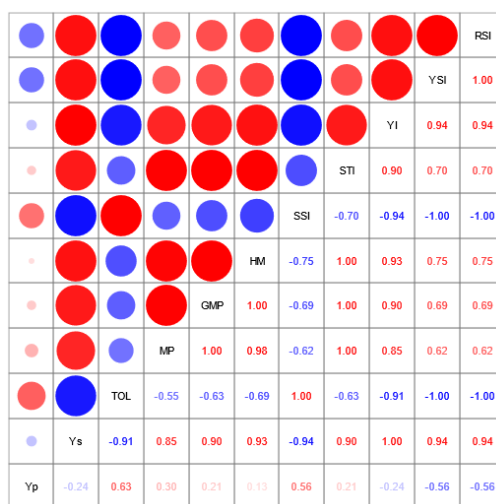
ژنوتیپ Genotype	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	SR	AR	SD
Pars	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	53	4.82	0.40
Aleshtar	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	29	2.64	0.50
Eghlid	2	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	38	3.45	0.69
Harati	1	2	5	2	2	2	4	2	2	4	4	30	2.73	1.27
Zabol	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	1.36	1.21

Yp: عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys: عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی، SR: مجموع رتبه‌ها، AR: میانگین رتبه‌ها، SD: انحراف معیار.

Yp: genotype yield under non-stress condition; Ys: genotype yield under stress condition; TOL: tolerance index; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; HM: harmonic mean; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index; YI: yield index; YSI: yield stability index; RSI: relative stress index; SR: sum of ranks; AR: average of ranks; SD: standard deviation.

تجزیه همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد ماده خشک استفاده شد (شکل ۲). بر این اساس شاخص‌های TOL، SSI، RSI و YSI که بالاترین همبستگی را با عملکرد ماده خشک تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبایی داشتند، به عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها در این مطالعه شناسایی شدند (شکل ۲).

در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی اکوتیپ زلیل بیشترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP، HM، YI و STI و کمترین میزان شاخص‌های TOL، SSI، RSI و YSI را داشت (جدول ۹) و با کسب کمترین میانگین رتبه به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد (جدول ۱۰). به منظور شناسایی بهترین شاخص‌ها برای رتبه‌بندی تیمارها از نظر تحمل به خشکی از



شکل ۲- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد ماده خشک شبدر تحت شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی (Ys)

Figure 2- Correlation coefficients between drought tolerance indices and clover dry matter yield under full irrigation conditions (Yp) and drought stress (Ys)

TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص تنش نسبی

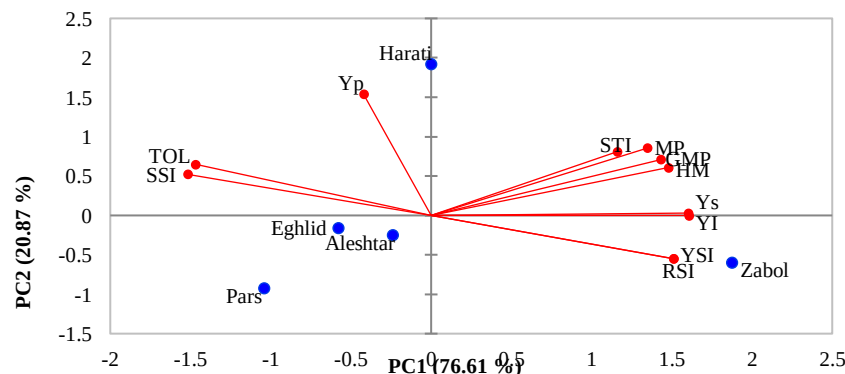
TOL: tolerance index; MP: mean productivity; GMP: geometric mean productivity; HM: harmonic mean; SSI: stress susceptibility index; STI: stress tolerance index; YI: yield index; YSI: yield stability index; RSI: relative stress index.

بررسی و شرایط هر آزمایش دارد، به‌نحوی که در ارزیابی تحمل به خشکی اکوتیپ‌های شبدر یک‌ساله عنوان شد که شاخص‌های

شاخص‌های مطلوب برای شناسایی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها در هر مطالعه متفاوت است و بستگی به صفت مورد

رشد زایشی کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد؛ اما زمانی که هدف از کشت، تولید علوفه (ماده خشک) باشد، کاهش طول دوره رشد و زودرسی ناشی از تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شده و در این شرایط ژنوتیپ‌هایی که طول دوره رشدشان کمتر تحت تأثیر قرار بگیرد، تولید علوفه و تحمل به خشکی بیشتری خواهند داشت (Baghdadi and Golzardi, 2022). مقادیر بزرگ‌تر از یک در شاخص SSI، حساسیت بیشتر از میانگین ژنوتیپ نسبت به کم‌آبایی را نشان می‌دهد (Sabouri et al., 2022). همانطور که در جدول ۹ مشخص است، ژنوتیپ‌های پارس، هراتی، اقلید و الشتر دارای شاخص SSI بزرگ‌تر از یک می‌باشند ولی میزان این شاخص در اکوتیپ زابل کوچکتر از یک است (جدول ۹) که تأیید مجددی بر تحمل به خشکی بالای این ژنوتیپ می‌باشد (Alizadeh et al., 2017). از آنجایی که معمولاً هیچ یک از شاخص‌های تحمل به تنش به تنهایی قادر به شناسایی تیمارهای مطلوب نیستند، لازم است از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شود (Thiry et al., 2016). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ماتریس همبستگی بین عملکرد ماده خشک تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبایی و نه شاخص تحمل به خشکی (در مجموع ۱۱ صفت) نشان داد که ۷۶/۶۰۸ درصد از تغییرات توسط مؤلفه اصلی اول و ۲۰/۸۷۲ درصد از تغییرات توسط مؤلفه اصلی دوم توجیه شد که در مجموع ۹۷/۴۸۰ درصد از کل تغییرات را شامل گردید (شکل ۳).

MP, GMP, HM و STI بیشترین همبستگی را با عملکرد ماده خشک تحت شرایط نرمال و تنش داشتند و به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شبدر معرفی شدند (Nikou et al., 2014). در بررسی عملکرد دانه گندم نان در شرایط نرمال و تنش نیز گزارش شد که شاخص‌های MP, GMP و STI با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند و به عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها شناسایی شدند (Singh et al., 2018). در این مطالعه شاخص‌های MP, GMP, HM, YI و STI با وجود همبستگی بالا با عملکرد ماده خشک در شرایط تنش خشکی، همبستگی معنی‌داری با عملکرد در شرایط آبیاری کامل ندارند و بدین جهت جزو شاخص‌های مطلوب در این آزمایش محسوب نمی‌شوند. بر اساس شاخص‌های مطلوب در آزمایش حاضر نیز اکوتیپ زابل و پس از آن اکوتیپ الشتر به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش کم‌آبایی شناسایی شدند. از آنجا که صفت تعداد روز تا گل‌دهی در اکوتیپ‌های زابل و الشتر کمتر از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به نظر می‌رسد دلیل تحمل به خشکی بالاتر این اکوتیپ‌ها، بیشتر بودن تعداد روز تا گل‌دهی آن‌ها باشد (Ghasemi et al., 2019; Sadeghinejad et al., 2015; Jazayeri and Rezaei, 2006). به نظر می‌رسد وقتی عملکرد دانه یک محصول مدنظر باشد، کاهش طول دوره رشد (زودرسی) و فرار از خشکی ویژگی مطلوبی باشد و به تحمل به خشکی آن کمک نماید، زیرا با کوتاه شدن طول دوره رشد، رویشی و افزایش میزان انتقال مجدد از برگ‌ها و ساقه‌ها به دانه،



شکل ۳- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر اساس ماتریس همبستگی عملکرد ماده خشک شبدر تحت آبیاری کامل (Yp)، عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش

Figure 3. Principal components analysis (PCA) based on the correlation matrix of clover dry matter yield under full irrigation conditions (Yp), dry matter yield under drought stress (Ys) and stress tolerance indices

مؤلفه‌های سوم و چهارم نیز به ترتیب ۲/۴۹۵ و ۰/۰۲۴ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز اکوتیپ زایل با حداکثر مقادیر مؤلفه اصلی اول به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد، درحالی‌که رقم پارس با حداقل مقادیر مؤلفه اصلی اول بیشترین حساسیت را به تنش خشکی نشان داد. اکوتیپ هراتی نیز با حداکثر مقدار مؤلفه اصلی دوم به عنوان بهترین ژنوتیپ برای کشت در شرایط آبیاری کامل معرفی شد (شکل ۳). در مطالعه‌ای پس از بررسی میزان تحمل به خشکی ارقام مختلف شبدر برسیم و ایرانی گزارش شد که ارقام کرج، الیت، وین و الکس بیشترین تحمل را در برابر تنش خشکی نشان دادند (Alizadeh et al., 2017). مشلبه با آزمایش حاضر، در مطالعه دیگری نیز از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده شد (Sabouri et al., 2022). در مطالعه تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های شبدر در مشهد گزارش شد که مؤلفه اصلی اول حدود ۶۶ درصد از تغییرات مربوط به شاخص‌های تحمل به تنش را توجیه کرد و شاخص‌های STI, MP, GMP و HM بیشترین نقش را در آن داشتند. مؤلفه دوم نیز حدود ۳۳ درصد از تغییرات موجود را توجیه کرد و در آن شاخص‌های TOL و SSI بیشترین نقش را داشتند (Abbasi et al., 2019). در مطالعه حاضر شاخص‌های Ys, YI, YSI, RSI, SSI, HM و GMP بیشترین نقش را در مؤلفه اصلی اول داشتند درحالی‌که عملکرد ماده خشک در شرایط آبیاری کامل (Yp) بیشترین نقش را در مؤلفه اصلی دوم داشت (شکل ۳). بنابراین مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی در هر آزمایش بسته به نوع گیاه و شرایط محیطی می‌تواند متفاوت باشد (Singh et al., 2018).

نتیجه‌گیری کلی

اکوتیپ‌های هراتی و زایل به‌ترتیب تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری، بیشترین عملکرد علوفه تازه و ماده خشک را تولید کردند. واکنش کارایی مصرف آب به تنش خشکی وابسته

به ژنوتیپ بود و در برخی ژنوتیپ‌ها کارایی مصرف آب آبیاری تحت شرایط کم‌آبیاری کاهش و در برخی افزایش یافت. بیشترین افزایش کارایی مصرف آب تحت تنش خشکی در اکوتیپ زایل مشاهده شد. عملکرد علوفه تازه و ماده خشک در چین اول، دوم و سوم روند کاهشی داشت به نحوی که بیشترین تولید علوفه در چین اول و کمترین آن در چین سوم ثبت گردید. هر چند کم‌آبیاری عملکرد ماده خشک را در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش داد اما درصد کاهش در طی سال‌ها و چین‌های مورد بررسی یکسان نبود، به طوری که در چین سوم و سال دوم حساسیت بیشتری به تنش خشکی مشاهده شد. شدیدترین کاهش عملکرد ماده خشک تحت تنش خشکی در چین سوم و سال دوم ثبت گردید. بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اکوتیپ زایل و پس از آن اکوتیپ الشتر به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش کم‌آبیاری شناسایی شدند. به طور کلی نتایج نشان داد که در شرایط فراهمی آب آبیاری، اکوتیپ هراتی و در شرایط محدودیت آبی، اکوتیپ زایل برای کشت در مناطق نیمه‌خشک کشور قابل‌توصیه هستند. از آنجا که اکوتیپ‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر از پتانسیل عملکرد مناسبی برخوردار بودند، پیشنهاد می‌شود از این اکوتیپ‌ها در برنامه‌های اصلاحی برای تولید ارقام پرمحصول و یا متحمل به خشکی استفاده شود. خصوصاً به نظر می‌رسد اکوتیپ زایل منبع ژنتیکی مناسبی برای تولید ارقام متحمل به خشکی شبدر در برنامه‌های اصلاحی آتی باشد.

سپاسگزاری

این مطالعه توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با کد مصوب ۹۴۱۴۴-۰۳-۰۳ انجام شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های ریاست و کارکنان محترم این مؤسسه/سازمان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Abbasi, M.R., Hassanzadeh, A., Mahdipour, A., Anahid, S. and Safari, S., 2019. Forage yield in some Iranian wild trifolium genetic resources under different climatic and irrigation conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), pp.993-1004. **dor: 20.1001.1.16807073.2019.21.4.14.9**

- Alizadeh, B., Mostafavi, K. and Zamanian, M., 2017. Study of drought tolerance of Berseem and Persian clover cultivars. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 12(4), pp.67-76. [In Persian].
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage*, 56, pp.26-40.
- Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J. and Ilkaee, M.N., 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, 80,e1421. **doi: 10.1590/1678-4499.20200423**
- Ates, E., 2016. Determining drought tolerance of new fodder pea and Persian clover genotypes at the germination and early seedling stages. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(12), pp.6020-6029.
- Baghdadi, A., Golzardi, F. and Hashemi, M., 2021. The use of alternative irrigation and cropping systems in forage production may alleviate the water scarcity in semi-arid regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(10), pp. 5050-5060. **doi: 10.1002/jsfa.12574**
- Baghdadi, A. and Golzardi, F., 2022. Forage Crops. ETKA Publication, Tehran, Iran. [In Persian].
- Bakhtiyari, F., Zamanian, M. and Golzardi, F., 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 11(1), pp.49-65.
- Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A., 2021. Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(16), pp.1927-1942. **doi: 10.1080/00103624.2021.1900228**
- Barjas, M., Mehravaran, L., Allahdou, M. and Ganjali, S., 2022. Effects of application of salicylic acid under the drought stress on morphophysiological and biochemical traits of two varieties of mung bean. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), pp.153-171. [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2022.309460.1139**
- Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D., 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38(1), pp.49-59. **doi: 10.1071/ar9870049**
- Bousslama, M. and Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24(5), pp.933-937. **doi: 10.2135/cropsci1984.0011183x002400050026x**
- Chaichi, M.R., Nurre, P., Slaven, J. and Rostamzadeh, M., 2015. Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. *Crop Science*, 55(1), pp.386-393. **doi: 10.2135/cropsci2013.10.0706**
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T. and Pinheiro, C., 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7), pp.907-916. **doi: 10.1093/aob/mcf105**
- Du, T., Kang, S., Zhang, J. and Davies, W.J., 2015. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), pp.2253-2269. **doi: 10.1093/jxb/erv034**

- Farhadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Ilkaee, M.N. and Aghayari, F., 2022. Effects of limited irrigation and nitrogen rate on the herbage yield, water productivity, and nutritive value of sorghum silage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(5), pp.576-589.
- Fernandez, G.C., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (ed.). *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop to Temperature and Water Stress*, Taiwan, 13-18, pp.257-270.
- Fischer, R.A. and Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), pp.897-912. **doi: 10.1071/ar9780897**
- Fischer, R.A. and Wood, J.T., 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(6), pp.1001-1020. **doi: 10.1071/ar9791001**
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4), pp.523-531. **doi: 10.4141/p96-130**
- Gharibeshghi, A. and Mozafari, J., 2017. Study of genetic variation in sesame genotypes by using both drought stress indices and morphologic traits for screening in drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 1(1), pp.89-108. [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.01.01.08**
- Ghasemi, A., Khazaei, M. and Fanaei, H., 2019. Effect of drought stress on yield and some physiological characteristics of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in different planting dates. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2), pp.401-413. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2018.1332.1273**
- Jazayeri, M. and Rezaei, E., 2006. Evaluation of drought tolerance in oat cultivars in Isfahan climate. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 3, pp.393-404. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.24763594.1385.10.3.32.1**
- Karimi Azar, M., Majnoun Hosseini, N. and Bihamta, M., 2022. Yield response of bean genotypes to irrigation stress and nitrogen fertilizer levels. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), pp.129-139. [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2022.320744.1171**
- Khalilian, M.E., Habibi, D., Golzardi, F., Aghayari, F. and Khazaei, A., 2022. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. *Cereal Research Communications*, 50(4), pp.1095-1104. **doi: 10.1007/s42976-022-00244-7**
- Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K., 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27, pp.463-477. **doi: 10.2478/intag-2013-0017**
- Liu, Y., Wu, Q., Ge, G., Han, G. and Jia, Y., 2018. Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. *BMC Plant Biology*, 18,13. **doi: 10.1186/s12870-017-1226-9**
- Marshall, A.H., Lowe, M. and Collins, R.P., 2015. Variation in response to moisture stress of young plants of interspecific hybrids between white clover (*T. repens* L.) and Caucasian clover (*T. ambiguum* M. Bieb.). *Agriculture*, 5, pp.353-366. **doi: 10.3390/agriculture5020353**
- Mishra, S.S., Behera, P.K., Kumar, V., Lenka, S.K. and Panda, D., 2018. Physiological characterization and allelic

- diversity of selected drought tolerant traditional rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Koraput, India. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(6), pp.1035-1046. doi: 10.1007/s12298-018-0606-4
- Munns, R., James, R.A. and Läuchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), pp.1025-1043. doi: 10.1093/jxb/erj100
- Nazari, S., Aboutalebian, M.A. and Golzardi, F., 2017. Seed priming improves seedling emergence time, root characteristics and yield of canola in the conditions of late sowing. *Agronomy Research*, 15(2), pp.501-514.
- Nematollahi, D., Eisvand, H.R., Modaeris Sanavy, S.A.M., Akbari, N. and Ismaili, A., 2020. Effects of low irrigation on yield quantity and quality of clover species under high input management conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), pp.47-57. [In Persian]. doi: 10.22059/ijfcs.2019.251696.654444
- Nikou, S., Pouryousef Miandoab, M. and Hassanzadeh Gorttpe, A., 2014. Evaluation of annual clover ecotypes by using drought tolerance indices. *Journal of Crop Ecophysiology*, 31(3), pp.375-394. [In Persian].
- Panda, D., Mishra, S.S. and Behera, P.K., 2021. Drought tolerance in rice: Focus on recent mechanisms and approaches. *Rice Science*, 28(2), pp.119-132. doi: 10.1016/j.rsci.2021.01.002
- Pandey, V. and Shukla, A., 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science*, 22(4), pp.147-161. doi: 10.1016/j.rsci.2015.04.001
- Pourali, S., Aghayari, F., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Golzardi, F., 2023. Benefits from intercropped forage sorghum-red clover under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), pp.1769-1780. doi: 10.1007/s10343-023-00833-4
- Rosielle, A.A. and Hamblin, J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21(6), pp.943-946. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x
- Sabouri, A., Dadras, A.R., Azari, M., Saberi Kouchesfahani, A., Taslimi, M. and Jalalifar, R., 2022. Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive with multivariate methods. *Scientific Reports*, 12, 2163. doi: 10.1038/s41598-022-06123-9
- Sadeghinejad, A., Modares Sanavi, S., Tabatabaei, S. and Modares, S., 2015. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Water and Soil Science*, 24, pp.53-64. [In Persian].
- Shoushi Dezfuli, A. A., Khorramian, M. and Assareh, A., 2019. Effect of sowing and irrigation cutoff date on seed yield and irrigation water use efficiency of spring berseem clover in Khuzestan. *Plant Productions*, 41(4), pp.69-82. [In Persian]. doi: 10.22055/ppd.2018.23152.1510
- Singh, G., Kumar, P., Gupta, V., Tyagi, B. S., Singh, C., Sharma, A. K. and Singh, G. P., 2018. Multivariate approach to identify and characterize bread wheat (*Triticum aestivum*) germplasm for waterlogging tolerance in India. *Field Crops Research*, 221, pp.81-89. doi: 10.1016/j.fcr.2018.02.019
- Thiry, A.A., ChavezDulanto, P.N, Reynolds, M.P. and Davies, W.J., 2016. How can we improve crop genotypes to increase stress resilience and productivity in a future climate? A new crop screening method based on productivity and resistance to abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 67(19), pp.5593-5603. doi: 10.1093/jxb/erw330

- Zamanian, M., 2021. Introduction of clover types, cultivars and their place in forage production and agro-ecosystems. *Forage and Animal Feed*, 2(2), pp.85-90. [In Persian].
- Zamanian, M. and Shahverdi, M., 2017. Stability of forage yield of promising lines of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.). *Seed and Plant Journal*, 33(2), pp.177-194. [In Persian]. **doi: 10.22092/spij.2017.115549**
- Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M. I., Qing, M., Azmat, M., Cai, H. and Siddique, K.H.M., 2021. Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 243, 106483. **doi: 10.1016/j.agwat.2020.106483**

Evaluation of forage yield, water-use efficiency and drought tolerance of Persian clover genotypes

Mohammad Zamanian^{1*}, Farid Golzardi¹

¹ Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

*Corresponding Author: m.zamanian@areeo.ac.ir

Received: 12 November 2022

Accepted: 2 January 2023

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.369467.1289

Abstract

Introduction: Clover is considered as one of the most important forage crops of the leguminous family which is appropriate for temperate and humid areas. Insufficient water can severely affect the production of forage legumes leading to a reduction in yield based on the severity and duration of drought stress. Due to the relative sensitivity of clover to drought stress, the yield of this crop is affected by water scarcity, especially in arid and semi-arid regions. One of the effective solutions in the field of plant breeding for drought resistance is to identify stress-tolerant genotypes. This study aimed to compare the forage yield and water productivity of Persian clover genotypes under full irrigation and drought stress conditions, as well as evaluate their drought tolerance.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, during the 2017-18 and 2018-19 cropping seasons. Irrigation regimes at two levels (full irrigation and deficit irrigation with supply 100% and 75% of clover water requirement, respectively) as the main factor and Persian clover genotypes at five levels (cultivar Pars, and ecotypes Zabol, Aleshtar, Eghlid, Harati) as sub-factor were evaluated. Each subplot consisted of four rows with a length of five meters and 50 cm between rows. The planting operation was carried out manually on September 11 of each year with 20 kg ha⁻¹ seeding rate. The volume of irrigation water was determined by the Penman–Monteith method and the counter meter was used to accurately measure and control the amount of applied water. In the first and second cropping seasons, the total volume of irrigation water used were equal to 10125 and 11985 for full irrigation and 7594 and 8989 for deficit irrigation conditions, respectively. In this study, the fresh forage and dry matter yields, irrigation water efficiency for production of fresh forage and dry matter, the days to flowering, and drought tolerance indices were investigated. For all three cuts, clover cultivars were harvested at the 10% flowering stage. To determine the fresh forage yield, the middle four rows of each plot were harvested and weighed. To determine the dry matter yield, fresh samples (2 kg plot⁻¹) were randomly selected and dried in a forced-air oven at 65 °C. Irrigation water-use efficiency was calculated from the ratio of yield to the amount of water consumed. The combined analysis of variance was performed using SAS_{9.1} and the means were compared by the LSD method at $P < 0.05$.

Results and Discussion: The fresh forage and dry matter yields in the first, second and third cuttings, as well as their total and the irrigation water-use efficiency for forage and dry matter production were significantly affected by the year $\times$ irrigation $\times$ genotype interaction. Ecotype Harati had the highest total fresh forage and dry matter yields during three cuts (91.19 and 13.02 ton ha⁻¹, respectively) in full irrigation conditions, whereas, under deficit irrigation conditions, the maximum total fresh forage and dry matter yields (68.07 and 10.79 ton ha⁻¹, respectively) were obtained by ecotype Zabol. The maximum water-use efficiency (1.455 kg dry matter m⁻³) was obtained in the second year and by ecotype Zabol under deficit irrigation conditions, whereas the minimum efficiency (0.899 kg dry matter m⁻³) was recorded in the first year under full irrigation conditions and in the ecotype Zabol. Drought stress treatment in genotypes Pars, Aleshtar, Eghlid, Harati and Zabol compared to full irrigation caused a decrease in dry matter yield by 24.0, 21.7, 23.4, 23.8 and 11.9%, respectively. Among the drought tolerance indices, tolerance index (TOL), stress sensitivity index (SSI), yield

stability index (YSI) and relative stress index (RSI) had the highest correlation with yield under full and deficit irrigation conditions. Based on the mentioned indices and principal components analysis (PCA), the ecotype Zabul, followed by ecotype Eleshtar were identified as the most tolerant genotypes to the deficit irrigation stress.

Conclusion: Overall, the results of this experiment demonstrated that in the irrigation water availability conditions, the ecotype Harati and in the water limitation conditions, the ecotype Zabol are recommended for cultivation in the semi-arid regions of the country.

Keywords: Deficit irrigation, Dry matter, Ecotype, Fresh forage, Stress sensitivity

تأثیر شوری آب آبیاری و محلول پاشی کلات و نانو اکسید روی بر عملکرد و شاخص های رشدی ارقام جو

مهرداد محلوji^{۱*}، رئوف سید شریفی^۲، عباس نصیری دهسرخ^۳

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

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۳- دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: mmahlooji2000@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.296048.1105

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر شوری آب آبیاری و محلول پاشی کلات و نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی شاخص های رشد ارقام جو، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با آرایش بلوک های خرد شده با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات شوری رودشت اصفهان انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل کیفیت آب آبیاری در سه سطح (آبیاری با شوری حداکثر دو دسی زیمنس بر متر تا پایان فصل رشد به عنوان شاهد، آبیاری با شوری متوسط بر اساس عرف محل معادل ۱۰ دسی زیمنس بر متر و آبیاری با شوری زیاد و معادل ۱۸ دسی زیمنس بر متر)، محلول پاشی کود روی (نانو اکسید روی، کلات روی، مخلوط کلات روی و نانو اکسید روی و عدم محلول پاشی روی) و سه رقم مختلف جو (نیمه حساس به شوری موروکو، نیمه متحمل نصرت و متحمل خاتم) بودند. نتایج نشان داد با افزایش شوری آب آبیاری عملکرد دانه، وزن خشک (DM)، سرعت رشد محصول (CGR)، نسبت سطح برگ (LAR) و سطح ویژه برگ (SLA) کاهش یافتند. کلیه محلول پاشی های عنصر روی نسبت به تیمار شاهد (بدون روی) سبب افزایش DM، RGR، CGR و LAR شده و موجب افزایش عملکرد دانه گردید. رقم خاتم به دلیل داشتن DM، RGR، CGR، LAR، SLA و عملکرد دانه بیشتر نسبت به رقم موروکو برتر بود. از بین شاخص های مورد مطالعه، SLA با عملکرد دانه، همبستگی مثبت و معنی داری ($r^2=0.97$) را نشان داد. در مجموع، به منظور افزایش شاخص های رشدی گیاه و همچنین عملکرد دانه جو در شرایط شوری آب آبیاری، تغذیه برگی با کود روی و استفاده از رقم خاتم قابل توصیه می باشد. **واژه های کلیدی:** ریزمغذی، سرعت رشد محصول، سطح ویژه برگ، شاخص های فیزیولوژیک

مقدمه

خاک به واسطه غلظت زیاد یون های کلر و سدیم و بعضاً کلسیم کاهش یافته و منجر به اختلال در تغذیه و بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی گیاه می گردد؛ بنابراین نقش تغذیه صحیح در این شرایط بسیار حایز اهمیت بوده تا بتوان ضمن کمک به حفظ تعادل عناصر غذایی زمینه رشد مناسب و افزایش عملکرد گیاه را فراهم نمود (Ahmadi et al., 2006). در شرایطی که pH خاک بالا بوده و جذب مواد غذایی از طریق ریشه امکان پذیر نباشد استفاده از روش محلول پاشی و جذب برگی عناصر غذایی در تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه بسیار حایز اهمیت است. از طرف دیگر استفاده از این روش باعث می شود که سایر آلودگی های زیست محیطی و آلودگی های آب های زیرزمینی به حداقل رسیده و بدین ترتیب در راستای اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت (Soleymani et al.,

جو یکی از مهم ترین منبع تأمین کننده غذای دام، در برابر خشکی و شوری متحمل بوده و در اقلیم هایی که تابستان خشک و طولانی و از زمستان های سرد و مرطوب برخوردارند، عملکرد نسبتاً مطلوبی دارد. در شرایط نامناسب به دلیل مقاوم بودن به خشکی، برخورداری از علوفه مرغوب، ساده تر بودن کاشت، داشت و برداشت، خوش خوراکی، کنترل فرسایش و علف های هرز، توقع کمتر به مواد غذایی خاک، دارا بودن مواد قندی و نشاسته ای زیاد در مقایسه با سایر گیاهان زراعی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (Seyed Sharifi and Hokmalipour, 2010).

شوری منابع آب و خاک از مهم ترین مشکلات کشاورزی در ایران است. در شرایط شوری، فراهمی عناصر غذایی در محلول

شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر رشد و عملکرد ماده خشک گیاه ذرت علوفه‌ای انجام شد، مشخص گردید که بیشترین سرعت رشد محصول مربوط به تیمار محلول‌پاشی روی بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین سرعت رشد محصول نیز در تیمار شاهد (آب) دیده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (Soleymani *et al.*, 2011).

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی مانند نیتروژن و فسفر، بی‌کربناته بودن آب آبیاری، عدم کاربرد کودهای دارای عناصر کم‌مصرف، وجود خاک‌های آهکی با ماده آلی کم و کشت متناوب اراضی سبب تشدید کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک‌های زیر کشت غلات کشور گردیده است (Firoozi *et al.*, 2018). کمبود روی را در مواردی که ناشی از محدودیت‌های خاک زیرین، خشکی خاک‌های سطحی و بیماری‌ها باشد نمی‌توان به‌طور کامل و قطعی از طریق مصرف کودهای حاوی روی رفع نمود؛ بنابراین استفاده از ژنوتیپ‌های کارآمد برای جذب عنصر روی می‌تواند راه‌حلی مؤثر و پایدار برای تولید بیشتر محصولات زراعی در شرایط کمبود روی باشد (Sadeghzadeh, 2013). استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم و کارا در جذب و استفاده از روی می‌تواند تکمیل‌کننده کاربرد خاکی و محلول‌پاشی روی در نظر گرفته شود، مخصوصاً زمانی که کشاورزان از کمبود روی در خاک مزرعه خود آگاه نبوده و یا دسترسی به کود روی ندارند. استفاده از ارقام دارای کارایی بالای عنصر روی، می‌تواند با حداقل میزان روی در دسترس علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش کمی و کیفی محصول گردند (Sadeghzadeh and Rengel, 2011). با توجه به کاهش روزافزون منابع آب شیرین از یک‌سو و بالا رفتن مصارف آب شیرین از سوی دیگر، دسترسی به آب با کیفیت مناسب برای کشاورزی بسیار محدود شده است (Mahlooji *et al.*, 2018). بدیهی است که در چنین شرایطی استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب برای تولید محصولات کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف مطالعه تأثیر محلول‌پاشی کلات و نانو روی بر عملکرد و شاخص‌های رشدی سه رقم جو در شرایط شوری آب آبیاری انجام گردید.

2011). امروزه علاوه بر عناصر غذایی پرمصرف، استفاده از عناصر ریزمغذی به‌عنوان ابزاری مهم برای حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح مورد توجه است (Mosavi *et al.*, 2007).

روی یک ریزمغذی ضروری برای انسان، دام و گیاه است که به‌عنوان بخش فلزی آنزیم‌ها و کوفاکتور تنظیم‌کننده تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌کند. روی برای سنتز کلروفیل ضروری است و نقش مهمی در تولید زیست‌توده گیاهی بازی می‌کند. روی در گرده‌افشانی، باروری و جوانه‌زنی گیاهان نیز نقش مهمی به عهده دارد. کمبود روی به‌عنوان یک مشکل اساسی به‌خصوص در گیاهان رشد کرده در خاک‌های شور با مقادیر بالای pH شناخته می‌شود. ولی بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که کاربرد مقدار کمی از عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی به‌صورت محلول‌پاشی، می‌تواند توانایی تحمل گیاهان را نسبت به تنش شوری متأثر نماید (Narimani and Seyed Sharifi, 2020). ریزمغذی روی در شرایط شوری به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تجمع پرولین و قندهای محلول، افزایش محتوای کلروفیل نقش اساسی در بهبود رشدی گیاه دارد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). استفاده از نانو کودها منجر به افزایش کارایی مصرفی عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن اثرات منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (Peyvandi *et al.*, 2012).

نتایج پژوهشی نشان داد که با افزایش شوری خاک عملکرد، سرعت ظهور برگ و برخی شاخص‌های رشدی جو کاهش یافت و عکس این حالت در تغذیه برگ با نانو اکسید روی به‌دست آمد (Seyed Sharifi *et al.*, 2017). در پژوهش دیگری، محققان دریافتند افزودن روی در شرایط شوری کم تا متوسط می‌تواند از طریق بهبود وضعیت عناصر غذایی در گیاه و کاهش اثرات شوری موجب رشد بیشتر و تا حدودی افزایش عملکرد دانه گندم گردد (Ahmadi *et al.*, 2006). بیشترین عملکرد دانه گندم مربوط به کاربرد توأم سولفات روی و نانو اکسید روی در عدم اعمال شوری و کمترین آن به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار محلول خاک بود (Narimani and Seyed Sharifi, 2020). در پژوهشی که به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر

مواد و روش‌ها

بین ۳/۷ تا ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد در نوسان بود که به ترتیب به ماه‌های دی و خرداد تعلق داشت. بیشترین میزان بارندگی ماهیانه در دی‌ماه ۴۳/۵ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالیانه دراز مدت ۹۳/۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد. خصوصیات خاک و آب محل اجرای آزمایش در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

آزمایش در منطقه رودشت واقع در ۶۰ کیلومتری شرق اصفهان در محل ایستگاه تحقیقات شوری اجرا گردید. ایستگاه فوق در مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۵۲۷ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط دمای ماهانه طی دوره رشد

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Soil chemical characteristics at the experimental site (0-30 cm)

EC	pH	نیترژن کل T.N	کربن آلی O.C	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل جذب Available K	مس قابل جذب Available Cu	روی قابل جذب Available Zn	منگنز قابل جذب Available Mn	آهن قابل جذب Available Fe	کلسیم + منیزیم Available Ca + Mg	سدیم Available Na
(dS/m)		(%)				(mg/kg)				(meq/L)	
13	7.7	0.05	0.47	11.8	340	2.38	0.72	6.48	5.54	60	79.1

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب‌های مورد استفاده برای آبیاری

Table 2- Chemical characteristics of water used for irrigation

سطوح شوری Salinity levels (dS/m)	خصوصیات Characteristics						
EC	pH	سولفات SO ₄ ²⁻	بیکربنات HCO ₃ ⁻	کلرید Cl ⁻	سدیم Na ⁺	کلسیم + منیزیم Ca ²⁺ + Mg ²⁺	
(dS/m)					(meq/L)		
2	1.4	7.7	0.8	2.0	1.4	1.5	2.6
10	9.7	8.1	26.9	5.7	60	47.8	44
18	17.8	7.6	54.9	6.4	111	99.3	72

حداقل (آب آبیاری حداکثر تا دو دسی‌زیمنس بر متر تا پایان فصل رشد به‌عنوان شاهد و تأمین از آب رودخانه)، متوسط (آب آبیاری معادل ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و تأمین از تلفیق آب چاه ایستگاه آب و زهکش)، زیاد (معادل ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر و تأمین از آب زهکش) بود. عامل محلول پاشی کود روی به‌صورت افقی و شامل مصرف نانو اکسید روی (۱۰۰ گرم در هکتار Zn-Nano Zinc Oxide)، کلات روی (یک کیلوگرم در هکتار Zn-EDTA)، مخلوط کلات روی و نانو اکسید روی (EDTA+Nano ZnO)، و عدم محلول پاشی روی (مصرف آب) به‌عنوان شاهد بود. سه رقم جو (نیمه‌حساس موروکو، نیمه‌متحمل نصرت و متحمل به شوری خاتم) به‌صورت عمودی در داخل کرت‌های اصلی خرد شدند. کلات روی، تولید شرکت

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش بلوک‌های خرد شده با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات شوری رودشت اصفهان انجام شد. فاکتورها شامل کیفیت آب آبیاری در سه سطح: کم (شاهد با شوری دو دسی‌زیمنس بر متر)، متوسط (عرف محل و معادل ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) زیاد (۱۸ دسی‌زیمنس بر متر)، محلول پاشی کود روی (نانو اکسید روی، کلات روی، مخلوط و عدم محلول پاشی) و ارقام جو (نیمه‌حساس موروکو، نیمه‌متحمل نصرت و متحمل خاتم به شوری) بودند. کاشت توسط ردیف‌کار مخصوص کاشت غلات در کرت‌هایی شامل شش ردیف چهار متری با فواصل بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و با تراکم ۴۰۰ یذر در مترمربع در آبان‌ماه انجام شد. عامل اصلی (عمودی) نوار شامل کیفیت آب آبیاری در سه سطح:

در رابطه ۳:

- H: شاخص حرارتی (میزان درجه روز رشد تجمعی پس از کاشت) و همان GDD درجه روز رشد (در طی دوره رشد حدوداً در هر روز، گیاه ۱۰ واحد گرمایی بطور متوسط دریافت می‌کند به همین دلیل از معیار ۱۰ واحد گرمایی در رسم نمودار استفاده شده است)

- n: تعداد روزهای رشد

- T_{max} : حداکثر روزانه درجه حرارت هوا با حد بالایی ۳۰

درجه سانتی‌گراد

- T_{min} : حداقل روزانه درجه حرارت هوا با حد پایینی صفر

درجه سانتی‌گراد

- T_b : دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد

(Karimi and Siddique, 1991; Karimi, 1990).

در محاسبه درجه روز رشد دماهای بالاتر از تحمل فیزیولوژیکی گیاه و دماهای پایین‌تر از درجه حرارت پایه گیاه، مورد استفاده قرار نگرفت (Thomason et al., 2004). عملکرد دانه از برداشت خط پنجم کشت و پس از حذف حاشیه در مرحله رسیدگی دانه بدست آمد. کلیه محاسبات آماری مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بوسیله آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام گردید. معادلات برآورد ماده خشک تولیدی با استفاده از روش رگرسیون بین وزن خشک و H (درجه‌روزرشد) اندازه‌گیری شد. سرعت رشد نسبی محصول نیز با استفاده از فرمول (مشتق معادله TDW) محاسبه و سرعت رشد محصول نیز از حاصل ضرب مقدار ماده خشک در سرعت رشد نسبی ($CGR = TDM \times RGR$) محاسبه گردید، ترسیم شاخص‌های رشد به‌وسیله نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

کل ماده خشک (TDM)

شکل ۱a نشان می‌دهد که تجمع ماده خشک تا حدود ۷۰۰ درجه روز رشد پس از کاشت بطئی بوده و سپس بسته به کیفیت آب آبیاری در شوری حداقل، متوسط و حداکثر به‌ترتیب تا حدود ۱۴۷۰، ۱۳۸۰ و ۱۳۰۰ درجه روز، رشد سریعی داشته و پس از آن رشد مجدداً کند شد. شکل ۱b نشان می‌دهد که

تریدکوپ اسپانیا و دارای ۱۴ درصد عنصر روی بود. نانوآکسید روی، تولید شرکت نوترینو چین با خلوص ۹۹ درصد و متوسط قطر ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر و سطح ویژه مخصوص بیش از ۳۰ مترمربع بر گرم استفاده شد. بر اساس توصیه آزمایشگاهی، کود سرک نیتروژنه به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت مصرف و مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ با علف‌کش توفوردی انجام شد. آبیاری به‌صورت کرتی پس از تلفیق آب چاه و زهکش و رسیدن به هدایت الکتریکی مورد نظر انجام شد.

جهت بررسی روند تغییر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، از مرحله ساقه رفتن (۹۱ روز پس از کاشت) هر هفت روز یک‌بار از خطوط اصلی هر کرت، با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطحی معادل ۰/۰۴ متر مربع برداشت صورت گرفت. برای تعیین وزن خشک نمونه‌ها، ساقه و برگ به تفکیک در آون با دمای 5 ± 70 درجه سانتی‌گراد، به‌مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان ثابت شدن وزن آن‌ها) قرار گرفته و سپس توزین شدند. از این داده‌ها برای محاسبه بیوماس کل، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی استفاده گردیدند. در انجام محاسبات مربوطه بر اساس تجزیه رگرسیونی مشخص شد که تغییرات وزن خشک گیاه از چه معادله‌ای تبعیت می‌کند و به‌منظور کاهش هرچه بیشتر وابستگی واریانس‌ها به میانگین‌ها، با تبدیل آن به لگاریتم نپرین، روابط ۱ و ۲ مورد استفاده قرار گرفت (Mahlooji and Afiuni, 2005; Karimi and Siddique, 1991).

$$TDM^1 = e^{at^{1/2} + bt + ct^2} \quad (1)$$

$$LAI^2 = at^{1/2} + bt + ct^2 \quad (2)$$

در روابط فوق a، b، c ضرایب رگرسیونی، t درجه روز رشد، TDM ماده خشک کل و LAI شاخص سطح برگ می‌باشد. درجه حرارت روز رشد در هر مرحله نمونه‌برداری با توجه به آمارهای هواشناسی کشاورزی ایستگاه آمبروترمیک رودشت اصفهان، دماهای پایه و حداکثر و حداقل گیاه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید.

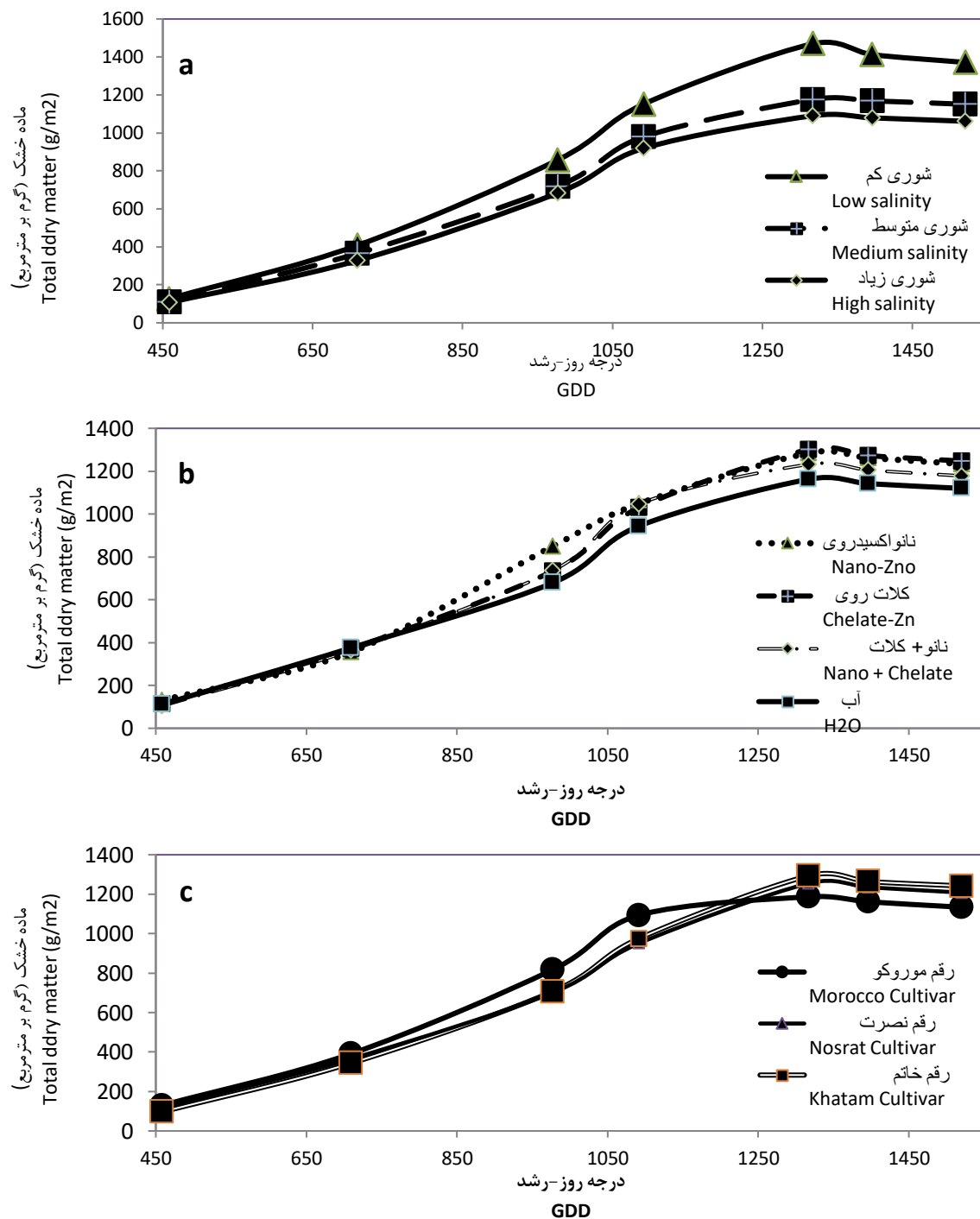
$$H = GDD = \sum n [(T_{max} + T_{min}) / 2] - T_b \quad (3)$$

² LAI: Leaf Area Index

1 TDM: Total Dry Matter

شوری)، نصرت (نیمه‌متحمل به شوری) و رقم خاتم متحمل به شوری به ترتیب حداکثر تا حدود ۱۴۶۷، ۱۴۷۲ و ۱۴۸۷ درجه روز رشد پس از کاشت، رشد سریعی داشته و پس از آن رشد مجدداً کند شد. حداکثر عملکرد ماده خشک در حداقل شوری آب آبیاری، محلول پاشی نانو روی و رقم خاتم بدست آمد.

تجمع ماده خشک در نانو روی، کلات روی، مخلوط نانو و کلات روی و نهایتاً تیمار شاهد به ترتیب حداکثر تا حدود ۱۵۰۷، ۱۴۳۸، ۱۳۸۴ و ۱۳۰۶ درجه روز رشد پس از کاشت، رشد سریع داشت و سپس از میزان رشد کاسته شد. شکل ۱c نشان می‌دهد که تجمع ماده خشک در ارقام موروکو (نیمه‌حساس به



شکل ۱- تغییرات تجمع کل ماده خشک (TDM) در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری (a)، کود روی (b) و ژنوتیپ‌های جو (c)

Figure 1- Changes of accumulation of total dry matter (TDM) per quality of water irrigation (a), zinc fertilizer (b) and barley genotypes (c).

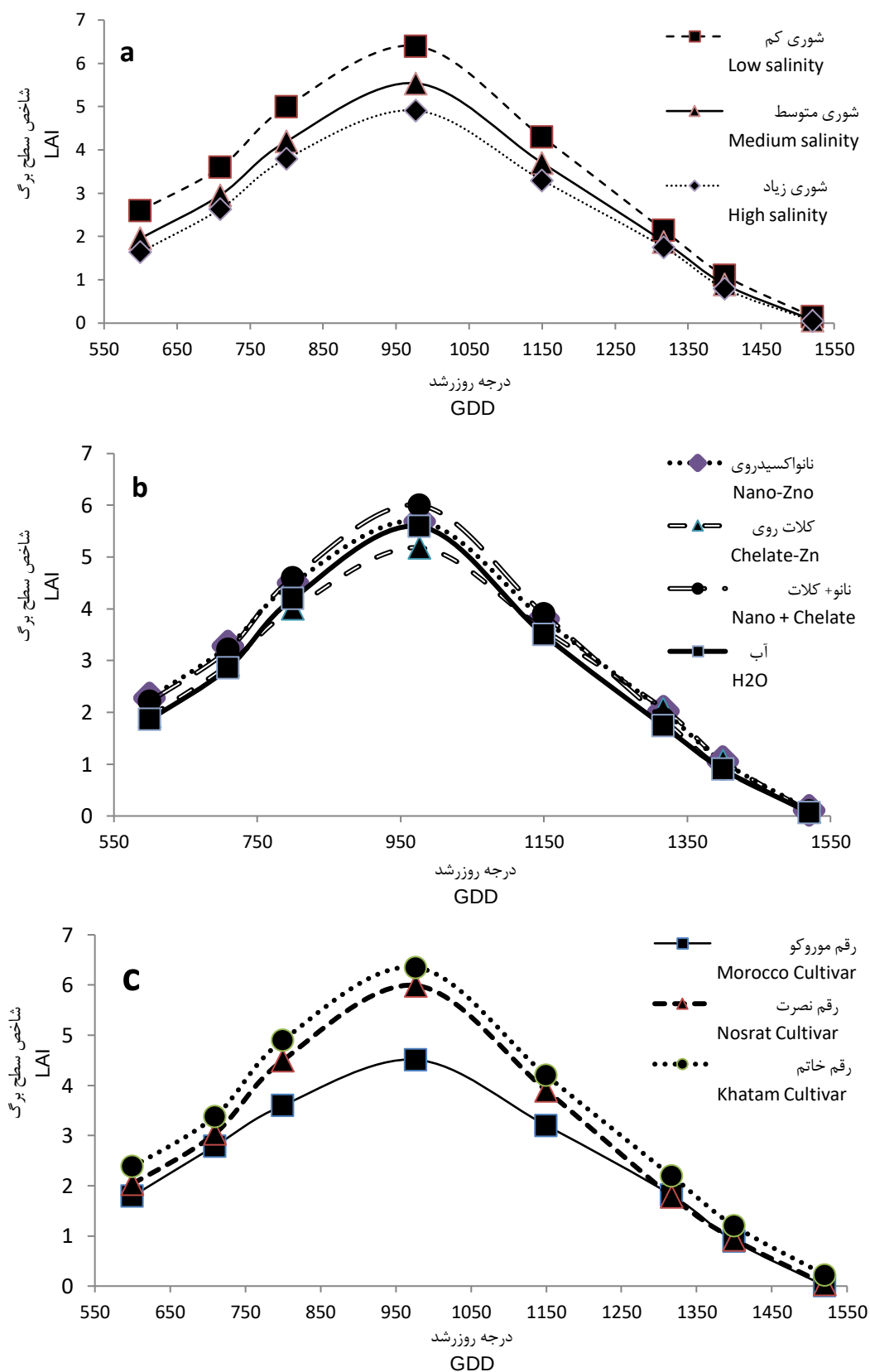
است که آن برگ‌ها اشغال می‌کنند (Piri *et al.*, 2018). در تیمارهای مختلف تا حدود ۱۰۰۰ درجه روز رشد، سطح برگ سریع زیاد می‌گردد و پس از آن سطح برگ مجدداً کاهش داشته است. حداکثر سطح برگ در حداقل شوری آب آبیاری، محلول‌پاشی نانو روی و مخلوط کودی روی و رقم خاتم می‌باشد (شکل‌های ۲a، ۲b و ۲c). حداقل سطح برگ در حداکثر شوری آب آبیاری، تیمار کودی بدون عنصر روی (شاهد) و رقم نیمه‌حساس به شوری موروکو بود که منطبق با نتایج TDM می‌باشد. علت کاهش سطح برگ در انتهای فصل رشد، افزایش درجه حرارت هوا (بیش از ۳۰ درجه‌سانتی‌گراد)، پیری و زوال برگ، ترشح هورمون، ریزش برگ‌ها و در نهایت کم شدن وزن خشک اندام‌های هوایی است. در پژوهشی که با هدف ارزیابی سطوح شوری آب آبیاری بر سه رقم جو انجام شد، بررسی شاخص سطح برگ نشان داد که در هر سه رقم روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به زمان از یک معادله درجه دو تبعیت می‌کند بدین‌صورت که ابتدا پس از یک سیر صعودی و رسیدن به حداکثر، مجدداً سیر نزولی می‌یابد (Seyed Sharifi and Nazarli, 2016).

هر گونه شرایط نامساعد محیطی مانند عدم تأمین آب مطلوب مورد نیاز برای گیاه باعث کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور می‌شود که بدنبال این موضوع کاهش فتوسنتز و سرعت رشد محصول سبب خارج شدن جامعه گیاهی از تراکم مطلوب شده و در نهایت سبب کاهش عملکرد می‌گردد (Shariatmadari *et al.*, 2011). نتایج پژوهشی نشان داد بین سطوح مختلف آب آبیاری تفاوت‌هایی وجود داشت به‌طوری‌که بیشترین شاخص سطح برگ جو به آبیاری با آب معمولی و کمترین آن به بالاترین سطح از شوری آب آبیاری تعلق داشت (SeyedSharifi and Nazarli, 2016). در پژوهشی که روی ذرت شیرین انجام شد، محققان دریافتند با محلول‌پاشی کود روی و افزایش میزان کلروفیل فتوسنتز گیاه افزایش یافت و علاوه بر آن با تولید هورمون اکسین و به‌دنبال آن طولی شدن سلول‌ها سطح برگ افزایش یافت (Mohammadi Limaiei *et al.*, 2019).

حداقل عملکرد ماده خشک در حداکثر شوری آب آبیاری، تیمار کودی بدون عنصر روی شاهد و رقم نیمه‌حساس به شوری موروکو بود. علت این کاهش ماده خشک، ریزش برگ‌ها در پایان فصل رشد بوده که باعث کم شدن وزن خشک اندام‌های هوایی گردید. شدت ریزش برگ‌ها و در نتیجه کاهش وزن خشک لندام‌های هوایی در تیمارهای مختلف، متفاوت بود. در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت شیرین انجام شد، محققان دریافتند در کلیه تیمارها سرعت تجمع ماده خشک در ۵۵ روز پس از کشت پایین بود ولی با گذشت زمان و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها بر اثر گسترش پوشش گیاهی و افزایش سطح برگ، میزان فتوسنتز پوشش گیاهی افزایش یافت و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری گرفت (Mohammadi Limaiei *et al.*, 2019). نتایج پژوهش دیگری نشان داد در حالت عدم اعمال شوری و تغذیه برگی با نانو اکسید روی، میزان تجمع ماده خشک جو نسبت به حالت اعمال شوری و عدم تغذیه برگی روند افزایشی نشان داد (Seyed Sharifi *et al.*, 2017). اعمال تنش شوری به‌دلیل کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه، عامل اصلی کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد و به‌تدریج با افزایش تجمع املاح در اندام‌های گیاهی خسارت ناشی از سمیت یون‌ها نیز افزایش یافته و در نهایت موجب کاهش رشد می‌گردد (Kafi *et al.*, 2011). تجمع ماده خشک در حقیقت تبدیل نور به زیست‌توده طی فرآیند فتوسنتز می‌باشد که خود در ارتباط با سطح فتوسنتزکننده و به‌تبع آن جذب نور فعال فتوسنتزی است. از سوی دیگر، کاهش محتوی کلروفیل‌ها و کارتنوئید برگ‌ها تحت تنش شوری، کلروز برگ و ریزش و در نهایت کاهش سطح فتوسنتزکننده از اثرات معمول شوری عنوان شده است (Parida and Dass, 2005). به‌نظر می‌رسد سرعت افزایش و تجمع ماده خشک بالاتر در آبیاری با آب معمولی به‌دلیل بالا بودن سطح فتوسنتزکننده و به‌تبع آن جذب نور فعال فتوسنتزی بوده است (Ghanbari *et al.*, 2015).

شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به زمینی



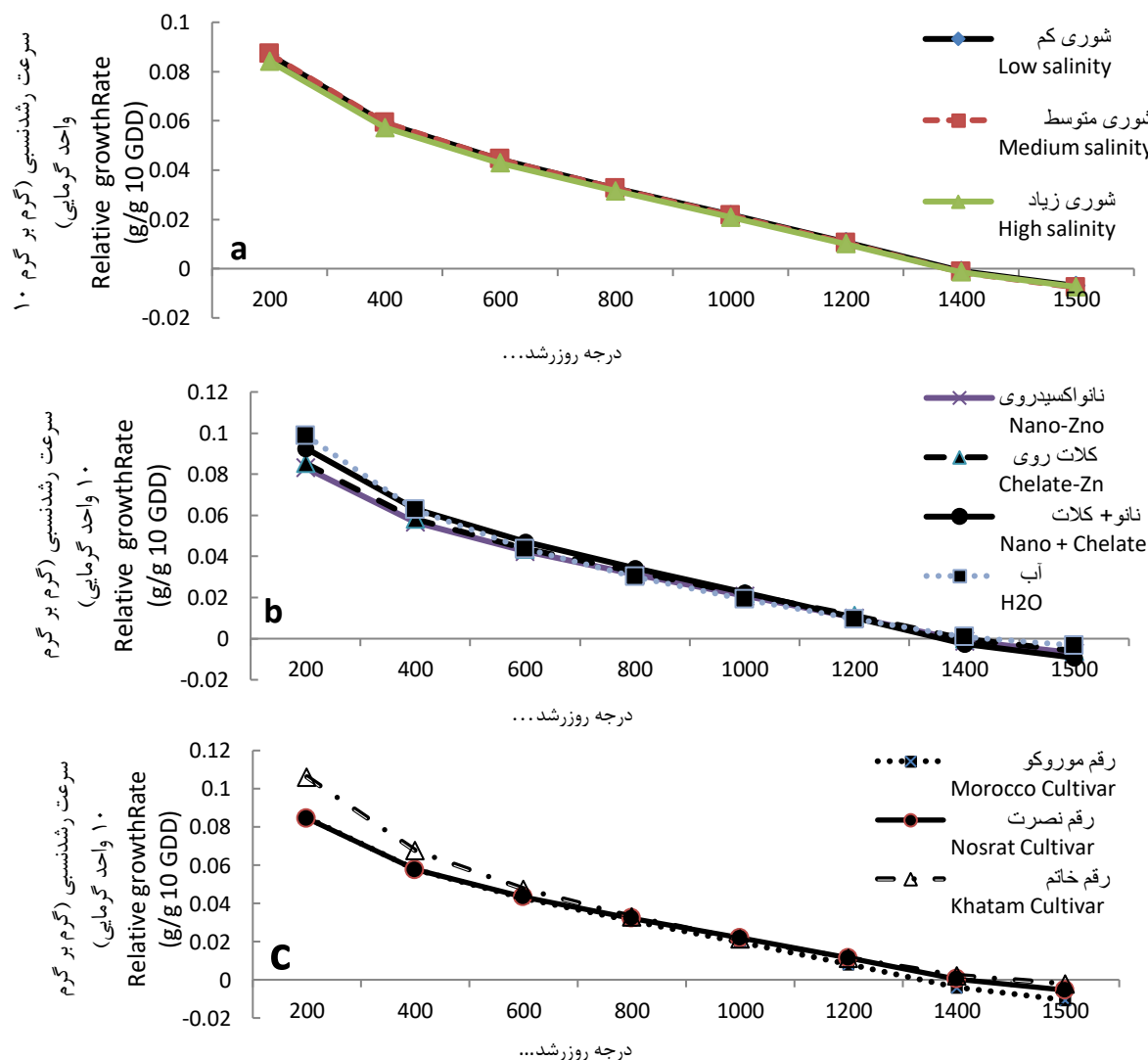
شکل ۲ - تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری (a)، کودهای روی (b) و ژنوتیپ‌های جو (c)

Figure 2- Changes leaf area index (LAI) per quality of water irrigation (a), zinc fertilizer (b) and barley genotypes (c)

سرعت رشد نسبی (RGR)

سرعت رشد نسبی به تجمع ماده خشک در واحد زمان و واحد وزن خشک گیاه گویند. در این مطالعه، میزان رشد نسبی به صورت گرم بر گرم بر ۱۰ درجه روز رشد اطلاق شده است (Karimi and Azizi, 1998). شکل ۳a نشان می‌دهد که RGR در تیمارهای مختلف، حداکثر در ابتدای فصل رشد است. متوسط RGR در طول دوره رشد، در کیفیت‌های مختلف آب ۰/۰۳۶۶۹ و ۰/۰۳۶۷۷ گرم بر گرم در ۱۰ واحد گرمایی بوده، ولی در مرحله سنبله‌دهی حدود ۰/۰۲۱ گرم بر گرم در ۱۰ واحد گرمایی بود. میزان رشد نسبی نسبت به زمان کاهش یافته و در پایان فصل رشد منفی است. علت کاهش RGR نسبت به

زمان به سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر برگ‌های پائینی با گذشت زمان نسبت داده شده است. در پژوهشی که روی جو انجام شد، بررسی روند تغییر سرعت رشد نسبی در سطوح مختلف شوری و تغذیه برگ با نانو اکسید روی نشان داد که RGR با افزایش سن گیاه به‌طور مداوم کاهش یافته و در انتهای فصل به کمترین میزان خود می‌رسد. به نظر می‌رسد که گذشت زمان کاهش RGR به دلیل افزوده شدن بافت‌های ساختاری گیاه باشد که جزء بافت‌های فعال متابولیکی نبوده چنین بافت‌هایی سهمی در میزان رشد ندارند. علاوه بر این، در سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ‌های تحتانی گیاه نیز دلیل دیگری بر کاهش سرعت رشد نسبی با گذشت زمان است (Seyed Sharifi et al., 2017).



شکل ۳- تغییرات سرعت رشد نسبی در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری (a)، کود روی (b) و ژنوتیپ های جو (c)

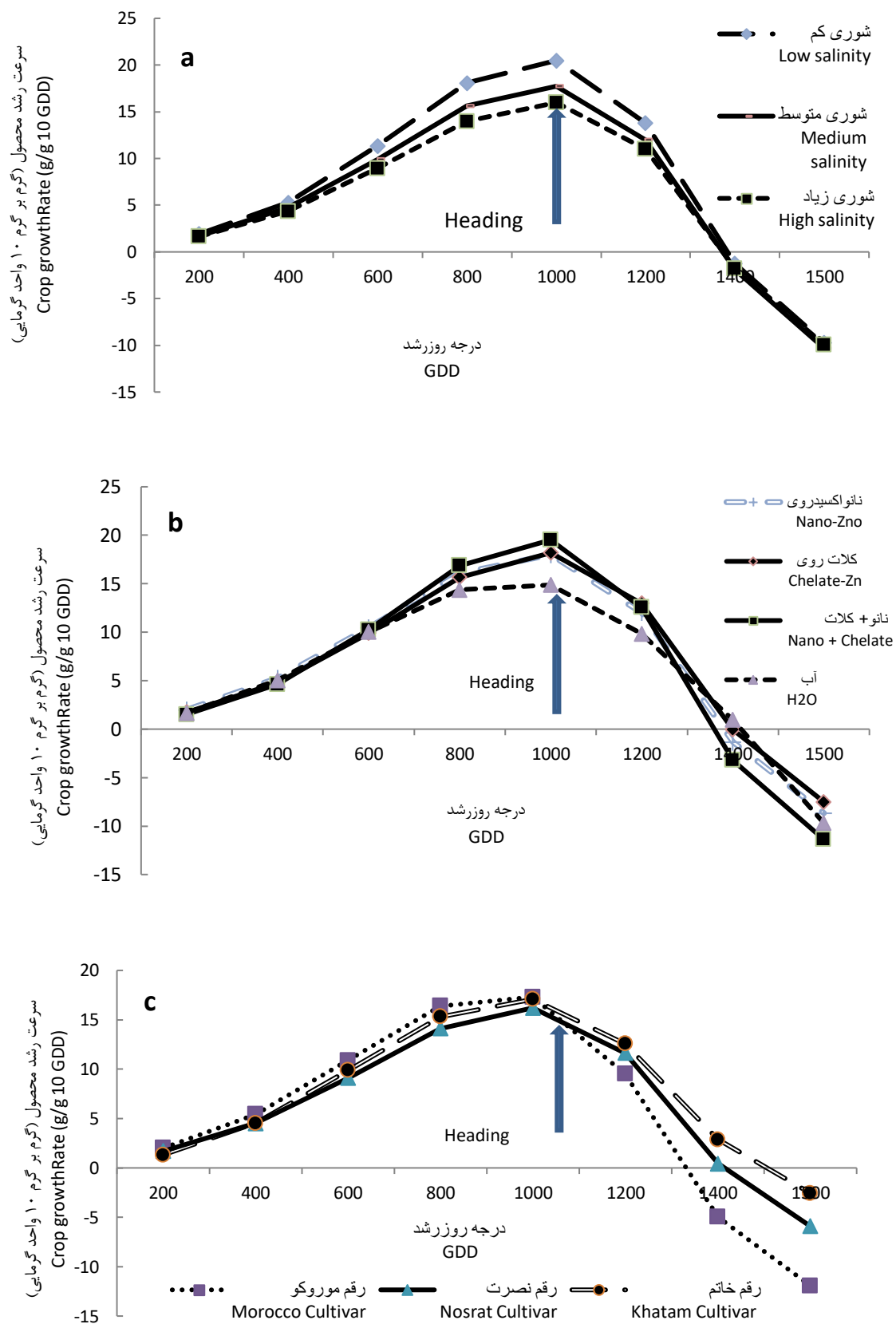
Figure 3- Changes of relative growth rate per quality of water irrigation (a), zinc fertilizer (b) and barley genotypes

کمتر بود. طی شروع و افزایش تنش شوری، فرآیندهای اصلی گیاه مانند فتوسنتز، سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم چربی و انرژی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و مجموع این عوامل باعث کاهش رشد و تولید ماده خشک می‌گردد (Ghanbari et al., 2015).

سرعت رشد محصول (CGR)

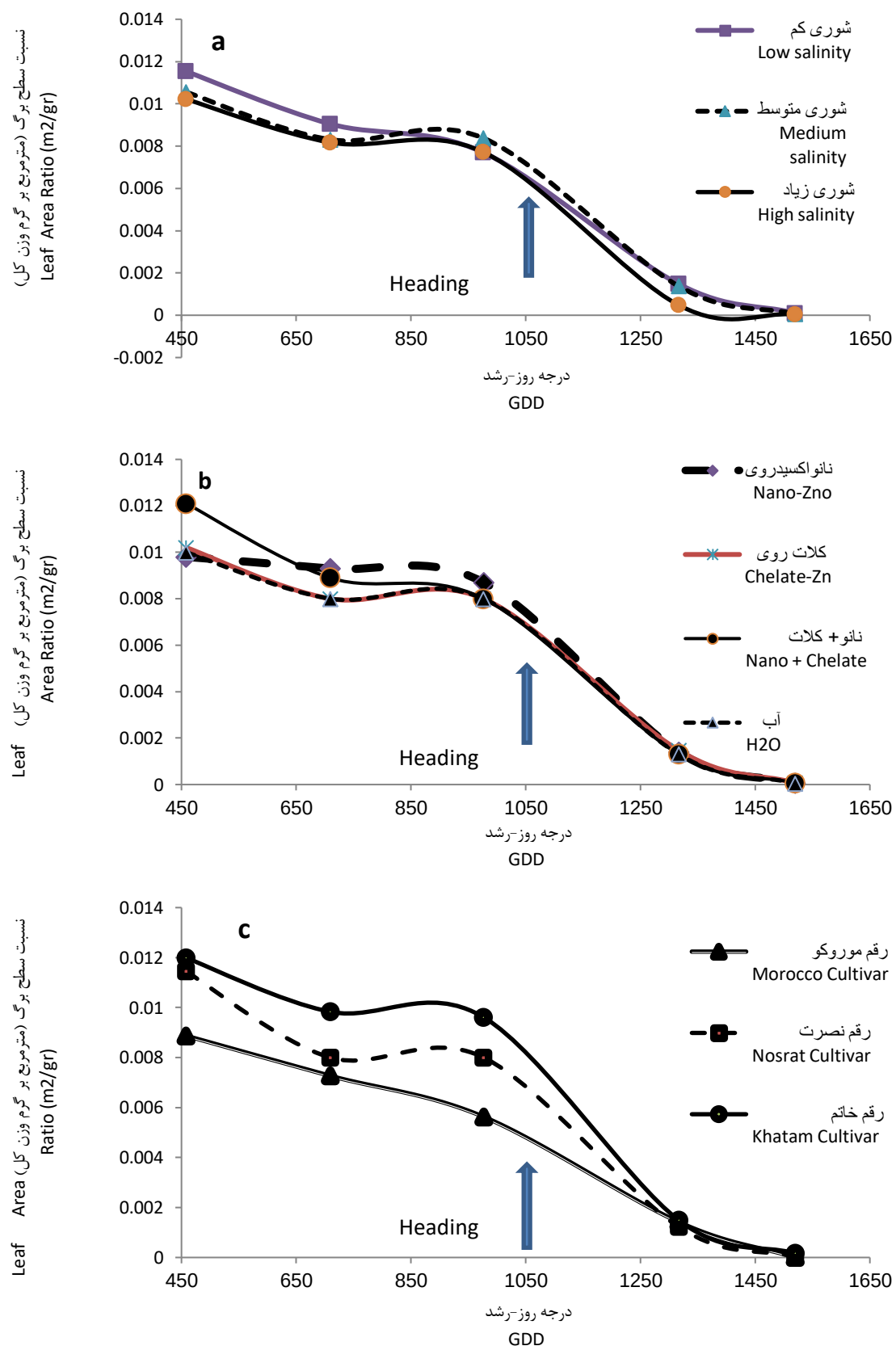
سرعت رشد محصول میزان تجمع ماده خشک در طی زمان در واحد سطح زمین را نشان می‌دهد (Ghanbari et al., 2015). در این مطالعه سرعت رشد محصول برحسب میزان تجمع ماده خشک (گرم) در واحد سطح مزرعه (مترمربع) و در ۱۰ درجه روز رشد محاسبه گردید. شکل‌های ۴ روند تغییرات CGR را در طول فصل رشد نشان می‌دهند. در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری ۲، ۱۰ و ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر، میزان سرعت رشد محصول در مرحله سنبله‌دهی، به‌ترتیب ۱۹/۶، ۱۷/۹ و ۱۷/۱ گرم بر متر مربع در ۱۰ درجه روز رشد بود. متوسط سرعت رشد محصول در طول دوره رشد، در کیفیت‌های فوق به‌ترتیب ۹/۹۲، ۹/۶۳ و ۹/۶ گرم بر متر مربع در ۱۰ درجه روز رشد بود. تنش شوری سبب کاهش CGR در مرحله سنبله‌دهی و متوسط کل دوره رشد گردید (شکل ۴a). به‌نظر می‌رسد افزایش شوری و تجمع یون‌ها به‌ویژه سدیم می‌تواند منجر به کاهش میزان محتوای نسبی آب سلول شده، سطح برگ و فتوسنتز کاهش یافته و سرعت رشد محصول با افت مواجه شود. در همین راستا، نتایج پژوهشی نشان داد مقدار CGR زیره سبز از ۷/۶۵ گرم در مترمربع در روز در تیمار آبیاری با آب غیر شور به ۵/۸۹ گرم در مترمربع در روز در تیمار آبیاری با آب شور رسید (Kafi and Keshmiri, 2016). زمانی که سرعت رشد محصول به مرز صفر می‌رسد بدین معناست که وزن خشک کل گیاه ثابت شد و با منفی شدن سرعت رشد محصول وزن خشک گیاه به‌علت ریزش خفیف برگ‌ها کاهش یافته است و با افزایش غلظت نمک آثار سوء شوری سبب می‌شود گیاه جهت فرار از اثرات سوء شوری، دوره رشد خود را با دریافت درجه روز رشد کمتری به اتمام برساند و این کاهش طول دوره رشد باعث کاهش ماده خشک تولیدی گیاه و در نهایت عملکرد کمتر آن می‌شود (Rahimi, 2012).

متوسط RGR در تیمار بدون مصرف کود روی ۰/۳۵۹ و در سه تیمار حاوی کود روی ۰/۳۷ گرم بر گرم در ۱۰ واحد گرمایی بود. متوسط سرعت نسبی رشد در طول دوره رشد در ارقام موروکو نیمه‌حساس به شوری، نصرت نیمه‌متحمل به شوری و خاتم متحمل به شوری به‌ترتیب ۰/۳۵۴۶، ۰/۳۶۶۶ و ۰/۳۸۴۱ گرم بر گرم در ۱۰ واحد گرمایی بود. میزان رشد نسبی در سنبله‌دهی رقم موروکو نیمه‌حساس به شوری، نیمه‌متحمل به شوری و خاتم متحمل به شوری به‌ترتیب ۰/۱۹، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ گرم بر گرم در ۱۰ واحد گرمایی بود. رقم نیمه‌متحمل و متحمل به شوری نسبت به رقم نیمه‌حساس به شوری، RGR کمتری در ابتدای فصل رشد داشت ولی با گذشت زمان، رقم متحمل‌تر، سرعت رشد نسبی بیشتری بود (شکل ۳b). در پایان فصل رشد RGR رقم موروکو با دریافت حدود ۱۳۵۰ واحد گرمایی و زودتر از سایر ارقام صفر گردید و این روند در دو رقم متحمل‌تر به شوری حدود ۱۴۵۰ واحد گرمایی بدست آمد (شکل ۳c)، ولی با روند تغییرات RGR سایر ارقام تشابه نزدیکی داشت. در کل طول دوره رشدی، نتایج نشان داد که با مصرف کود روی، کیفیت مناسب‌تر آب آبیاری و رقم متحمل‌تر به شوری، می‌توان سرعت نسبی رشد را افزایش داد. در همین راستا، محققین دریافتند در تیمارهایی که از کودهای عناصر کم‌مصرف استفاده شد، کاهش سرعت رشد نسبی با ثبات بیشتری نسبت به شاهد صورت گرفت که به‌دلیل فعال بودن بیشتر اندام‌های هوایی بخصوص برگ‌های پائینی می‌باشد و در مرحله خمیری در تیمارهایی که از سولفات روی استفاده شده است دارای سرعت رشد نسبی بیشتری نسبت به بقیه تیمارها می‌باشد (Sajedi and Ardakani, 2008). بیشترین سرعت رشد نسبی به‌میزان ۰/۲۰۹ گرم بر مترمربع در روز به تیمار مصرف سولفات روی مربوط بود. کمترین مقدار آن برابر ۰/۱۵۵ گرم بر مترمربع در روز به تیمار شاهد مربوط بود (Farahvash et al., 2015). در پژوهش دیگری، بیشترین سرعت رشد نسبی جو به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری × تغذیه برگی با ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کمترین آن به شوری ۷۵ میلی‌مولار × عدم تغذیه برگی تعلق داشت (Seyed Sharifi et al., 2017). محققین اظهار داشتند سرعت رشد نسبی زیره سبز در تیمار آبیاری با آب شور



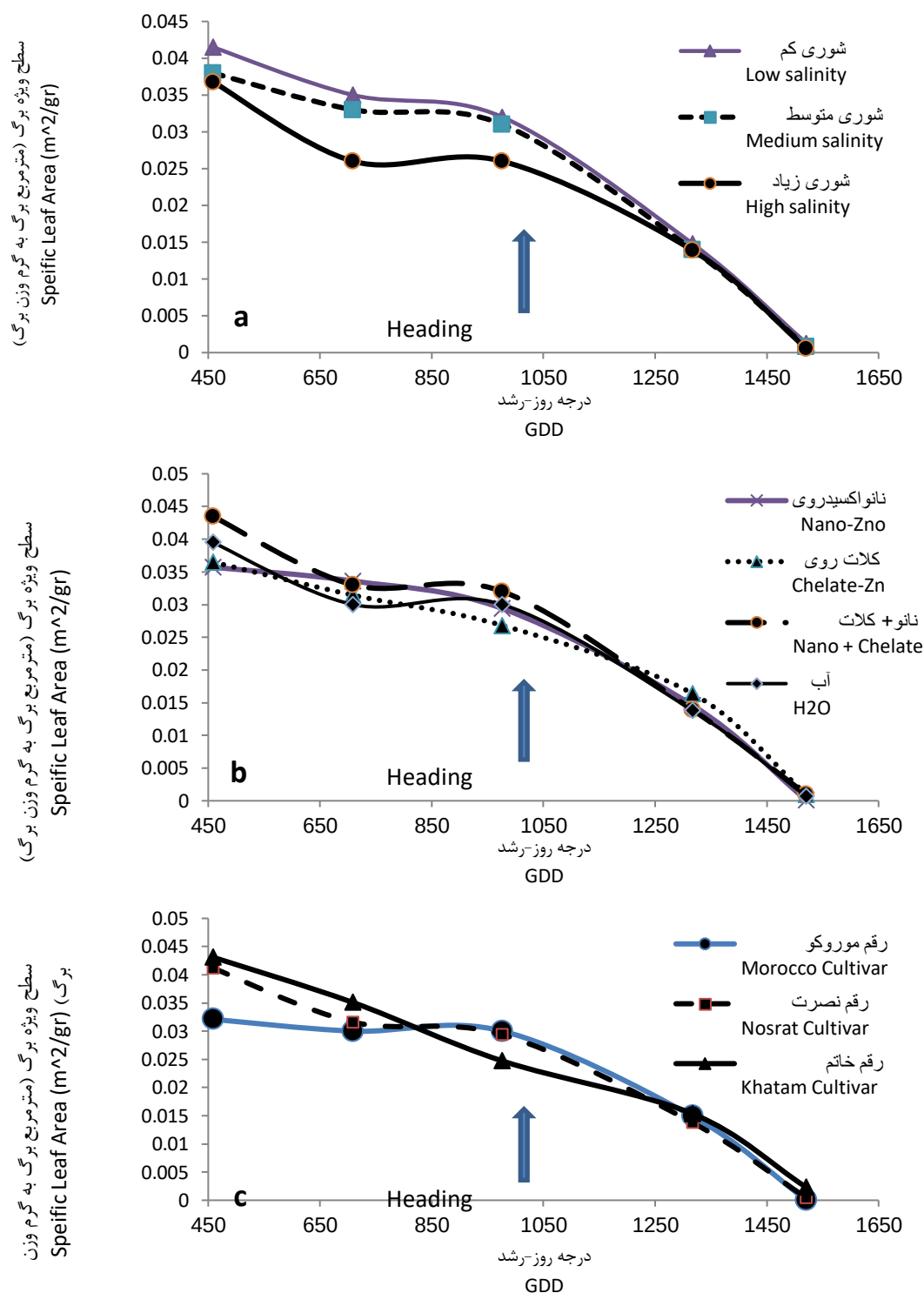
شکل ۴- تغییرات سرعت رشد محصول در کیفیت های مختلف آب آبیاری (a)، کود روی (b) و ژنوتیپ های جو (c)

Figure 4- Changes of crop growth rate per quality of water irrigation (a), zinc fertilizer (b) and barley genotypes



شکل ۵- تغییرات نسبت سطح برگ در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری (a)، کود روی (b) و ژنوتیپ‌های جو (c)

Figure 5- Changes of leaf area ratio per quality of water irrigation (a), zinc fertilizer (b) and barley genotypes (c)



شکل ۶- تغییرات سطح ویژه برگ در کیفیت های مختلف آب آبیاری (a)، کود روی (b) و ژنوتیپ های جو (c)

Figure 6- Changes of specific leaf area per quality of water irrigation (a), zinc fertilizer (b) and barley genotypes

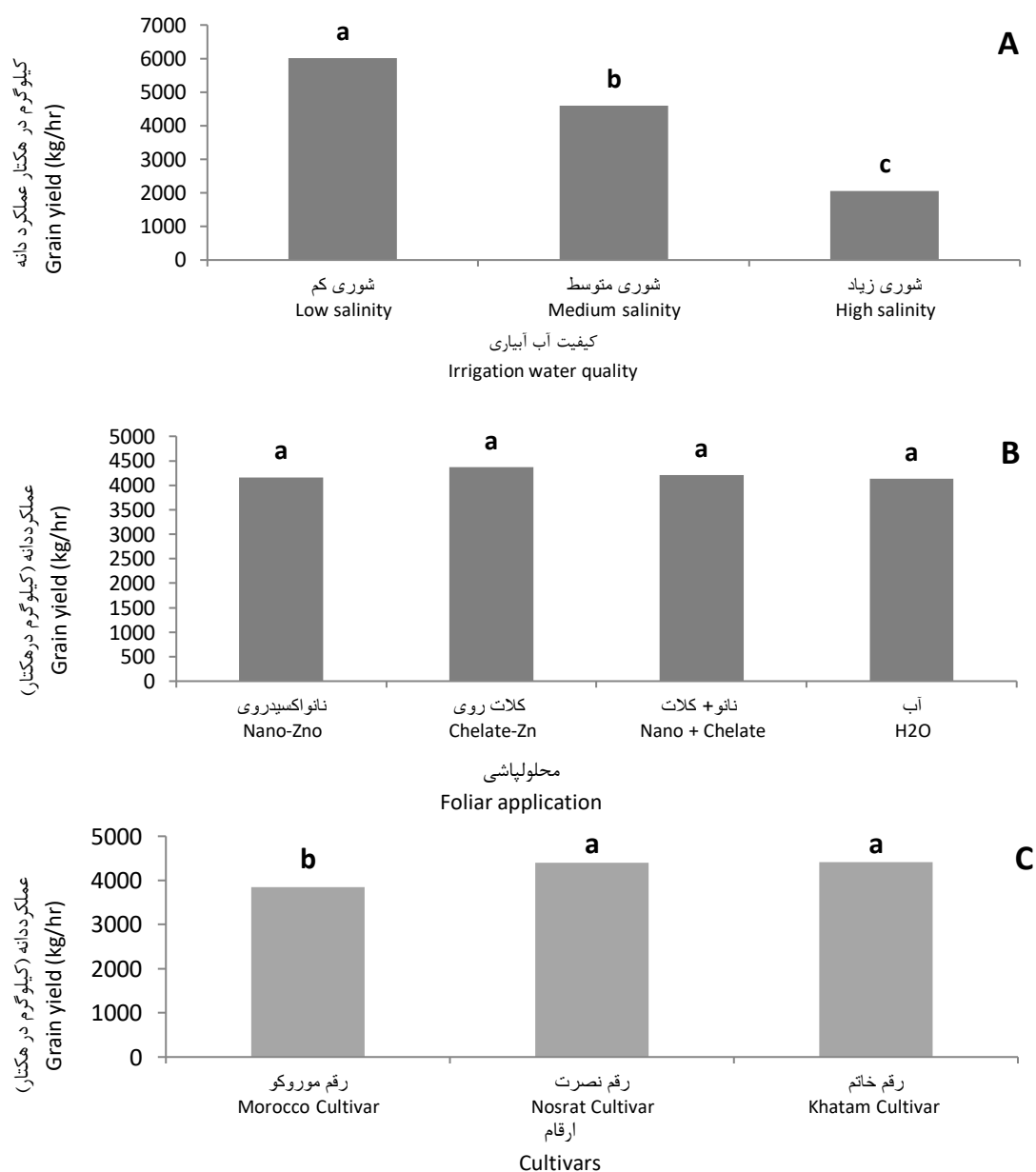
عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه جو در تغذیه برگ ۰/۷۵ گرم در لیتر × عدم اعمال شوری و کمترین آن در حالت عدم تغذیه برگ در بالاترین سطح از شوری برآورد گردید (Seyed Sharifi et al., 2017). عملکرد دانه از ۳۸۴۳ تا ۴۴۰۷ کیلوگرم در هکتار در

عملکرد دانه در کیفیت حداکثر شوری آب آبیاری (۱۸ دسی‌زیمنس بر متر) و حداقل شوری (دو دسی‌زیمنس بر متر) از ۲۰۵۴ تا ۶۰۰۶ کیلوگرم در هکتار متفاوت بود (شکل ۷a).

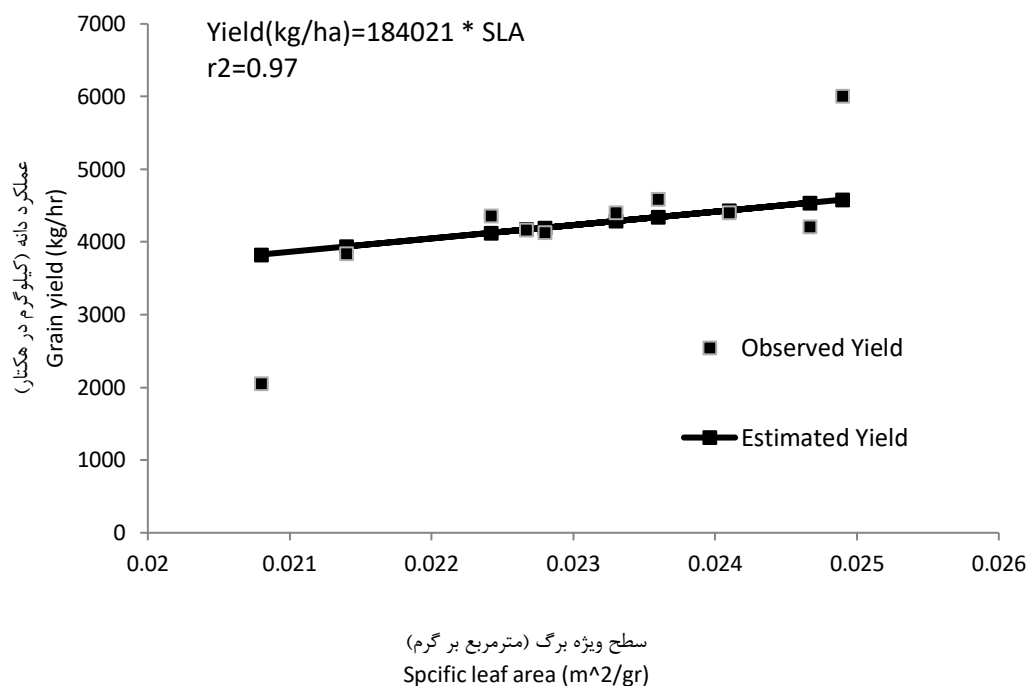
پتانسیل بیشتری در استفاده از تشعشع خورشیدی را دارند و بخش بیشتری از نور دریافتی را برای تأمین اسیمیلات‌های لازم برای پرکردن دانه استفاده می‌کنند. از بین شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص سطح ویژه برگ با عملکرد دانه، همبستگی مثبت معنی‌دار بالایی ($r^2=0.97$) را نشان داد (شکل ۸). با توجه به نتایج بدست آمده و همبستگی بالای بین شاخص سطح ویژه برگ و عملکرد دانه احتمالاً از این شاخص بتوان در مطالعات تنش شوری استفاده نمود و آن را توصیه نمود.

رقم نیمه‌حساس به شوری موروکو و رقم خاتم متحمل به شوری متفاوت بود (شکل ۷c). در پژوهشی محققان (Narimani and Seyed Sharifi, 2020) گزارش نمودند عنصر روی می‌تواند، از طریق کنترل کلنل‌های عبور یون کلر و جلوگیری از جذب آن، موجب افزایش جذب یون نترات شده و با کمترین آسیب به غشای پلاسمایی، موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش شوری و افزایش عملکرد شود. به نظر می‌رسد ارقامی که در اثر تنش‌های محیطی، سرعت زوال برگ در آن‌ها کمتر است



شکل ۷- مقایسه میانگین عملکرد دانه در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری (A)، کودهای روی (B) و ژنوتیپ‌های جو (C)

Figure 7- Comparison of mean grain yield per quality of water irrigation (A), zinc fertilizer (B) and barley genotypes (C)



شکل ۸- رابطه میانگین های عملکرد دانه و سطح ویژه برگ

Figure 8- Relationship between rain yield and specific leaf area

نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری عملکرد دانه، وزن خشک کل، سرعت رشد محصول، نسبت سطح برگ و سطح ویژه برگ جو، کاهش یافت. محلول پاشی عنصر روی نسبت به بدون محلول پاشی (شاهد) موجب افزایش وزن خشک، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول و نسبت سطح برگ شد و عملکرد دانه گردید. رقم خاتم، به دلیل داشتن وزن خشک، سرعت رشد نسبی، سرعت رشد محصول و نسبت سطح برگ، سطح ویژه برگ و عملکرد دانه بیشتر نسبت به

دیگر ارقام، متحمل به شوری بود. به نظر می رسد که در شرایط شوری آب آبیاری، جذب عنصر روی از خاک توسط ریشه گیاه دچار اختلال شده، بنابراین گیاه نسبت به محلول پاشی عنصر روی، واکنش مثبت و مناسبی نشان داده که این امر در نهایت افزایش رشد و عملکرد گیاه را به همراه داشته است. در مجموع به نظر می رسد که به منظور افزایش شاخص های رشدی و همچنین عملکرد دانه جو در شرایط شوری آب آبیاری، تغذیه برگی با کود روی و استفاده از رقم خاتم قابل توصیه باشد.

References

- Ahmadi, M., Astaraee, A., Keshavarz, P. and Nasiri Mahalati, M., 2006. Effect of irrigation water salinity and zinc application on yield and chemical compositions of wheat. *Desert*, 11(1), pp.129-141. [In Persian].
- Alarcon, J.J., Sanchez-Blanco, M.J., Bolarin, M.C. and Torrecillas, A., 1994. Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. *Plant and Soil*, 166, pp.75-82.
- Alipour Telokolai, Z., Gerami, M., Ghorbanpour, A. and Majidian, P., 2020. Study of some morphological responses of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) to chitosan elicitor under salt stress. *Journal of Crop Breeding*, 12(33), pp.150-161. [In Persian]. doi: 10.29252/jcb.12.33.150

- Cramer, G.R., Alberico, G.J. and Schmidt, C., 1994. Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize. *Plant Physiology*, 21(5), pp.663-674. doi: [org/10.1071/pp9940663](https://doi.org/10.1071/pp9940663)
- Farahvash, F., Mirshekari, B., Farzaniyan, M. and Hoseainzadeh-Moghbali, A.H., 2015. Effect of zinc sulfate and ascorbic acid on some morphophysiological traits of purpurea (*Purple coneflower*) under water deficit conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(1), pp.57-78. [In Persian].
- Firoozi, Y., Feizi, H., Mehraban, A. and Alipanah, M., 2018. Effects of foliar application time of nano-micronutrients on quantity and qualitative traits in rainfed durum wheat genotypes in Moghan. *Journal of Field Crops Research*, 16(1), pp.97-112. [In Persian]. doi: [10.22067/gsc.v16i1.59050](https://doi.org/10.22067/gsc.v16i1.59050)
- Ghanbari, A., Bardel, J. and Khajeh, M., 2015. Evaluating some growth parameters, water relations and yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as affected by quality water irrigations and different fertilizers. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(1), pp.1-20. [In Persian].
- Kafi, M., Bagheri, A., Nabati, J., Zare Mehjerdi, M. and Masoumi, A., 2011. Effects of salinity on some physiological variables of 11 chickpea genotypes under hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse*, 1(4), pp.55-70. [In Persian].
- Kafi, M. and Keshmiri, E., 2016. The changes in the physiological growth and the react of the salinity and number of irrigation water of two cumin cultivars (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agroecology*, 8(3), pp.463-475. [In Persian]. doi: [10.22067/jag.V8I3.55968](https://doi.org/10.22067/jag.V8I3.55968)
- Karimi, M.M., 1990. Growth analysis of wheat and barley on different soil types. *Iranian Agricultural Research*, 9, pp.17-36. [In Persian].
- Karimi, M.M. and Siddique, K.H.M., 1991. Crop growth and relative growth rate of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agriculture Research*, 42, pp.13-20. doi: [org/10.1071/ar9910013](https://doi.org/10.1071/ar9910013)
- Karimi, M. and Azizi, M., 1998. Analysis of crop growth. Mashhad University Press, Pp. 111. Mashhad. [In Persian].
- Khayamim, S., Mazaheri, D., Bannayan Aval, M., Gohari, J. and Jahansooz, M.R., 2004. Assessment of sugarbeet physiologic and technologic characteristic at different plant density and nitrogen use levels. *Pajouhesh and Sazandegi*, 60, pp.21-29. [In Persian].
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M., 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), pp.116-124. doi: [10.15835/nbha44110224](https://doi.org/10.15835/nbha44110224)
- Mahlooji, M. and Afiuni, D., 2005. Study of growth analysis and grain yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Pajouhesh and Sazandegi*, 63, pp.37-42. [In Persian].
- Mahlooji, M., SeyedSharifi, R., Razmjoo, J., Sabzalian, M.R. and Sedghi, M., 2018. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. *Photosynthetica*, 56(2), pp.549-556. doi: [10.1007/s11099-017-0699-y](https://doi.org/10.1007/s11099-017-0699-y)
- Mohammadi Limaee, A., Majidian, M. and Mohsenabadi, Gh., 2019. Effects of foliar application of zinc, boron

- and copper micronutrients on growth indices and yield of sweet corn. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33), pp.431-448. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.3.3**
- Mosavi, S.R., Galavi, M. and Ahmadvand, G., 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 6, pp.1256-1260. **doi: 10.3923/ajps.2007.1256.1260**
- Narimani, H. and Seyed Sharifi, R., 2020. Effects of foliar and soil application of zinc on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(2), pp.89-105. [In Persian]. **doi: 10.22069/ejsms.2020.16140.1861**
- Nazarbeygi, E. and Naseri, R., 2014. Effects of gibberellic acid and salicylic acid under salinity on Na⁺ and K⁺ absorbtion and leaf characteristic of two rapeseed lines. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(1), pp.1-16. [In Persian].
- Parida, A.K. and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), pp.324-349. **doi: 10.1016/j.ecoenv.2004.06.010**
- Piri, H., Ansari, H. and Faridhosseini, A.R., 2018. Investigation of the irrigation management with saline water on sorghum yield and growth indices. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(4), pp.31-46. [In Persian]. **doi: 10.22055/jise.2017.13335**
- Rahimi, A., 2012. Effect of salinity stress on growth analysis of isabgul, french psyllium and great plantain. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(4), pp.27-40. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22518517.1391.2.4.3.9**
- Sadeghzadeh, B., 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(4), pp.905-927. **doi: org/10.4067/s0718-95162013005000072**
- Sadeghzadeh, B. and Rengel, Z., 2011. Zinc in Soils and Crop Nutrition. In: Malcolm J. Hawkesford and Peter Barraclough (eds.). *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*, Chapter 16. pp: 335-375.
- Sajedi, N.A. and Ardakani, M.R., 2008. Effect of different levels of nitrogen, iron and zinc on physiological indices and forage yield of maize (*Zea mays* L.) in Markazi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), pp.99-110. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v6i1.1180**
- SeyedSharifi, R. and Hokmalipour, S., 2010. *Forage Crop*. University of Mohaghegh Ardabili and Amidi Press. 585p. Tabriz, Iran. [In Persian].
- SeyedSharifi, R. and Nazarli, H., 2016. Influence of salinity levels of irrigation water with NaCl on phyllochron and leaf appearance rate of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8(2), pp.297-306. [In Persian]. **doi: org/10.22077/escs.2016.240**
- SeyedSharifi, R., Kamari, H. and Nagafi, Gh., 2017. Effects of nano zinc oxide and soil salinity on contribution of stem reserves in grain yield, leaf appearance rate and some growth indices of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(1), pp.119-137. [In Persian]. **doi: org/10.22077/escs.2017.536**

- Shariatmadari, M.H., Zamani, G.R. and Sayari, M.H., 2011. Effect of salinity stress and iron spraying on leaf area index, light absorption and relations with yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(2), pp.285-293. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v9i2.11004
- Soleymani, A., Firoozi, M. and Naranjani, L., 2011. Effect of foliar application of micro nutrients on physiological growth indices and total dry matter yield of forage corn. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(3), pp.340-347. [In Persian]. doi: 10.22067/gsc.v9i3.11963
- Thomason, W.E., Alley, M.M., Phillips, S.B. and Parrish, D.J., 2004. Using the Virginia cooperative extension climate analysis web tool to better manage and predict wheat development. Virginia Cooperative Extension. Crop and Soil Environmental Sciences.

Effects of saline water and foliar application of chelate and nano zinc oxide on yield and growth indices in barley cultivars

Mehrdad Mahlooji^{1*}, Raouf Seyed Sharifi², Abbas Nasiri Dehsorkhi³

¹ Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

³ Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: mmahlooji2000@yahoo.com

Received: 20 July 2021

Accepted: 3 September 2021

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.296048.1105

Abstract

Introduction: Barley is one of the most important sources of livestock feed and is tolerant to drought and salinity. Salinity of water and soil resources is one of the most important agricultural problems in Iran. In salinity conditions, the availability of nutrients in the soil solution is reduced due to the high concentration of chlorine and sodium ions, which leads to disturbance in the nutrition and upsetting of the balance of plant nutrients. Therefore, the role of proper nutrition in these conditions is very important to help maintain the balance of nutritional elements and provide the proper growth and plant performance (Ahmadi et al., 2006). Due to the reduction of fresh water resources and the increase of fresh water consumption on the other hand, the access to water with suitable quality for agriculture is very limited (Mahlooji et al., 2018). It is obvious that in such conditions, it is inevitable to use water of poor quality for the production of agricultural products. Therefore, the current research was conducted with the aim of studying the effect of chelate and nanozinc solution spraying on the yield and growth indices of three barley cultivars under irrigation water salinity conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of irrigation water salinity and foliar application of chelate and zinc nano oxide on yield and some growth indices of barley cultivars, an experiment in the form of a randomized complete block design with arrangement of split blocks with three replications at the station Rodasht salinity research was conducted in Isfahan. Three water irrigation quality including W1=control, 1-2 dS/m (low salinity), W2=10 dS/m (common salinity in the region), W3=18 dS/m (high salinity) were evaluated in vertical factors. The horizontal factors were foliar spraying including (nano zinc-oxide, chelated zinc, mixture of nano and chelated and water spraying as a control). Three different barley including (Morocco as a moderate semi sensitive, Nosrat as a moderate tolerant and Khatam as a tolerant) cultivars split within vertical factors. Statistical analyzes and graphs were performed using SAS and Excel software and comparisons of means were performed using LSD test.

Results and Discussion: The results showed that with increasing salinity of irrigation water, grain yield, dry weight (DM), crop growth rate (CGR), leaf area ratio (LAR) and specific leaf area (SLA) decreased. Foliar application of Zinc element compared with no Zinc increased TDM, RGR, CGR, LAR and grain yield. Khatam cultivar was superior to Morocco cultivar due to its DM, RGR, CGR, LAR, SLA and higher grain yield. Among physiological indices, SLA showed a positive and significant correlation with grain yield ($r^2 = 0.97$). Overall, in order to increase plant growth indices as well as grain yield of barley under salinity irrigation water, foliar application of zinc fertilizer and the use of Khatam cultivar (salt-tolerant) is recommended.

Conclusion: In general, the results showed that with increasing irrigation water salinity, grain yield, total dry weight, crop growth rate, leaf area ratio and specific leaf area of barley decreased. Foliar application of zinc element compared to check (control) caused an increase in dry weight, relative growth rate, crop growth rate and leaf area ratio, and grain yield. Khatam variety was more tolerant to salinity due to its dry weight, relative growth rate, product growth rate and leaf area ratio, specific leaf area and grain yield compared to other varieties. It seems that the absorption of zinc from the soil

by the plant roots is disturbed in the saline irrigation conditions, so the plant has shown a positive and appropriate reaction to the foliar application of zinc, which ultimately increases the growth and yield. He brought the plant with him. In general, it seems that in order to increase the growth indices and also the yield of barley grain under irrigation water salinity conditions, foliar feeding with zinc fertilizer and the use of Khatam variety are recommended.

Keywords: Crop growth rate, Micronutrient, Physiologic indices, Specific leaf area

ارزیابی کارایی انرژی و بهره‌وری بوم‌شناختی بوم‌نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در شهرستان بروجرد، استان لرستان

لیلا رحیمی^۱، خسرو عزیزی^{۲*}، داریوش گودرزی^۲، ماشالله دانشور^۲، سعید حیدری^۲

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

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

* مسئول مکاتبه: azizi.kh@lu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.349325.1252

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی، مقایسه سیر انرژی، مدیریت منابع بویژه آب و افزایش کارایی زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی می‌باشد. این مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۷ در شهرستان بروجرد در استان لرستان انجام شد. تعداد نمونه‌ها با فرمول کوکران تعیین شد و بر این اساس ۱۳۰ و ۶۰ مزرعه به ترتیب برای کشت گندم آبی و سیب‌زمینی انتخاب شد. داده‌ها در این تحقیق از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شدند. مقدار کل انرژی ورودی در سیب‌زمینی ۹۲۶۴۵/۷۳ و در گندم آبی ۴۵۲۱۵/۳۳ مگاژول در هکتار بود. نظام زراعی سیب‌زمینی، از نظر شاخص‌های الکتریسیته، سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی و آب مورد نیاز، بیشترین مقدار انرژی مصرفی را به خود اختصاص داد. سهم مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و غیر مستقیم از کل انرژی‌های ورودی در هر دو بوم‌نظام زراعی بالا بود، بویژه کشت سیب‌زمینی وابستگی بیشتری به این انرژی‌های ورودی نشان داد و این می‌تواند بیانگر ناپایداری بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی باشد. مقدار شاخص انرژی خالص در نظام زراعی سیب‌زمینی ۹۲۶۸۲/۲۷ کیلوگرم در مگاژول بیشتر از گندم آبی ۶۴۸۶۵/۲۴ کیلوگرم در مگاژول است که این به پتانسیل بوم‌شناختی تولید این گیاه مربوط می‌باشد. با توجه به کارایی مصرف انرژی بیشتر گندم آبی ۲/۴۳ در مقایسه با کشت سیب‌زمینی ۲ که نشان دهنده کارآمدی بیشتر نظام زراعی گندم آبی در تبدیل انرژی‌های ورودی به انرژی موجود در عملکرد است و می‌توان کشت گندم آبی در منطقه بروجرد را که از پایداری بیشتری برخوردار است، به کشاورزان منطقه توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، بهره‌وری انرژی، پایداری سیستم‌های کشاورزی، ستانده‌ها

مقدمه

(2015).

مصرف کارآمد انرژی در کشاورزی، یکی از عوامل مهم برای رسیدن به کشاورزی پایدار است، زیرا نه تنها موجب صرفه‌جویی اقتصادی شده، بلکه در حفظ انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا نیز مؤثر است (Pahlavan et al., 2012; Dastan et al., 2015; Yasari et al., 2018).

در مقایسه کارایی مصرف انرژی گندم و آفتابگردان در ترکیه (مطالعه موردی در منطقه تراکیا) نتایج نشان داد که از نظر شاخص‌های انرژی ورودی، کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص تولیدی نسبت به کشت آفتابگردان برتری داشت (Unakitan and Aydin, 2018).

در تحقیقی در مقایسه شاخص‌های کارایی فنی و اقتصادی مصرف آب در تولید گندم و زعفران در شهرستان قائنات نشان داده شد که از نظر شاخص‌های کارایی مصرف آب، کشت زعفران

محدودیت زمین‌های زراعی، افزایش جمعیت، تغییر در زیرساخت‌ها و تمایل به استانداردهای بالای زندگی، عواملی هستند که مصرف انرژی در بخش کشاورزی را افزایش داده‌اند. استفاده مؤثر از انرژی در کشاورزی، یکی از مهم‌ترین نیازهای توسعه پایدار در کشاورزی است (Mohammadi et al., 2011).

پایداری یکی از مولفه‌های اصلی تولید محصولات کشاورزی است که امنیت غذایی از منابع تولیدی برای نسل‌های حال و آینده را به دنبال دارد (Shebani et al., 2017; Rezaei et al., 2019). کشاورزی مصرف‌کننده هر دو نوع منابع محیطی و اقتصادی می‌باشد. افزایش مصرف ورودی‌های انرژی، به ویژه انرژی تجدیدناپذیر، در کشاورزی موجب اثرات محیطی مختلف از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش تنوع زیستی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است (Kazemi et al., 2011).

آبی بجای سیب‌زمینی در واقع مدیریت مصرف آب می‌باشد. همچنین علاوه بر توجه به مدیریت مصرف آب، وابستگی دو سیستم کشت به نهاده‌های برون و درون دو بوم‌نظام زراعی می‌تواند بیانگر وضعیت کارایی و بهره‌وری انرژی در تولید این محصولات، و مقایسه شاخص‌های کارایی اکولوژیکی انرژی در بوم‌نظام‌های گندم آبی و سیب‌زمینی باشد.

این تحقیق با اهداف بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی، کاهش وابستگی دو سیستم کشت به نهاده‌های برون و درون دو بوم‌نظام زراعی، مدیریت مصرف آب، با این دیدگاه که در کشت پاییزه گندم آبی بخش اعظمی از آب مورد نیاز گیاه از طریق بارش در طی فصل‌های پاییز و زمستان تأمین می‌گردد و در مقابل کشت سیب‌زمینی در بهار بطور کامل برای تأمین آب، به آب‌های سطحی و یا زیر زمینی وابسته است انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۷ در شهرستان بروجرد در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه، ۱۱ دقیقه عرض شمالی، ۴۸ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی انجام شد. محل آزمایش دارای اقلیم سردسیری، میانگین بارندگی سالانه ۴۵۳ میلی‌متر، دمای سالانه ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد و ارتفاع از سطح دریا ۱۹۱۰ متر می‌باشد. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه از فرمول کوکران (Cochran, 2003) استفاده شد.

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1)} \quad (1)$$

که در آن n: حجم نمونه، N: حجم جامعه آماری، Z: مقدار ضریب اطمینان (۱/۹۶)، p: نسبتی از جمعیت دارای صفتی معین (۰/۵)، q: نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (۰/۵) و d: دقت احتمالی مطلوب بود. تعداد پرسش‌نامه برای گندم آبی ۱۳۰ و برای سیب‌زمینی ۶۰ مزرعه در نظر گرفته شد. انتخاب تعداد کشاورزان با روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌ای انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسش‌نامه تهیه شده، شامل اطلاعات مربوط به کلیه فعالیت‌های زراعی از قبیل آماده‌سازی زمین، میزان بذر مصرفی، میزان آب آبیاری، کودهای مصرفی، سموم شیمیایی، نیروی انسانی مورد نیاز و غیره از طریق مصاحبه چهره به چهره با کشاورزان که سیب‌زمینی و گندم کشت می‌کنند انجام شد.

عملیات زراعی در کشت نیمه مکانیزه گندم آبی از اوایل

بر گندم برتری دارد (Yaqobi et al., 2015). در مقایسه نظام کشت سیب‌زمینی و چغندر قند در استان اصفهان میزان کارایی انرژی (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی) در نظام تولید سیب‌زمینی ۱/۴۲ و در نظام تولید چغندر قند ۹/۱۱ محاسبه شد (Zahedi et al., 2015). در مقایسه دو نظام زراعی کشت پاییزه و بهار سیب‌زمینی در استان گلستان نشان داده‌شد که نظام زراعی پاییزه دارای کارایی و پایداری بیشتری از کشت بهار بود. در هر دو نظام زراعی، سهم انرژی‌های غیرمستقیم، تجدیدناپذیر بکار برده شده در دو بوم‌نظام، بیشتر از انرژی‌های مستقیم، تجدیدپذیر بود (Shahhossini et al., 2020).

در بررسی شاخص‌های انرژی کاربردی در دو سیستم کشت جو آبی و جو دیم، کل انرژی ورودی برای جو آبی معادل ۷۸۶۷/۸۲ مگاژول در هکتار و در جو دیم برابر ۳/۹۶ و ۳/۵ مگاژول در هکتار بود. راندمان انرژی به ترتیب ۳/۹۶ و ۳/۵ مگاژول در هکتار برای جو آبی و جو دیم محاسبه شد (Azizi and Heidari, 2013).

گندم در اکثر مناطق لرستان بویژه بروجرد، پاییزه کشت می‌شود و اواخر بهار برداشت می‌گردد و بخش اعظمی از آب مورد نیاز گندم از طریق ریزش‌های جوی تأمین می‌شود و اگر قرار باشد در قطعه زمینی، سیب‌زمینی کشت گردد چون تاریخ کشت سیب‌زمینی در بروجرد از اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد می‌باشد در این صورت امکان کشت گندم آبی، در آن سال زراعی مقدور نیست و عملاً برای کشت سیب‌زمینی، زمین کشاورز در آن سال باید بصورت آیش باقی بماند. از طرفی چون منطقه دارای پاییز و زمستان سرد می‌باشد، امکان کشت گیاهی که بتوان قبل از شروع کشت سیب‌زمینی در بهار برداشت شود وجود ندارد. در سال‌های اخیر به دلیل درآمد بالای سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی و استقبال کشاورزان مهاجر باعث افزایش سطح زیر کشت سیب‌زمینی و کاهش رغبت کشاورزان به کشت گیاه استراتژیک گندم آبی در منطقه شده است و شرایط بنحوی شده‌است که سازمان جهاد کشاورزی استان کشت سیب‌زمینی بهار و تابستانه را که عملاً دارای هم‌پوشانی دوره رشد هستند و آب‌بر می‌باشند را ممنوع کرده است.

همچنین به دلیل اینکه در استان لرستان و نیز شهرستان بروجرد پراکنش بارش‌ها عمدتاً در پاییز و زمستان می‌باشد؛ بنابراین تغییر الگوی کشت و یا ترغیب کشاورزان به کشت گندم

مهر تا اواسط آبان به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- عملیات شخم نسبتاً عمیق، ۲- دیسک زدن برای خرد کردن کلوخه‌ها و نرم کردن بستر بذر، ۳. کشت با دستگاه خطی کار که بصورت هم‌زمان بذر و کود را بصورت ردیفی کشت می‌نماید، ۴. مرزبندی، ۵. عملیات داشت در گندم معمولاً مصرف علف‌کش و برحسب وجود آفت یا بیماری آفت‌کش و قارچ‌کش می‌باشد، ۶. برداشت در اواخر خرداد تا اواسط تیرماه انجام می‌گردد.

عملیات زراعی کشت نیمه مکانیزه سیب‌زمینی از اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد شامل مراحل زیر است:

۱- شخم نسبتاً عمیق، ۲- استفاده از کولتیواتور یا کلوخ‌شکن و در صورت عدم وجود کلوخ‌شکن استفاده از دیسک برای نرم کردن بستر کاشت، ۳. کودپاشی اعم از کود آلی و کود شیمیایی پایه، ۴. دیسک‌زدن برای مخلوط نمودن کود دامی و شیمیایی پایه با خاک، ۵. استفاده از دستگاه کارنده سیب‌زمینی، ۶. مصرف علف‌کش و یا زدن فارور برای مبارزه با علف‌های هرز، ۷. مصرف حشره‌کش یا قارچ‌کش بر حسب ضرورت، ۸. استفاده از دستگاه سرزن سیب‌زمینی، ۹. استفاده از دستگاه برداشت سیب‌زمینی.

درستی آمار و اطلاعات مربوط به سطح زیرکشت، عملکرد در واحد سطح، میزان تولید و تعداد زارعین محصولات مورد مطالعه از طریق منابع موجود در مرکز جهاد کشاورزی شهرستان بروجرد کنترل شد. اطلاعات اولیه انرژی‌های مصرفی (نهاد) و انرژی تولیدی (ستاده) و تمام محاسبات مربوط به شاخص‌های مورد بررسی با نرم‌افزار EXCEL محاسبه شد.

تحلیل انرژی

به منظور محاسبه معادل انرژی ورودی‌ها و خروجی در دو نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی، ابتدا مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی‌ها و معادل انرژی آن‌ها در دو نظام تعیین شدند (جداول ۱ و ۲). سپس معادل هر انرژی ورودی و همچنین خروجی، با

ضرب مقدار خام آن در ضریب تبدیل انرژی مربوطه، معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید دو سیستم زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی محاسبه گردید.

در این تحقیق، مهم‌ترین شاخص‌های انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، انرژی خالص، انرژی ورودی کل و انرژی خروجی کل برای ارزیابی کارایی دو بوم‌نظام زراعی برآورد و مورد مقایسه قرار گرفتند (BenayanAval et al., 2010; Ghorbani et al., 2011)

تحلیل انرژی: شاخص‌های انرژی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)} &= \text{کارایی مصرف انرژی} \times \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} \\ \text{خروجی گیاه زراعی (کیلوگرم در هکتار)} &= \text{بهره وری} \times \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} \\ \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} &= \text{انرژی ویژه} \times \text{خروجی گیاه زراعی (کیلوگرم در هکتار)} \end{aligned}$$

لنرژى ورودى (مگاژول در هکتار) - لنرژى خروجى (مگاژول در هکتار) = لنرژى خالص

در دو بوم‌نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی توزیع انواع انرژی در منطقه مورد مطالعه برای ارزیابی تعیین شدند. دسته اول انرژی مستقیم شامل، سوخت فسیلی، نیروی الکتریسیته و نیروی انسانی، انرژی غیرمستقیم شامل کودهای آلی، آب آبیاری کودهای شیمیایی، بذر، ماشین‌آلات، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها دسته‌بندی شدند و در تقسیم‌بندی دیگر نهاده‌های ورودی دسته دوم به انرژی تجدیدپذیر، شامل نیروی انسانی، کودآلی، بذر و انرژی تجدیدناپذیر، شامل ماشین‌آلات، سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، الکتریسیته و آب آبیاری (آب زیرزمینی) طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱- مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های دو بوم‌نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 1- Values of inputs and outputs in the ecosystem of irrigated wheat and potato cropping systems at the experimental site

متغیر Variable	واحد Unit	نظام زراعی سیب‌زمینی Potato agroecosystem	نظام زراعی گندم آبی Irrigated wheat agroecosystem
بذر Seed	Kg ha ⁻¹	4570.83	238
نیروی انسانی Manpower	hour	398.4	74
ماشین‌آلات Machinery	hour	21.33	10.33
سوخت فسیلی Fossil Fuels	Liter	218.34	161.34
نیترژن Nitrogen	Kg ha ⁻¹	212.50	136.66
فسفر Phosphorus	Kg. ha ⁻¹	250.00	71.00
پتاس Potash	Kg ha ⁻¹	10500.00	-
کود دامی Manure	kilowatt hours	2215.00	1321.33
الکتریسیته Electricity	Kg ha ⁻¹	3.97	2.01
علفکش Herbicide	Kg ha ⁻¹	0.78	0.53
قارچ‌کش Fungicides	Kg ha ⁻¹	1.11	0.68
حشره‌کش Insecticide	Kg ha ⁻¹	1.88	•
ریز مغذی‌ها Micronutrients	m3	11478.38	3214.03
آب آبیاری Irrigation water			
t خروجی Output	Kg ha ⁻¹	51480.00	4349.76
عملکرد بذر Seed yield	Kg ha ⁻¹	-	4988
عملکرد کاه Straw yield			
l عملکرد کل Yield total	Kg ha ⁻¹	51480	9337.76

جدول ۲- معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های بوم‌نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 2- Energy equations for inputs and outputs in irrigated wheat and potato agricultural ecosystems at the experimental site				
منابع	معادل انرژی گندم آبی	معادل انرژی سیب‌زمینی	واحد	خروجی / ورودی
Source	Energy equivalent Irrigated Wheat (MJ.ha ⁻¹)	Energy equivalent Potato (MJ.ha ⁻¹)	Unit	Input / Output
Tipi <i>et al.</i> , 2009 ; Zangeneh <i>et al.</i> , 2010	15.7	3.60	Kg	بذر Seed
Ozkan <i>et al.</i> , 2007	1.96	1.96	hour	نیروی انسانی Manpower
Zahedi <i>et al.</i> , 2014	142.7	142.7	hour	ماشین‌آلات Machinery
Zahedi <i>et al.</i> , 2014 ; Singh <i>et al.</i> , 2007	56.31	56.31	Liter	سوخت فسیلی Fossil Fuels
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009	60.06	66.14	Kg	نیتروژن Nitrogen
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009	37	12.44	Kg	فسفر Phosphorus
Akcaoz <i>et al.</i> , 2009 ; Rajabi <i>et al.</i> , 2011	6.7	11.15	Kg	پتاس Potash
Soltani <i>et al.</i> , 2014	-	0.3	Kg	کود دامی Manure
Singh <i>et al.</i> , 2007 ; Kaltsas <i>et al.</i> , 2007	12.1	12.1	kilowatt hours	الکتریسیته Electricity
Ozkan <i>et al.</i> , 2007 ; Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005	278	238	Kg	علفکشی Herbicide
Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005	99	92	Kg	قارچ‌کش Fungicides
Tzilivakis <i>et al.</i> , 2005 ; Ozkan <i>et al.</i> , 2007	237	199	Kg	حشره‌کش Insecticide
Esengun <i>et al.</i> , 2007	-	120	Kg	ریزمغذی‌ها Micronutrients
Zahedi <i>et al.</i> , 2014	1.02	1.02	m ³	آب آبیاری Irrigation water
Tipi <i>et al.</i> , 2009 ; Singh <i>et al.</i> , 2007	14.7		t	خروجی Output
Tabatabaeefar <i>et al.</i> , 2009 ; Zangeneh <i>et al.</i> , 2010	14.7 9.25	3.6	Kg	عملکرد بذر Seed yield
Tabatabaeefar <i>et al.</i> , 2009 ; Zangeneh <i>et al.</i> , 2010			l	عملکرد کاه Straw yield
				Yield total

نتایج و بحث

ارزیابی و تجزیه و تحلیل انرژی ورودی و خروجی

مقادیر انرژی مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی‌ها دو نظام زراعی در جدول ۳ نشان داده شده است کل انرژی ورودی در کشت گندم آبی ۴۵۲۱۵/۳۳ مگاژول در هکتار و در کشت سیب‌زمینی ۹۲۶۴۵/۷۳ مگاژول در هکتار می‌باشد. ارزیابی الگوی مصرف انرژی نشان داد، نظام زراعی سیب‌زمینی، از نظر شاخص‌های

الکتریسیته، سوخت فسیلی، کودهای شیمیایی و آب آبیاری بیشترین مقدار انرژی مصرفی را داشت که به دلیل برقی بودن پمپ‌های چاه آب، کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش سطح ایستابی آب چاه‌های منطقه و نبود رودخانه و سنتی بودن مسیر جوی‌های انتقال آب، میزان مصرف الکتریسته بالا بود. میزان مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و غیر مستقیم از کل انرژی‌های ورودی در هر دو بوم‌نظام زراعی بالا بود، بویژه

شاخص‌های انرژی

انرژی خروجی کل که نشان‌دهنده انرژی معادل در دو بوم‌نظام زراعی است، در کشت گندم آبی، با احتساب عملکرد دانه و کاه و کشت سیب‌زمینی به ترتیب معادل $110080/75$ و 185328 مگاژول در هکتار بود (جدول ۳ و ۴). انرژی خروجی (عملکرد کل) در بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی بیشتر از گندم بود. بیشتر بودن انرژی خروجی سیب‌زمینی به بوم‌شناسی تولید گیاه زراعی سیب‌زمینی مربوط می‌گردد. در ارزیابی و پایداری دو نظام کشت پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در استان گلستان نشان داده شد که مدیریت انرژی باید به عنوان یک عامل اساسی در خصوص مصرف کارآمد و پایدار انرژی در نظر گرفته شود (Shahhossini et al., 2021). در این تحقیق انرژی خروجی سیب‌زمینی بیشتر از گندم است. اما به دلیل مصرف زیاد انرژی ورودی و وابستگی نظام تولید سیب‌زمینی به استفاده بیشتر از انرژی‌های کمکی، می‌توان نتیجه گرفت پایداری تولید آن کمتر از بوم‌نظام زراعی گندم است (Ayneband, 2015).

کارایی مصرف انرژی نظام زراعی گندم آبی معادل $2/43$ و در سیب‌زمینی برابر 2 کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد. همچنین میزان بهره‌وری انرژی در دو نظام زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی به ترتیب معادل $0/55$ و $0/2$ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد (جدول ۴). شاخص بهره‌وری انرژی بیانگر این است که به ازای هر واحد انرژی ورودی مصرفی، میزان $0/55$ و $0/2$ کیلوگرم انرژی خروجی به عنوان محصول در دو بوم‌نظام سیب‌زمینی و گندم آبی تولید شده‌است. عکس این شاخص، شاخص انرژی ویژه می‌باشد که در این تحقیق برای نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی به ترتیب برابر $4/84$ و $1/75$ مگاژول می‌باشد (جدول ۴). بر اساس این شاخص، مصرف انرژی به ازای هر واحد محصول در بوم‌نظام سیب‌زمینی وضعیت بهتری داشته است. همچنین انرژی خالص تولیدی که نشان‌دهنده اتلاف کمتر انرژی است، در گندم آبی معادل $64865/24$ و در سیب‌زمینی $92682/27$ مگاژول در هکتار است (جدول ۴) که نشان‌دهنده استفاده بهتر از انرژی در نظام زراعی سیب‌زمینی است. افزایش عملکرد یا انرژی خروجی در سیب‌زمینی به دلیل خصوصیات اکولوژی تولید این گیاه سبب برتری این دو شاخص در کشت سیب‌زمینی در مقایسه با گندم آبی است. بطور کلی افزایش انرژی خروجی نسبت به انرژی ورودی موجب افزایش این

کشت سیب‌زمینی وابستگی بیشتری به این انرژی‌های ورودی داشت و این می‌تواند بیانگر یکی از دلایل ناپایداری بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی باشد. سهم ورودی بذر در کشت سیب‌زمینی نشان‌دهنده بالا بودن مصرف انرژی این ورودی در تولید محصول سیب‌زمینی در شرایط مختلف تولید است. از طرفی مصرف بیشتر آب نیز بیانگر نیاز آبی بیشتر سیب‌زمینی نسبت به گندم می‌باشد. باید از منابع موجود، ویژه آب و استفاده صحیح و کارآمد از روش‌های به‌زراعی نظیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی کشاورزان منطقه را به کشت گندم نسبت به سیب‌زمینی ترغیب نمود. میزان کل انرژی مصرفی در مزارع سیب‌زمینی استان همدان با احتساب متوسط 28 تن عملکرد غده در هکتار برابر با 92296 مگاژول در هکتار برآورد شد، کود نیتروژن (39 درصد)، سوخت فسیلی (21 درصد)، بذر ($14/9$ درصد)، کود دامی ($6/4$ درصد) بیشترین سهم را در انرژی‌های ورودی داشتند (Rajabi et al., 2012). در هر دو نظام زراعی می‌توان با خاک‌ورزی حفاظتی و نیز استفاده از کودهای آلی مدیریت دو نظام زراعی را در جهت کاهش وابستگی به نهاده‌های برون مزرعه‌ای بهبود بخشید. کشت سیب‌زمینی به دلیل مصرف بالای آب حدود $11609/29$ مترمکعب در هکتار باعث ناپایداری تولید در منطقه در سال‌های آتی خواهد شد در بوم‌نظام گندم آبی با توجه به کشت پاییزه و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه از طریق ریزش‌های جوی میزان آب مصرفی آن در قیاس با کشت سیب‌زمینی که بهاره بوده و حدود 12 بار آبیاری می‌شود و بخشی از دوره رشد گیاه در فصل گرما می‌باشد سبب شده که آب مصرفی بوم‌نظام سیب‌زمینی بیشتر شد. استفاده از منابع انرژی جایگزین و یا تجدیدشونده به منظور کاهش وابستگی به انرژی سوخت‌های فسیلی نیز پیشنهاد می‌شود (Ghaderzadeh and Pirmohamediani, 2019). کشت سیب‌زمینی برای تولید نیاز بیشتری به منابع و نهاده‌های ورودی دارد و این خود یک عامل کاهنده پایداری سیستم تولید است زیرا استفاده زیاد از منابع و نهاده‌های برون مزرعه‌ای به معنی افزایش انرژی ورودی به سیستم و کاهش راندمان انرژی است که با تعادل بیلان انرژی در تضاد است و یکی از ملاک‌های اصلی ارزیابی وابستگی سیستم به منابع و نهاده‌های انرژی درونی و بیرونی برای نظام تولید است.

شاخص می‌گردد. بهبود مدیریت زراعی نظیر کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس توصیه کودی و وضعیت حاصلخیزی پایدار خاک، توجه به بازده مصرف آب و استفاده از محصولات زراعی با نیاز آبی کمتر موجب صرفه‌جویی و حفظ بیشتر انرژی و در نتیجه افزایش کارایی مصرف انرژی گردیده و مقدار شاخص انرژی خالص را بهبود می‌بخشد.

جدول ۳- ورودی و خروجی انرژی در دو بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی در محل انجام آزمایش

Table 3- Input and output of energy in two ecosystems of potato and irrigated wheat at the experimental site

Table 3. Input and output of energy in two ecosystems of potato and irrigated wheat at the experimental site				مقایسه درصد کل انرژی ورودی و خروجی دو اکوسیستم نسبت به یکدیگر		
خروجی / ورودی Input / Output	معادل انرژی گندم آبی Energy equivalent Irrigated Wheat (MJ.ha ⁻¹)	معادل انرژی سیبزمینی Energy equivalent Potato (MJ.ha ⁻¹)	درصد کل انرژی مصرفی Percentage of total energy consumption		Comparing the percentage of total energy input and output of two ecosystems relative to each other	
ورودی Input			سیبزمینی Potato	گندم Wheat	سیبزمینی Potato	گندم Wheat
بذر Seed	3736.6	16454.98	18.29	8.26	77.29	22.70
نیروی انسانی Manpower	145.04	774.84	0.86	0.32	81.28	18.71
ماشین آلات Machinery	1358.5	2964.36	2.96	3.00	54.17	45.82
سوخت فسیلی Fossil Fuels	9090.61	12295.52	13.67	20.10	26.06	73.93
نیتروژن Nitrogen	8282	14054.75	15.62	18.31	69.40	30.60
فسفر Phosphorus	2627	2857	2.07	5.80	28.97	71.03
پتاس Potash	-	3150	2.27	-	100.00	-
کود دامی Manure	15988.13	26801.50	29.80	35.36	59.65	40.34
الکتریسیته Electricity	578.78	856.32	0.25	1.28	39.91	60.08
علفکش Herbicide	49.51	116.53	0.12	0.10	57.51	42.48
قارچ کش Fungicides	146.16	221.40	0.24	0.32	51.47	45.83
حشره کش Insecticide	-	220	0.244	-	100.00	-
ریزمغذی ها Micronutrients	3213	11878.71	13.20	7.10	72.95	27.04
آب آبیاری Irrigation water						
خروجی Output	110080.57	185328.00	100.00	100.00	59.39	40.60

جدول ۴- شاخص‌های انرژی در دو بوم‌نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 4- Energy indicators in production in two ecosystems of irrigated wheat and potato farming systems at the experimental site

نوع شاخص Index type	سیب‌زمینی Potato	گندم آبی Irrigated Wheat
ورودی Input (MJ.ha ⁻¹)	92645.73	45215.33
خروجی Out put	185328	110080.57
کارایی عملکرد Yield efficiency (Kg.MJ ⁻¹)	2.00	2.43
کارایی انرژی Energy efficiency (Kg.MJ ⁻¹)	0.55	0.20
انرژی خالص Pure energy (Kg.MJ ⁻¹)	92682.27	64865.24
انرژی ویژه Special energy (Kg.MJ ⁻¹)	1.79	4.84

سطحی و زیرزمینی جز انرژی‌های غیر مستقیم می‌باشند در این شاخص نیز سیستم کشت سیب‌زمینی نسبت به گندم آبی برتری داشته است. چون برای تأمین آب با توجه به فصل کشت کاملاً وابسته به منابع آبی ذکر شده است. بر اساس مقایسه درصد کل انرژی ورودی در نظام کشت سیب‌زمینی طبق جدول ۳ سهم میزان مصرف بذر ۷۷/۲۹ درصد و در کشت گندم آبی ۲۲/۷۰ درصد بود. میزان مصرف کود شیمیایی بویژه نیتروژن به عنوان یک شاخص ناپایداری و از نوع انرژی غیر مستقیم در نظام زراعی سیب‌زمینی ۶۹/۴ درصد از کل انرژی مصرفی را در مقایسه با میزان مصرف نیتروژن در کشت گندم که به میزان ۳۰/۶ درصد می‌باشد به خود اختصاص داد. برای رسیدن به پایداری در نظام‌های تولید باید تعادل بین انرژی ورودی و خروجی را در نظر داشت زیرا طبق رابطه کارایی انرژی مقدار این شاخص با انرژی ورودی رابطه عکس دارد هر چه انرژی ورودی افزایش پیدا کند کارایی انرژی کاهش می‌یابد، نباید به قصد درآمد بالا از نظام‌های تولید، بیشتر از ظرفیت آن‌ها استفاده کرد. کاربرد بیش از حد نهاده‌های غیر تجدیدناپذیر مانند مصرف بیش از حد کودهای نیتروژن، سموم شیمیایی و مصرف بی‌رویه آب آبیاری به روش‌های سنتی، ممکن است منجر به تولید بالا در کوتاه‌مدت گردد ولی باید توجه داشت که استفاده صحیح و کارآمد از منابع باعث افزایش پایداری تولید می‌شود.

توزیع انرژی بصورت مستقیم، غیر مستقیم، قابل تجدید و غیر قابل تجدید در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طوری‌که در جدول مشاهده می‌گردد در هر دو نظام زراعی میزان انرژی مستقیم نسبت به غیر مستقیم و نیز مقدار انرژی تجدیدناپذیر نسبت به تجدیدپذیر بیشتر می‌باشد. در ارزیابی توزیع انرژی درکشت پاییزه و بهار سیب‌زمینی در استان گلستان نتایج نشان داد که سهم انرژی‌های غیر مستقیم، تجدیدناپذیر در نظام‌های زراعی پاییزه و بهار سیب‌زمینی به ترتیب بیشتر از انرژی‌های مستقیم و تجدیدپذیر بود (Shahhossini et al., 2020). تحقیقات بر روی سیب‌زمینی در استان همدان نشان داد که ۶۰ درصد انرژی مستقیم، ۴۰ درصد انرژی غیر مستقیم، ۸۰ درصد انرژی تجدیدناپذیر و ۲۰ درصد انرژی تجدیدپذیر می‌باشند (Zangeneh et al., 2010). در چندین مطالعه دیگر نیز نشان داده شده است که سهم انرژی غیر مستقیم و انرژی غیر قابل تجدید به ترتیب بالاتر از انرژی‌های مستقیم و تجدیدپذیر می‌باشد (Kizilaslan, 2009; Zahedi et al., 2015). میزان انرژی‌های، مستقیم، غیر مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در دو بوم‌نظام زراعی سیب‌زمینی و گندم آبی نشان داده شده است، همان‌طوری‌که ملاحظه می‌گردد میزان انرژی‌های غیر مستقیم و تجدیدپذیر در کشت سیب‌زمینی بیشتر از گندم آبی است (جدول ۵). علت بیشتر شدن انرژی تجدیدپذیر در سیب زمینی مربوط به نهاده‌ی بذر مصرفی در این سیستم کشت است، هم‌چنین چون استفاده از آب‌های

جدول ۵ - مقایسه مجموع انرژی مصرفی به صورت مستقیم، غیر مستقیم، قابل تجدید و غیر قابل تجدید در دو نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی در محل انجام آزمایش

Table 5 - Comparison of total energy consumption directly, indirectly, renewable and non-renewable in two cropping systems of irrigated wheat and potato at the experimental site

درصد کل انرژی مصرفی		مصرف انرژی		
Percentage of total energy consumption		Energy consumption (MJ.ha ⁻¹)		
انرژی مصرفی	سیب‌زمینی	گندم آبی	سیب‌زمینی	گندم آبی
Energy consumption	Potato	Irrigated Wheat	Potato	Irrigated Wheat
انرژی مستقیم ^۱	43.13	62.89	39962.86	28436.78
Direct energy				
انرژی غیرمستقیم ^۲	56.96	37.10	52773.87	16778.55
Indirect energy				
انرژی تجدیدپذیر ^۳	21.99	15.69	20379.82	7094.64
Renewable energy				
انرژی تجدیدناپذیر ^۴	77.76	84.30	72045.91	38120.69
Non-renewable energy				
انرژی ورودی کل			92645.73	45215.33
Total input energy				

۱. انرژی مستقیم شامل: سوخت، برق و نیروی انسانی، ۲. انرژی غیرمستقیم شامل آب آبیاری (استخراج از چاه)، کودهای آلی، کودهای شیمیایی، بذر، ماشین آلات، آفت کش ها، حشره کش ها و علف کش ها، ۳. انرژی های تجدید پذیر شامل: کودهای آلی، بذر، نیروی انسانی، ۴. انرژی های تجدید ناپذیر شامل: کودهای شیمیایی، آب آبیاری (استخراج از چاه)، آفت کش ها، ماشین آلات، برق، سموم شیمیایی

1. Direct energy including: fuel, electricity and human power, 2. Indirect energy including irrigation water (extraction from wells), organic fertilizers, chemical fertilizers, seeds, machinery, pesticides, insecticides and herbicides, 3. Renewable energy including: fertilizers organic, seed, human power, 4. non-renewable energy including: chemical fertilizers, irrigation water (extraction from wells), pesticides, machinery, electricity, chemical poisons

نتیجه گیری کلی

پایداری تولید آن کمتر از بوم‌نظام زراعی گندم است که بیانگر این مهم می‌باشد در هر دو نظام زراعی میزان انرژی‌های مصرفی غیر مستقیم نسبت به مستقیم و نیز مقدار انرژی‌های تجدیدناپذیر نسبت به تجدیدپذیر بیشتر می‌باشد. هر چند میزان انرژی مصرفی غیر مستقیم و تجدیدناپذیر در کشت سیب‌زمینی بیشتر از کشت گندم آبی است بنابراین تولید کنونی سیب‌زمینی به لحاظ مصرف انرژی، پایدار نیست زیرا درصد بسیار بالایی از نهاده‌های مصرفی در تولید سیب‌زمینی جزء انرژی‌های غیر قابل تجدید هستند. نسبت بالای کاربرد انرژی‌های غیر قابل تجدید در کشاورزی سبب اثرات منفی روی پایداری تولید خواهد شد. از طرفی یکی از ایرادات اصلی توسعه کشت سیب‌زمینی در منطقه این است که کشاورز در استفاده و بهره‌برداری از زمین خود در دو فصل پاییز و زمستان تا اواسط اردیبهشت که تاریخ کشت سیب‌زمینی می‌باشد، نمی‌تواند استفاده نماید و این دقیقاً کارآمدی کشت گندم آبی را نسبت به سیب‌زمینی نشان می‌دهد، بنابراین کشت پاییزه گندم آبی نسبت به کشت سیب‌زمینی بهاره و تابستانه که دارای نیاز آبی بالا و هزینه بیشتر است، کاربردی‌تر است.

بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق مصرف انرژی به ازای هر واحد محصول برای نظام‌های زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۴/۸۴ و ۱/۷۵ مگاژول می‌باشد. انرژی خالص تولیدی که نشان‌دهنده اتلاف کمتر انرژی است در گندم آبی معادل ۶۴۸۶۵/۲۴ و در سیب‌زمینی ۹۲۶۸۲/۲۷ مگاژول در هکتار است که نشان‌دهنده استفاده بهتر از انرژی در نظام زراعی سیب‌زمینی است. افزایش عملکرد با انرژی خروجی در سیب‌زمینی به دلیل خصوصیات بوم‌شناختی تولید این گیاه سبب برتری این شاخص در کشت سیب‌زمینی در مقایسه با گندم آبی شده است. بطور کلی افزایش انرژی خروجی نسبت به انرژی ورودی موجب افزایش این شاخص می‌گردد. مقایسه درصد کل انرژی ورودی در دو نظام زراعی گندم آبی و سیب‌زمینی نشان داد که در نظام کشت سیب‌زمینی در مقایسه با کشت گندم آبی بخش اعظمی از میزان انرژی ورودی به میزان مصرف بذر و کود شیمیایی بویژه نیتروژن و آب مربوط می‌باشد. به دلیل مصرف زیاد انرژی ورودی و وابستگی نظام تولید سیب‌زمینی به استفاده بیشتر از انرژی‌های کمکی،

سیاس‌گذاری

انجام گردید. بابت این همکاری سپاس‌گذاری می‌شود.

این تحقیق با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه لرستان

References

- Akcaoz, H., Ozcatalbas, O. and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7, pp.475-480.
- Ayneband, A. 2015. Ecology Agricultural Systems (new edition) Shahid Chamran University Press Ahvaz- Iran, 661, pp.42-46. [In Persian].
- Azizi, K. and Heidari, S. 2013. Comparative study on energy balance and economical indices in irrigated and dry land barley production systems. *Journal Environmental Science and Technology*, 10, pp.1019c028. **doi.org/10.1007/s13762-012-0157-0**
- Banaeian, N., Omid, M. and Ahmadi, H. 2010. Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. *Energy Conversion and Management*, 52(2), pp.1020-1025. [In Persian]. **doi: 10.1016/j.enconman.2010.08.030**
- Cochran, J. 2003. Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama a thesis submitted to McGill University. *McGill University, Montreal, Canada*, pp.1-114.
- Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H. and Soltani, A. 2015. Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. *Environmental Sciences*, 13(1), pp.53-66. [In Persian].
- Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O. and Erdal, H. 2007. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy*, 32, pp.1873-1881. **doi: 10.1016/j.renene.2006.07.005**
- Ghaderzadeh, H. and Pirmohamediani, Z. 2019. Investigation of energy efficiency in potato production in Hamadan province. *Journal of Agricultural Economics Research*, 11(2), pp.167-202. [In Persian].
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S. and Aghel, H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat productionsystems. *Applied Energy*, 88, pp.283-288. **doi: 10.1016/j.apenergy.2010.04.028**
- Kaltsas, A., Mamolos, A., Tsatsarelis, C., Nanos, G. and Kalburtji, K. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 122(2), pp.243-251. **doi: 10.1016/j.agee.2007.01.017**
- Kazemi, H., Shahbyki, M. and Baghbani, S. 2015. Energy analysis for faba bean production: A case study in Golestan province, Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 3, pp.15-20. **doi: 10.1016/j.spc.2015.07.004**
- Kizilaslan, H. 2009. Input- output energy analysis of cherries production in Tokat province of Turkey. *Applied Energy*, 86(7-8), pp.1354-1358 **doi: 10.1016/j.apenergy.2008.07.009**
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Mousavi Avval, S.H. and Rafiee, H. 2011. Energy efficiency improvement and input cost saving in kiwifruit production using Data Envelopment Analysis approach.

- Renewable Energy*, 36(9), pp.2573-2579. doi: **10.1016/j.renene.2010.10.036**
- Ozkan, B., Fert, C. and Karadeniz, C.F. 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, 32, pp.1500-1504. doi: **10.1016/j.energy.2006.09.010**
- Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. 2012. The relationship between energy inputs and crop yield in greenhouse basil production. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 14, pp.1243-1253. doi: **20.1001.1.16807073.2012.14.6.5.5**
- Rajabi Hamedani, S., Shabani, Z. and Rafiee, S. 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, 36, pp.2367-2371. doi: **10.1016/j.energy.2011.01.013**
- Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeynali, E. and Soltani, E. 2012. Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 19(3), pp.143-171. [In Persian]. doi: **20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9**
- Rezaei, P., Naderi, M.K., Karimi, S. and Shanazi, K. 2019. Environmental sustainability assessment of farming system using ecological footprint analysis (case study: potato and cucumber cultivation in Sofalgaran district of Bahar County). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2), pp.53-66. [In Persian].
- Shahhoseini, H.R., Ramrodi, M. and Kazemi, H. 2020. Evaluating and comparing the sustainability of autumn and spring potato agroecosystems using energy analysis (case study: Golestan province). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, 30(4), pp.265-279. [In Persian]. doi: **10.22034/saps.2020.12316**
- Shahhoseini, H.R., Ramrodi, M. and Kazemi, H. 2021. Economic analysis and evaluating the sustainability of potato production based on greenhouse gas emissions (case study: Golestan Province). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, 31(3), pp.295-311. [In Persian]. doi: **10.22034/saps.2021.39789.2488**
- Sheibani, S., Ghanbari, A., Asghari Pourchaman, M.R. and Abolpour, B. 2017. Determining the optimal water use efficiency in wheat production sustainability. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(2), pp.1-18. [In Persian].
- Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L. and Singh, A. 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy*, 32, pp.1848-1854.
- Soltani, A., Maleki, M.H.M. and Zeinali, E. 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. *International Journal of Plant Production*, 8(4), pp.587-604. [In Persian]. doi: **10.22069/ijpp.2014.1726**
- Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R. and Karimi, M. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. *Energy*, 34, pp.41-45. doi: **10.1016/j.energy.2008.09.023**
- Tipi, T., Cetin, B. and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2), pp.352-356.
- Tzivilakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A. and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emission in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2), pp.101-119. doi: **10.1016/j.agry.2004.07.015**

- Unakitan, G. and Aydin, B. 2018. A comparison of energy use efficiency and economic analysis of wheat and sunflower production in Turkey: a case study in Thrace Region. *Energy*, 149, pp.279-285. **doi: 10.1016/j.energy.2018.02.033**
- Yaqoubi, F., Jami Al-Ahmadi, M., Bakshi, M.R. and Sayari Zahan, M.H. 2015. Comparison of technical and economic efficiency indicators of water consumption in wheat and saffron production in Qaenat city. *Saffron Agronomy & Technology*, 3(4), pp.225-236. [In Persian].
- Yasari, E., Dastan, S. and Yadi, R. 2018. Evaluation of CO2 emission caused by energy consumption of local rice cultivars in Mazandaran province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), pp.191-206. [In Persian].
- Zahedi, M. and Eshghizadeh, H.R. 2014. Energy use efficiency and economical analysis in cotton production system in an arid region: A case study for Isfahan province, Iran. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4, pp.43-52.
- Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R. and Mondani, F. 2015. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. *Journal of Crop Production and Processing*, 17(5), pp.181-191. [In Persian]. **doi: 10.18869/acadpub.jcpp.5.17.181**
- Zangeneh, M., Omid, M. and Akram, A. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*, 35, pp.2927-2933. **doi: 10.1016/j.energy.2010.03.024**

Evaluation of energy efficiency and ecological productivity of wheat and potato agroecosystem ecosystems in Borujerd city, Lorestan province

Leila Rahimi¹, Khosro Azizi^{*2}, Dariush Goodarzi², Mashallah Daneshvar², Saeed Heidari²

¹ MSc Graduate of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran

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

*Corresponding Author: azizi.kh@lu.ac.ir

Received: 28 June 2022

Accepted: 29 August 2022

DOI: 10.22034/CSRAR.2023.349325.1252

Abstract

Introduction: This study was carried out to assess and compare to energy, management of resources, especially water and increase the efficiency of irrigated wheat and potato. With the increase in population and the limitations of production resources in the future, it will be difficult to access energy sources in sufficient quantity. Efficient use of agricultural energy is one of the important factors in achieving sustainable agriculture. Sustainability is one of the main components of agricultural production that leads to food security and utilization of production resources for present and future generations. The efficiency and stability of crop systems vary according to the type of input energy management. The study was conducted to evaluate and compares the course of energy, the productivity of resources, especially water, and increases in the efficiency of irrigated wheat and potato agroecosystems.

Materials and Methods: At present, in most conventionally managed crop ecosystems, the share of indirect, non-renewable and commercial energy was higher than direct, renewable and non-commercial energy... This research was conducted in the crop years of 2017 in Borujerd city, Lorestan province, in the geographical location of 34° 1' N latitude and 48° 4' E longitude. The data used in this study are collected by questionnaire. The number of samples was determined by Cochran formula. Accordingly, 130 irrigated wheat farms and 60 potato farms were selected by stratified random sampling method. In order to calculate the energy equivalent of inputs and outputs in the two canopies of irrigated wheat and potato crop system, first the most important inputs and outputs and their energy equivalent in the two canopies of the system were determined. Then, the equivalent of each input energy as well as output was calculated by multiplying its raw value by the corresponding energy conversion factor, the input energy input and the water flow rate in the two potato and irrigated wheat cropping systems.

Results and Discussion: The total amount of input energy were in potato (92645.73 MJ ha⁻¹) and in irrigated wheat (45215.33 MJ ha⁻¹). In terms of electricity, fossil fuel, chemical fertilizers and irrigation water, the potato agroecosystem had the highest amount of energy consumption. The consumption of non-renewable and indirect energy from the total input energy was high in both agroecosystems, especially potato cultivation showed more dependence on these input energies. This can indicate the instability of the potato agroecosystem compared to irrigated wheat. The amount of net energy index in the potato cropping system is higher than that of irrigated wheat, and indicates lower energy loss in potato cultivation. But because of the higher energy consumption efficiency in irrigated wheat compared to potato cultivation, this indicates the greater than of efficiency of the irrigated wheat farming system in converting input energy into available energy for yield.

Conclusion: Production systems should not be used for more than of their capacity in order to generate high revenue. As energy input increases, energy efficiency decreases. Proper and efficient use of available resources increases the sustainability of production. Therefore, conventional potato

production is not sustainable in terms of energy consumption, because a very high percentage of consumption inputs in the potato production are non-renewable energies.. The consumption of non-renewable and indirect energy from the total input energy was high in both agroecosystems. The amount of net energy index in the potato cropping system is higher than that of irrigated wheat, and indicates lower energy loss in potato cultivation. This can indicated the instability of the potato Therefore it is suggested the cultivation of irrigated wheat, which was more stable, to the farmers of the region. Therefore, autumn irrigated wheat cultivation is more practical than spring and summer potato cultivation, which has a high water requirement and higher cost.

Keywords: Energy efficiency, Fossil fuels, Out puts, Renewable and non-renewable energies, Sustainability of cultivation system

Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 5, No. 3, Winter 2023

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 forage yield, water-use efficiency and drought tolerance of Persian clover genotypes	721
---	------------

Mohammad Zamanian; Farid Golzardi

Effects of saline water and foliar application of chelate and nano zinc oxide on yield and growth indices in barley cultivars	741
--	------------

Mehrdad Mahlooji; Raouf Seyed Sharifi; Abbas Nasiri Dehsorkhi

Evaluation of energy efficiency and ecological productivity of wheat and potato agroecosystem ecosystems in Borujerd city, Lorestan province.	761
--	------------

Leila Rahimi; Khosro Azizi; Dariush Goodarzi; Mashallah Daneshvar; Saeed hydari



- The effect of chemical and biofertilizer on the nutrient concentration of root, shoot and seed of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress** 539
Mohammad Mirzaei Heydari; Amin Fathi; Roghayeh Atashpikar
- Effect of foliar application of 6-benzylaminopurine and pix on growth characteristics and yield of delayed transplanting cotton (*Gossypium hirsutum* L.)** 555
Dariush Saadati; Matin Jami Moeini; Mohammad Armin
- The effect of sowing date and animal manure application on some growth traits of yarrow (*Achillea millefolium* L.) under climatic conditions of Kermanshah** 575
Maryam Darabi; Farzad Mondani; Masoomeh Amerian
- Response of some sesame genotypes to drought stress in Mehran climate** 591
Zahra Tahmasebi; Hossein Mohammadi Dehballae; Maryam Mahmoodi
- Evaluation of EDTA and PIOA chelates for phytoremediation of cadmium contaminated soils by Morale (*Chenopodium album* L.)** 605
Mohadeseh Jahantigh; Mehdi Dahmardeh; Ahmad Gholamalizadeh; Somayeh Shahraki; Issa Khammari
- The effect of compost obtained from the contents of sheep rumen and humic acid on some physical, chemical, and biological properties of soil and yield of turnip plant (*Brassica rapa*)** 619
Musa al-reza Taheri; Ali Reza Astaraci; Hojat Emami
- Investigation of symbiosis effect of different species of mycorrhiza on growth and phytochemical indices of *Calotropis procera* Ait.** 635
Marziyeh Nouri; Mahmood Soluki; Abdolrahman Rahimian Boogar; Mehdi Aran; Zeynab Mohkami
- The effect of foliar application of ascorbic acid and calcium on the morpho-physiological characteristics of guar under drought stress conditions** 655
Nezamuddin Hossieni Nejad; Masoud Ziaei; Alireza Einali
- Identification of drought-tolerant genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) based on selection indices** 671
Shahin Ghavidel; Alireza Pour-Aboughadareh; Khodadad Mostafavi
- Mapping genomic regions controlling agronomic characteristics of doubled haploid population of barley under normal and salinity stress conditions** 689
Moussa khammari; Mahmoud Solouki; Barat Ali Fakheri; Reza Aghnoum; Nafiseh Mahdinezhad; Leila Mehravaran
- Study of comparison of organic and chemical fertilizers on growth characteristics and yield of cucumber (*Cucumis sativus* cv. Super Dominus)** 707
GhorbanAli Asadi; Soroor Khorramdel; Mohammad Hassan Hatefi Farajian; Ali Momen

The list is continued on the back cover.....