

- ۴۶۳ مقایسه دو سیستم کشت نیمه سنتی و مکانیزه برنج با استفاده از شاخص های انرژی و اقتصادی (مطالعه موردی: شهرستان دورود)
مرضیه هادی فرد، خسرو عزیزی، سجاد رحیمی مقدم، حامد عینی نرگسه
- ۴۷۹ اثر مواد محرک رشد بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی گندم در شرایط تنش خشکی
رضا سلیمانی، فریدون نورقلیپور
- ۴۹۳ اثر کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه، برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)
محمد جباری اورنج، حسین مقدم، محمد رضا جهانسوز، علی احمدی، بابک متشرع زاده
- ۵۰۷ ارزیابی تنوع و مقایسه عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی در ژنوتیپ های ارزن معمولی در شرایط آب و هوایی بیرجند
علی آذری نصرآباد، اردلان مهرانی، رضا عطایی، اسدالله نخعی
- ۵۱۹ اثرات تنش شوری بر ویژگی های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ و ریشه در مرحله رویشی دو رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)
نسرین شیرزادی، مریم نصراصفهانی، سیف الله بهرامی کیا، حامد خدیاری
- ۵۴۱ اثر کاربرد تلفیقی مایکوریزا با ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی بر تولید ریشه و بذر شیرین بیان و کارایی زراعی کوددهی
محدثه شهداد نژاد، غلامرضا خواجهی نژاد، قاسم محمدی نژاد، جلال قنبری
- ۵۶۱ تاثیر ژنولیت بر کاهش شوری آب چاه و رشد گیاه ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) در مناطق خشک
شهرام ریاحی نیا، زهرا رضانی، زهرا دانایی پور
- ۵۷۵ بررسی امکان تعیین تاریخ مناسب برداشت چغندر قند با استفاده از برخی صفات کمی و کیفی ریشه در مزرعه
محمدعلی جواهری
- ۵۹۳ بیوپچار و کاهش اثرات منفی آبیاری با آب شور در خاک های زراعی لوم و لوم شنی در دشت سیستان
احسان سالاری، معصومه دلبری، عبدالرحمن رحیمیان بوگر، پیمان افراسیاب
- ۶۰۷ عوامل موثر بر کارایی استفاده از بارندگی ژنوتیپ های گندم و جو دیم
علیرضا خدانشناس

- ۶۲۷ واکنش گیاه حنا (*Lawsonia inermis* L.) به محرک‌های رشدی اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید تحت تنش خشکی
- فرامرز چمنی، حسن فرح بخش، امین پسندی پور
- ۶۳۹ اثر میزان بذر و زمان برداشت بر عملکرد علوفه و برخی خصوصیات زراعی دو رقم سورگوم
- احمد قاسمی، محمد رضا اصغری پور، علی شهرکی
- ۶۵۳ بررسی کارآیی مصرف نور و عملکرد هیبریدهای مختلف ذرت در شرایط حذف برگ و بلال
- اسحاق حجتی پور، حمیدرضا میری، برمک جعفری حقیقی، حمیدرضا ابراهیمی، عبدالرضا جعفری
- ۶۷۱ تاثیر بیوچار بر برخی صفات زراعی و عملکردی ارقام جو (*Hordeum vulgare*)
- کوثر شیخی، آرش فاضلی، محمد سلیمان بیگی

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴

این نشریه که با همکاری انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و انجمن علمی دانش کشاورزی گرمسیری ایران منتشر می‌گردد بر اساس آیین نامه نشریات علمی مصوب ۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۳ موفق به کسب رتبه الف شده است و در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) نیز نمایه می‌شود.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه زابل

سردبیر: 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: ۰۵۴)۳۱۲۳۲۱۰۲، فاکس: ۰۵۴)۳۱۲۳۲۱۰۰

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 2007 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. **واژه‌های کلیدی:** باید بین ۴ تا ۶ واژه که در دسته‌بندی موضوع مقاله کمک می‌نماید باشد. واژگان گزیده شده نباید در عنوان مقاله وجود داشته باشند و باید بر اساس حروف الفبا مرتب گردند.

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

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

مواد و روش‌ها: بایستی به مشخصات منطقه آزمایش و کلیه مواد، روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در آزمایش به‌طور شفاف اشاره شود. در صورتی که یک روش از منبعی گرفته شده باشد، فقط به ذکر منبع اکتفا شود. نام دستگاه‌های مورد استفاده کاملاً ذکر شود. همچنین محل تهیه بذر، تاریخ کاشت و برداشت نیز نوشته شوند. فرمول‌ها و روابط می‌بایست شماره‌گذاری شوند و شماره آنها در متن ذکر گردد. از به کار بردن اصطلاح‌هایی مانند "فرمول زیر" یا "رابطه زیر" خودداری شود.

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

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

جداول و اشکال می‌بایست در جای مناسب در داخل متن اصلی مقاله قرار داده شوند و به‌طور 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. **نتیجه‌گیری کلی:** این بخش به‌صورت 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 منافعی 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 کروشه) از عبارت [In Persian] استفاده شود. در ضمن در انتهای هر منبع آدرس doi و یا dor نیز ارائه گردد.

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

Ferrari, E.D., Ferreira, V.A., Grassi, E.M., Picca, A.M.T. and Paccapelo, H.A., 2018. Genetic parameters estimation in quantitative traits of a cross of triticale (*X Triticosecale* W.). *Open Agriculture*, 3(1), pp.25-31. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0003>

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

واژه‌های کلیدی بر اساس حروف الفبا مرتب شوند و حرف اول کلمات به صورت حرف بزرگ باشد. تاریخ‌های 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 آرایه 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.

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropsceince.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 463-477

Comparison of two semi-traditional and mechanized rice farming systems using energy and economic indices (case study: Dorud county)

Marzieh Hadifard ^a, Khosro Azizi ^a, Sajjad Rahimi-Moghaddam ^{*a}, Hamed Eyni-Nargeseh ^b

^a Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran

^b Department of Agricultural Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

*Corresponding Author: rahimi.s@lu.ac.ir

Received: 11 March 2024

Accepted: 20 August 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.389574.1330

How to cite this article:

Hadifard, M., Azizi, K., Rahimi-Moghaddam, S. and Eyni-Nargeseh, H., 2025. Comparison of two semi-traditional and mechanized rice farming systems using energy and economic indices (case study: Dorud County). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 463-477.

<https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.389574.1330>

Abstract

Introduction: Today, agriculture is one of the main consumers of energy in the world. Due to the limitations of energy resources and the growing trend of the world population, the importance of studying energy in the agricultural sector becomes apparent. Analyzing energy input flows to agricultural systems can improve energy use efficiency by understanding more details about inputs and their contribution in total energy input to the farm.

Materials and Methods: The present research aimed to analyze energy and economic indicators in semi-traditional and mechanized rice farming systems in Durood County, Lorestan Province, in 2022. The data used in this study were obtained using a questionnaire and face to face in the studied region. In this research, different energy indicators (net energy, energy efficiency, energy consumption efficiency, specific energy, and water efficiency) and economic indicators (total production cost, gross income, net income, and income-cost ratio) were used to compare the energy flow in two systems of semi-traditional and mechanized rice cultivation.

Results and Discussion: The results showed that the total energy input entering the semi-traditional and mechanized farming systems was calculated as 139666.34 and 136228.19 MJ ha⁻¹, respectively. The highest amount of energy use in the semi-traditional and mechanized systems is related to fossil fuel (65.96 and 66.49%), irrigation water (17.17 and 16.62%), and nitrogen fertilizer (10.97 and 10.97%), respectively. The results of this research showed that in both semi-traditional and mechanized farming systems, the share of direct energies was significantly higher than indirect energies, which was due to the excessive use of resources such as human labor, fossil fuel, and irrigation water. In addition, non-renewable energies also made up about 80% of the input energies entering the semi-traditional and mechanized farming systems in Durood county, while the share of renewable energies was calculated to be about 20%. The higher share of non-renewable energies can be attributed to the excessive use of chemical fertilizers (nitrogen, phosphorus, and potash), fossil fuels, pesticides, herbicides, and fungicides. The results of the analyzing energy indicators revealed that the amounts of net energy, energy productivity, energy use efficiency, and specific energy in the semi-traditional farming system were equal to 11381.66 MJ ha⁻¹, 0.04 kg MJ⁻¹, 1.08, and 22.92 MJ ha⁻¹.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

¹, while they were calculated as 29419.81 MJ ha⁻¹, 0.05 kg MJ⁻¹, 1.22 and 21.49 MJ ha⁻¹ in the mechanized farming system, respectively. Moreover, the water use efficiency was equal to 0.248 and 0.285 kg m³ in semi-traditional and mechanized systems, respectively. The net income in the mechanized farming system (989714780 Rials) was higher than the net income obtained from the semi-traditional rice farming system (813695300 Rials) due to the higher economic performance of grain and straw. The income-to-cost ratio was also higher in the mechanized system than in the semi-traditional system, indicating more income per unit of cost in the mechanized system.

Conclusion: Altogether and according to the findings of this research, the mechanized cultivation method was superior as compared with the semi-traditional rice cultivation method based on economic and energy indicators. It is suggested that in order to increase the share of renewable energies and increase the energy use efficiency in both mechanized and semi-traditional systems, farmers should use less fossil fuel for irrigating the fields by using irrigation water based on the plant's irrigation requirement.

Keywords: Energy use efficiency, Fossil fuel, Irrigation water, Renewable energies, Seed yield

مقایسه دو سیستم کشت نیمه سنتی و مکانیزه برنج با استفاده از شاخص های انرژی و اقتصادی (مطالعه موردی: شهرستان دورود)

مرضیه هادی فرد^۱، خسرو عزیزی^۱، سجاد رحیمی مقدم^{۲*}، حامد عینی نرگسه^۲

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۲- گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: rahimi.s@lu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.389574.1330

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱

چکیده

با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان، اهمیت مطالعات انرژی در بخش کشاورزی روبه افزایش است. این تحقیق در سال ۱۴۰۱ به منظور مقایسه دو سیستم کشت نیمه سنتی و مکانیزه برنج در شهرستان دورود با استفاده از شاخص های انرژی و اقتصادی انجام شد. بدین منظور، از شاخص های مختلف انرژی (انرژی خالص، بهره وری انرژی، کارایی مصرف انرژی، انرژی مخصوص و کارایی مصرف آب) و اقتصادی (کل هزینه های تولید، درآمد ناخالص، درآمد خالص و نسبت سود به هزینه) استفاده شد. میزان کل انرژی ورودی به سیستم های کشت نیمه سنتی و مکانیزه به ترتیب ۱۳۹۶۶۶/۳۴ و ۱۳۶۲۲۸/۱۹ مگاژول در هکتار بود. بیشترین میزان مصرف انرژی در سیستم های نیمه سنتی و مکانیزه به ترتیب مربوط به سوخت فسیلی (۶۵/۹۶ و ۶۶/۴۹ درصد)، آب آبیاری (۱۷/۱۷ و ۱۶/۶۲ درصد) و کود نیتروژن (۱۰/۹۷ و ۱۰/۹۴ درصد) بود. میزان انرژی خالص، بهره وری انرژی، کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در سیستم کشت نیمه سنتی برابر ۱۱۳۸۱/۶۶ مگاژول بر هکتار، ۰/۰۴ کیلوگرم بر مگاژول، ۱/۰۸ و ۲۳/۹۲ مگاژول در هکتار بود. این در حالی بود که در سیستم کشت مکانیزه این مقادیر برابر ۲۹۴۱۹/۸۱ مگاژول بر هکتار، ۰/۰۵ کیلوگرم بر مگاژول، ۱/۲۲ و ۲۱/۴۹ مگاژول در هکتار بدست آمد. درآمد خالص در سیستم های کشت مکانیزه و نیمه سنتی برابر ۹۸۹۷۱۴۷۸۰ و ۸۱۳۶۹۵۳۰۰ ریال بدست آمد. روی هم، روش کشت مکانیزه بر اساس شاخص های اقتصادی و انرژی نسبت به روش کشت نیمه سنتی برنج برتر بود. برای افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر و کارایی مصرف انرژی نیز می توان با آبیاری بر اساس نیاز گیاه و کاهش سوخت فسیلی برای آبیاری مزارع به این مهم دست یافت.

واژه های کلیدی: آب آبیاری، سوخت فسیلی، عملکرد دانه، کارایی مصرف انرژی

مقدمه

حداقل رساند و در جهت اهداف کشاورزی پایدار حرکت کرد

(Kizilaslan, 2009).

به منظور تولید محصولات کشاورزی برخی از نهاده های ورودی به بوم نظام ها مانند سوخت فسیلی، الکتریسیته، ماشین آلات، انواع کودها و سموم شیمیایی، نیروی انسانی و بذر بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی را به خود اختصاص می دهند (Soni et al., 2021). انرژی های ورودی در سیستم های زراعی به چهار گروه انرژی های مستقیم، غیر مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می شوند (Kazemi et al., 2015). این تقسیم بندی ها یکی از روش های متداول برای تجزیه و تحلیل جریان انرژی و اثرات محیط زیستی بوم نظام های تولیدی است (Vahedi and Zarifneshat, 2021) و در نهایت می توان به این مهم دست یافت که چه مقدار از انرژی ورودی به طرز موثری مورد استفاده قرار گرفته

تولید محصولات کشاورزی و به دنبال آن تأمین امنیت غذایی برای همه افراد هر جامعه یکی از چالش های مهم در بخش کشاورزی به شمار می رود و برای نیل به این هدف، حفظ منابع محیطی مانند زمین و آب از یک سو و اثرات محیط زیستی کمتر از سوی دیگر باید مورد توجه کافی قرار گیرند (Mohammadzadeh et al., 2017). در همین زمینه، افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی برای تولید بیشتر و محدودیت منابع انرژی مباحث مهمی هستند که توجه محققین را به خود جلب کرده اند. موازنه انرژی زمانی آغاز شد که انسان به محدودیت در منابع سوخت های فسیلی پی برد و به همین دلیل برنامه ریزی ها برای مصرف بهینه آنها در بخش های مختلف افزایش یافت (Platis et al., 2019). مشکلات محیط زیستی را می توان از طریق استفاده مطلوب از انرژی در بخش کشاورزی به

است (Htwe *et al.*, 2021).

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در دنیا است که تولید سالانه آن بیش از ۵۰۰ میلیون تن می‌باشد (FAO, 2021). سطح زیر کشت و تولید برنج کشور در آخرین گزارش وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به ترتیب معادل ۶۵۰ هزار هکتار و ۳/۰۳ میلیون تن بوده است و استان لرستان با سطح زیر کشت حدود ۸ هزار هکتار مقام ششم را در بین استان‌های تولید کننده برنج به خود اختصاص داده است (Ministry of Agriculture Jihad, 2021). در شالیزارهای سراسر کشور، شیوه‌های کشت بسته به منطقه و شرایط موجود مانند دسترسی به ماشین‌آلات کشاورزی و نیروی کارگری متفاوت است. انواع روش‌های کشت به‌طور قابل توجهی بر جریان انرژی‌های ورودی و خروجی به مزرعه تأثیر می‌گذارند (Soni *et al.*, 2018; Sharifi *et al.*, 2021). برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با افزایش سطح مکانیزاسیون و استفاده نامناسب از کودهای شیمیایی، کارایی مصرف انرژی در مقایسه با سیستم‌های سنتی‌تر کاهش می‌یابد (Tabatabaie *et al.*, 2013) در حالی که برخی دیگر (Pishgar-Komleh *et al.*, 2011) نشان‌دهنده بالاتر بودن کارایی مصرف انرژی در سیستم‌های مکانیزه است. یافته‌های حاصل از بررسی نظام‌های مختلف کشت ذرت با استفاده از شاخص‌های اقتصادی و انرژی نشان داد که سیستم خاک‌ورزی حداقل به همراه کود زیستی کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی بیشتری نسبت به سایر نظام‌های رایج داشت (Mazarei *et al.*, 2019). در پژوهشی دیگر دو سیستم نیمه سنتی و نیمه مکانیزه برنج از نظر جریان انرژی و اثرات محیط زیستی مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج این تحقیق نشان داد که میزان مصرف انرژی در سیستم نیمه سنتی حدود ۳۱ درصد بیشتر بود (Pourshirazi and Rasam, 2013). ارزیابی سه سیستم ارگانیک، کم‌نهاد و متداول برنج در استان مازندران با استفاده از شاخص‌های انرژی ارزیابی نشان از بالاتر بودن میزان انرژی ورودی به سیستم متداول (۶۰۲۲۵/۴۲ مگاژول بر هکتار) در مقایسه با سیستم ارگانیک (۱۸۶۶۲/۱۴ مگاژول بر هکتار) داشت (Saber *et al.*, 2022).

تجزیه و تحلیل جریان‌های ورودی انرژی به سیستم‌های کشاورزی می‌تواند از طریق آگاهی از جزئیات بیشتر مربوط به

هر ورودی و سهم آن‌ها در کل انرژی ورودی به مزرعه، زمینه را برای بهبود کارایی مصرف انرژی فراهم کند. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، برنج به‌عنوان یک محصول راهبردی، سهم بسزایی در تأمین امنیت غذایی کشور دارد؛ از طرفی با توجه به میزان مصرف انرژی زیاد برای تولید این محصول بخصوص در بخش آبیاری، نیروی انسانی و سوخت فسیلی لازم است در هر منطقه سیستم‌های کشت مختلف از نظر شاخص‌های انرژی و اقتصادی بررسی شده و بهینه‌ترین سیستم شناسایی شود. بر همین اساس و با توجه به اهمیت محصول برنج از نظر غذایی و همچنین منافع اقتصادی آن برای کشاورزان در استان لرستان، این مطالعه با هدف بررسی شاخص‌های انرژی و اقتصادی دو سیستم کشت برنج به‌صورت مکانیزه و نیمه‌سنتی در بوم‌نظام‌های برنج شهرستان دورود در استان لرستان و معرفی سیستم برتر از لحاظ شاخص‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ در شهرستان دورود واقع در استان لرستان انجام شد. شهرستان دورود در شرق استان لرستان واقع شده که مساحت آن حدود ۱۳۲۶ کیلومتر مربع است. این شهرستان از غرب به شهرستان خرم‌آباد، از شمال به شهرستان‌های بروجرد و شازند، از شرق به شهرستان ازنا و از جنوب به شهرستان الیگودرز متصل است و از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۹ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. برنج یکی از محصولات مهم شهرستان دورود است که پس از گندم و جو بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. برنج این شهرستان دورود به دو روش کشت نیمه‌سنتی (مرسوم) توسط کارگر به‌صورت دستی و مکانیزه با استفاده از دستگاه نشاء‌کار کشت می‌گردد. بر همین اساس تحقیق حاضر دو سیستم کشت نیمه‌سنتی و مکانیزه را با استفاده از شاخص‌های انرژی و اقتصادی مورد بررسی و تحلیل قرار داد.

همانگونه که قبلاً اشاره شد، برنج یکی از محصولات مهم در استان لرستان به‌شمار می‌رود و شهرستان دورود حدود نیمی از

انجام می شود. در سیستم مکانیزه عملیات کودپاشی با استفاده از کودپاش های پشت تراکتوری و سمپاشی علیه آفات، بیماری ها و علف های هرز با استفاده از سمپاش های پشت تراکتوری یا پهباد و در سیستم نیمه سنتی عملیات کودپاشی و سمپاشی علیه آفات، بیماری ها و علف های هرز به صورت دستی و توسط کارگر صورت می گیرد. برداشت نهایی در هر دو سیستم به طور تقریبی در اوایل مهر صورت می پذیرد؛ برای این منظور در هر دو سیستم از کمباین مخصوص برداشت برنج استفاده می شود. ادوات مورد استفاده در هر دو سیستم در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

سطح زیر کشت مزارع برنج را به خود اختصاص می دهد. در این شهرستان ارقام مورد استفاده در هر دو سیستم کشت، صدی و علی کاظمی هستند. عملیات آماده سازی زمین (مرزبندی، شخم، دوغاب، تسطیح) در سیستم نیمه سنتی با استفاده از مرزبند، گاو آهن برگردان سه خیش و لولر و در سیستم مکانیزه توسط مرزبند، گاو آهن برگردان شش خیش، چیزل و لولر صورت می پذیرد. در شهرستان دورود خزانه برنج حدوداً در نیمه اول اردیبهشت تهیه می شود و پس از ۳۰ الی ۳۵ روز نشاء های برنج به زمین اصلی منتقل می گردند. در کشت مکانیزه این عمل توسط نشاء کار و در سیستم نیمه سنتی توسط نیروی انسانی

جدول ۱- ماشین آلات مورد استفاده، ساعت کاری و سوخت مورد استفاده در دو سیستم نیمه سنتی و مکانیزه برنج

Table 1- Used machinery, hour working, and used fossil fuel in two semi-traditional and mechanized systems

مکانیزه			نیمه سنتی		
ادوات مورد استفاده	ساعت کاری	سوخت استفاده شده	ادوات مورد استفاده	ساعت کاری	سوخت استفاده شده
Used machinery	Hour working	Used fossil fuel (L)	Used machinery	Hour working	Used fossil fuel (L)
تراکتور فرگوسن			تراکتور فرگوسن		
Tractor Ferguson 285			Tractor Ferguson 285		
چیزل	2.51	16	گاو آهن برگردان	4.55	17.83
Chisel plow			Moldboard Plow		
روتاری	8.25	38.16	روتاری	8.23	37.74
Rotavator			Rotavator		
تسطیح کننده زمین	2.07	16.17	تسطیح کننده زمین	2.35	15.86
Land leveler			Land leveler		
مرزبند	8.12	48.23	مرزبند	8.22	48.34
Slider disk border			Slider disk border		
کودپاش پشت تراکتوری	2.43	14.58	خزانه	3.58	14.46
Tractor mounted fertilizer			Nursery		
سمپاش پشت تراکتوری	2.43	14.58	کمباین مخصوص برنج	8.30	96.96
Tractor mounted sprayer			Rice combine		
نشاء کاری	7.30	29.6			
Transplanting					
کمباین مخصوص برنج	8.14	96.80			
Rice combine					
مجموع	41.25	274.12		35.23	231.19
Total					

ورودی و خروجی موثر بر میزان انرژی ورودی و خروجی به هر دو سیستم مورد مطالعه جمع آوری شد. این اطلاعات شامل اطلاعات پایه (مساحت مزرعه و شیوه کشت)، تمام ورودی های مستقیم و غیر مستقیم انرژی (شامل: نیروی کارگری، ماشین آلات، کود نیتروژن، کود فسفر، کود پتاسیم، کود آلی، حشره کش، قارچ کش، علف کش، سوخت، الکتروسیته، آب آبیاری و بذر) و خروجی های انرژی (شامل: شلتوک، کاه و کلش) بود.

جامعه آماری و جمع آوری داده ها

در ابتدا و برای طراحی پرسشنامه و جمع آوری داده های مورد نیاز، اطلاعات مربوط به کاشت برنج از مرحله تهیه خزانه تا برداشت نهایی محصول با استفاده از منابع گوناگون شامل مطالعات کتابخانه ای، اطلاعات موجود در جهاد کشاورزی استان و منطقه و مصاحبه با برخی از کشاورزان برنج کار گردآوری شد. در ادامه، پرسشنامه ای طراحی گردید و تمامی جریان های

درصد برابر ۲/۵۸ است که در این مطالعه برابر با ۱/۹۶ بود. همچنین p نسبت برخورداری از صفت مورد نظر و q $(1-p)$ نسبت عدم برخورداری از صفت مورد نظر است که در این مطالعه مقدار p و q برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. با توجه به حجم جامعه آماری (۱۳۰۰ کشاورز برنج‌کار) تعداد ۲۹۶ پرسشنامه در بین کشاورزان توزیع و تکمیل شد. شایان ذکر است با توجه به برابر بودن کشاورزان برنج‌کار در هر دو سیستم، ۱۴۸ پرسشنامه برای سیستم کشت نیمه‌سنتی و ۱۴۸ پرسشنامه برای سیستم مکانیزه تکمیل شد.

جامعه آماری این پژوهش شامل تمامی برنج‌کاران شهرستان دورود بود و برای به دست آوردن حجم نمونه برنج‌کاران از معادله کوکران استفاده شده است:

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

در این معادله n حجم نمونه آماری، N حجم جامعه آماری، d اشتباه مجاز برابر با ۰/۰۵، Z مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان $1-\alpha$ است. در آزمون دو دامنه مقدار Z برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ و برای سطح اطمینان ۹۹

جدول ۲- معادل‌های انرژی برای ورودی‌های استفاده شده و خروجی‌های بدست آمده در سیستم‌های تولید برنج

Table 2- Energy equivalent for used inputs and obtained outputs in rice production systems

مقدار Value				
نوع Item	نیمه‌سنتی Semi-traditional	مکانیزه Mechanized	معادل انرژی Energy equivalent (MJ)	منبع Reference
ورودی Input				
نیروی کارگری (ساعت) Human labor (hr)	1100.95	982.14	1.96	Singh <i>et al.</i> , 1994
ماشین‌آلات (ساعت) Machinery (hr)	35.23	41.25	62.7	Singh and Mittal, 1992
سوخت دیزل (لیتر) Fossil fuel (L)	1635.99	1608.68	56.31	Mobtaker <i>et al.</i> , 2010
بذر (کیلوگرم) Seed (kg ha ⁻¹)	69.59	59.12	14.7	Ozkan <i>et al.</i> , 2004
آب آبیاری (متر مکعب) Irrigation water (m ³)	23507	22194.20	1.02	Acaroglu, 1998
علف‌کش (کیلوگرم ماده موثر) Herbicide (kg active ingredient)	0.20	0.21	238	Gundogmus, 2006
قارچ‌کش (کیلوگرم ماده موثر) Fungicide (kg active ingredient)	1.07	1.07	216	Pathak and Binning, 1985
حشره‌کش (کیلوگرم ماده موثر) Pesticide (kg active ingredient)	1.58	1.95	101.2	Erdal <i>et al.</i> , 2007
کودهای شیمیایی (کیلوگرم) Chemical fertilizers (kg)				
نیترژن (kg) Nitrogen (kg)	231.68	225.40	66.14	Ozkan <i>et al.</i> , 2011
فسفات (kg) Phosphorous (kg)	72.22	58.28	12.44	Ozkan <i>et al.</i> , 2011
پتاسیم (kg) Potassium (kg)	26.00	38.30	11.15	Ozkan <i>et al.</i> , 2011
گوگرد (kg) Sulfur (kg)	0.20	0.60	1.12	Singh <i>et al.</i> , 2002
کود آلی (کیلوگرم) Organic manure (kg)	4090	3620	0.3	Ozkan <i>et al.</i> , 2004
خروجی Output				
کاه (کیلوگرم) Straw (kg)	5216	5796	12.5	Ozkan <i>et al.</i> , 2004; Sayin <i>et al.</i> , 2005
شلتوک برنج (کیلوگرم) Rough rice (kg)	5840	6340	14.7	Ozkan <i>et al.</i> , 2004; Sayin <i>et al.</i> , 2005

مقادیر ورودی‌ها و همچنین خروجی‌های مربوط به دو سیستم نیمه‌سنتی و مکانیزه و ضرایب تبدیل آن‌ها بر حسب مگاژول بر هکتار در جدول ۲ ارائه شده است.

پس از محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی بر حسب یک واحد یکسان، شاخص‌های مختلف انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی مخصوص، انرژی خالص و کارایی مصرف آب با استفاده از معادلات زیر (جدول ۳) محاسبه شدند (Asgharipour et al., 2012):

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه شاخص‌های انرژی و اقتصادی

پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از کشاورزان با استفاده از پرسشنامه، این داده‌ها وارد صفحات اکسل شد. در این مرحله میزان هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها به ازای یک هکتار زمین زراعی محاسبه شد؛ با توجه به اینکه ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف یک بوم‌نظام دارای واحدهای متفاوت هستند و انجام مقایسات در این شرایط دشوار است، تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها از طریق ضرایب مخصوص به معادل انرژی آن‌ها تبدیل شد.

جدول ۳- شاخص‌های انرژی مورد استفاده و کارایی مصرف آب

Table 3- Used energy indicators and water use efficiency

شاخص Indicator	فرمول Formula
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency (EUE)	$EUE = \text{Total Output Energy (MJ ha}^{-1}) / \text{Total Input Energy (MJ ha}^{-1})$
بهره‌وری انرژی Energy productivity (EP)	$EP (\text{Kg MJ}) = \text{Crop output (Kg ha}^{-1}) / \text{Input energy (MJ ha}^{-1})$
انرژی مخصوص Specific energy (SE)	$SE (\text{MJ kg}^{-1}) = \text{Total Input Energy (MJ ha}^{-1}) / \text{Total main product yield (kg ha}^{-1})$
انرژی خالص Net energy (NE)	$NE (\text{MJ kg}^{-1}) = \text{Total output energy (MJ kg}^{-1}) - \text{Total input energy (MJ kg}^{-1})$
کارایی مصرف آب Water use efficiency (WUE)	$WUE (\text{kg m}^{-3}) = \text{Grain yield (kg)} / \text{Irrigation water (m}^3)$

(et al., 2012; Yilmaz et al., 2005; Azizi et al., 2023)

به منظور بررسی و تحلیل بهتر نظام‌های مختلف کشت برنج در شهرستان دورود شاخص‌های اقتصادی مختلفی شامل درآمد ناخالص، درآمد خالص، کل هزینه‌های تولید، و نسبت سود به هزینه استفاده شد (جدول ۴) (Asgharipour et al., 2012):

در ادامه سهم هر کدام از اشکال انرژی‌های ورودی به صورت مستقیم (نیروی انسانی، سوخت دیزلی و آب آبیاری)، غیرمستقیم (ماشین‌آلات، بذر، کودهای شیمیایی، کود حیوانی و آفت‌کش‌ها)، تجدیدپذیر (نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری و کود دامی) و تجدیدنپذیر (کودهای شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها) محاسبه و مورد ارزیابی واقع شدند (Asgharipour

جدول ۴- شاخص‌های اقتصادی مورد استفاده

Table 4- Used economic indicators

شاخص Indicator	فرمول Formula
درآمد ناخالص Gross income (GI)	$GI (\text{Rials ha}^{-1}) = \text{Rice yield (kg ha}^{-1}) \times \text{Rice price (Rials)}$
درآمد خالص Net income (NI)	$NI = \text{Gross value of production (Rials ha}^{-1}) - \text{Total cost of production (Rials ha}^{-1})$
کل هزینه‌های تولید Total cost of production (TCP)	$TCP = \text{Variable cost of production (Rials ha}^{-1}) + \text{Fixed cost of production (Rials ha}^{-1})$
نسبت سود به هزینه Income to cost ratio (ICR)	$ICR = \text{Gross value of production (Rials ha}^{-1}) / \text{Total cost of production (Rials ha}^{-1})$

نتایج و بحث

در جدول ۵ مقادیر جریان‌های انرژی ورودی و خروجی به هر دو سیستم کشت مکانیزه و نیمه‌سنتی برنج ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مجموع انرژی‌های ورودی به دو سیستم نیمه‌سنتی و مکانیزه به ترتیب معادل ۱۳۹۶۶۶/۳۴ و ۱۳۶۲۲۸/۱۹ مگاژول در هکتار بود. نتایج این تحقیق نشان داد بیشترین سهم در بین انرژی‌های ورودی به هر دو سیستم نیمه‌سنتی و مکانیزه با میانگین‌های ۶۵/۹۶ و ۶۶/۴۹ درصد متعلق به سوخت دیزلی بود. پس از آن نیز آب آبیاری با میانگین‌های ۱۷/۱۷ و ۱۶/۶۲ درصد و نیتروژن با میانگین‌های ۱۰/۹۷ و ۱۰/۹۴ درصد بیشترین سهم را در میان انرژی‌های ورودی به خود اختصاص دادند (جدول ۵). از آنجایی که نیاز آبی برنج در مقایسه با سایر محصولات زراعی بالا است و در منطقه مورد مطالعه برای آبیاری مزارع از پمپ‌های دیزلی با مصرف گازوئیل استفاده می‌شود، این ورودی بیشترین سهم را در بین مجموع انرژی ورودی به سیستم‌ها داشت. شایان ذکر است که بخش کوچکی از کل سوخت دیزلی مصرف شده در هر دو سیستم مورد بررسی مربوط به استفاده ماشین‌آلات در مراحل مختلف کاشت تا برداشت بود (به ترتیب ۱۴ و ۱۷ درصد برای نیمه‌سنتی و مکانیزه)، درحالی که سهم اصلی مصرف سوخت فسیلی در این بوم‌نظام‌ها به استخراج آب از رودخانه برای آبیاری مزارع تعلق داشت (به ترتیب ۸۶ و ۸۳ درصد برای نیمه‌سنتی و مکانیزه).

به‌طور کلی سوخت فسیلی یکی از ورودی‌های مهم در بوم‌نظام‌های کشاورزی است که مقدار مصرف آن به‌طور مستقیم به استفاده از ماشین‌آلات از کاشت تا برداشت و همچنین میزان و نحوه تأمین آب مورد نیاز محصولات بستگی دارد (Soni et al., 2020; Tavakoli Kakhaki and Ghodsi, 2018).

در همین زمینه در تحقیقی دو بوم‌نظام پاییزه و بهاره کشت سیب‌زمینی با استفاده از تحلیل انرژی مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج آن نشان داد که بیشترین سهم از انرژی‌های ورودی به هر دو نظام متعلق به سوخت فسیلی (حدود ۳۰ درصد) بود (Shahhoseini et al., 2021). نتایج حاصل از یک پژوهش دیگر در زمینه مقایسه سه سیستم متداول، کم‌نهاد و ارگانیک برنج در استان مازندران نیز نشان داد که سوخت فسیلی با میانگین ۴۳/۳۷، ۴۴/۵۶ و ۶۲/۸۹ درصد، بیشترین سهم را در

بین کل انرژی‌های ورودی به خود اختصاص داد (Saber et al., 2022). که با نتایج مطالعه جاری مطابقت دارد. انرژی خروجی حاصل از کاه و شلتوک برنج برای کشت مکانیزه بیشتر از کشت نیمه‌سنتی بود. در هر دو سیستم سهم انرژی شلتوک برنج بیشتر از کاه بود. انرژی‌های ورودی به هر دو سیستم به دسته‌های مستقیم و غیر مستقیم و همچنین تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر تقسیم شدند (جدول ۶). نتایج این تحقیق نشان داد که در هر دو سیستم نیمه‌سنتی و مکانیزه سهم انرژی‌های مستقیم به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از انرژی‌های غیر مستقیم بود که این موضوع به استفاده بیش از حد از منابعی مانند نیروی انسانی، سوخت دیزلی و آب آبیاری ارتباط دارد. علاوه بر این، انرژی‌های تجدیدنپذیر نیز حدود ۸۰ درصد از انرژی‌های ورودی به مزارع نیمه‌سنتی و مکانیزه شهرستان دورود را تشکیل دادند و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۲۰ درصد محاسبه شد (جدول ۶). بیشتر بودن سهم انرژی‌های تجدیدنپذیر را می‌توان به استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاس)، سوخت دیزل، آفت‌کش، علف‌کش و قارچ‌کش نسبت داد. از آنجایی که برنج نیاز آبی بالایی دارد و همان‌گونه که اشاره شد بخش عمده‌ای از سوخت فسیلی استفاده شده برای آبیاری مزارع بکار می‌رود و ناگزیر مصرف سوخت فسیلی در کشت برنج بالا می‌رود، می‌توان با کاهش در میزان سایر ورودی‌ها مانند کود نیتروژن و جایگزین کردن آن با کودهای آلی و همچنین مدیریت تلفیقی آفات، بیماری‌های و علف‌های هرز در سطح مزارع از میزان مصرف این دو متغیر مهم و تأثیرگذار بر میزان انرژی‌های تجدیدنپذیر کاست. همسو با یافته‌های این تحقیق، نتایج یک مطالعه از بررسی تحلیل انرژی سه سیستم کشت متداول، کم‌نهاد و ارگانیک برنج در استان مازندران حاکی از بیشتر بودن سهم انرژی‌های مستقیم و تجدیدنپذیر در مقایسه با انرژی‌های غیرمستقیم و تجدیدپذیر در هر سه سیستم مورد مطالعه بود (Saber et al., 2022). سهم بیشتر انرژی‌های مستقیم نسبت به انرژی‌های غیرمستقیم و همچنین انرژی‌های تجدیدنپذیر نسبت به انرژی‌های تجدیدنپذیر در بوم‌نظام‌های زراعی مختلفی مانند گندم، جو، کلزا، یونجه، ذرت علوفه‌ای و پنبه در دشت شریف‌آباد در استان تهران نیز گزارش شده است (Vafabakhsh and Mohammadzadeh, 2019).

جدول ۵- مقادیر ورودی و خروجی انرژی مصرف شده در سیستم‌های کشت مکانیزه و نیمه‌سنتی برنج در شهرستان دورود

Table 5- Input and output values of energy used in semi-traditional and mechanized rice farming systems in Dorud county

نوع Item	نیمه‌سنتی Semi-traditional (MJ ha ⁻¹)	درصد از کل Percentage of total	مکانیزه Mechanized (MJ ha ⁻¹)	درصد از کل Percentage of total
نیروی کارگری Human labor	2157.86	1.55	1924.99	1.41
ماشین‌آلات Machinery	2208.92	1.58	2586.38	1.90
سوخت دیزل Fossil fuel	92122.60	65.96	90584.77	66.49
بذر Seed	1022.97	0.73	869.06	0.64
آب آبیاری Irrigation water	23977.14	17.17	22638.08	16.62
علف کش Herbicide	47.60	0.03	49.98	0.04
قارچ کش Fungicide	230.90	0.17	230.90	0.17
حشره کش Pesticide	101.20	0.11	197.340	0.14
نیتروژن Nitrogen	15323.32	10.97	14907.96	10.94
فسفات Phosphorus	898.42	0.64	725.00	0.53
پتاسیم Potassium	289.90	0.21	427.05	0.31
گوگرد Sulfur	0.22	0	0.67	0
کود دامی Organic manure	1227.00	0.88	1086.00	0.80
کل انرژی ورودی Total input energy	139666.34	100	136228.19	100
کاه و کلش Straw	65200.00	43.17	72450.00	43.74
شلنوک برنج Rough rice	85848.00	56.83	93198.00	56.26
کل انرژی خروجی Total output energy	151048.00	100	165648.00	100

جدول ۶- سهم انرژی‌های مستقیم، غیر مستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در سیستم‌های کشت مکانیزه و نیمه‌سنتی برنج در شهرستان دورود

Table 6- Contribution of direct, indirect, renewable, non-renewable energies in semi-traditional and mechanized rice farming systems in Dorud county

نوع Item	نیمه‌سنتی Semi-traditional		مکانیزه Mechanized	
	انرژی Energy (MJ ha ⁻¹)	درصد از کل Percentage of total	انرژی Energy (MJ ha ⁻¹)	درصد از کل Percentage of total
مستقیم* Direct*	118257.60	84.67	115147.85	84.53
غیر مستقیم* Indirect*	21408.75	15.33	21080.34	15.47
تجدیدپذیر Renewable	27157.98	20.32	25432.14	19.47
تجدیدناپذیر None-renewable	112508.37	79.68	110796.05	80.53

*انرژی‌های مستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت و حجم آب مصرفی بودند؛ انرژی‌های غیر مستقیم شامل بذر، ساعات کار ماشین‌آلات، علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش، کود نیتروژن، کود فسفر، کود پتاس، کود گوگرد و کود دامی بودند.

*Direct energies consisted of human labor, fossil fuel, and irrigation water. Indirect energies included seed, machinery working hours, herbicide, pesticide, fungicide, nitrogen, phosphorous, potassium, sulfate, and organic fertilizer.

فعالیت‌های به‌زراعی مانند استفاده دقیق بر اساس توصیه‌های متخصصین بخش کشاورزی از نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی، بذر و آب آبیاری می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف و جلوگیری از اتلاف انرژی، موجب افزایش عملکرد محصول و در نهایت افزایش انرژی خالص در مزرعه شود (Shahhoseini et al., 2021). در همین راستا در تحقیقی راندمان انرژی تولید سیب‌زمینی با روش‌های مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت و گزارش شد در مزارعی که بصورت مکانیزه آبیاری می‌شوند انرژی خالص بالاتری مشاهده می‌گردد (Karimi et al., 2019).

شاخص‌های انرژی مختلفی برای تجزیه و تحلیل دو بوم‌نظام نیمه‌سنتی و مکانیزه برنج استفاده شدند. انرژی خالص نشان‌دهنده بیان انرژی در یک سیستم است و مثبت بودن آن بر بیشتر بودن خروجی دلالت می‌کند. یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر بیانگر انرژی خالص بیشتر در سیستم کشت مکانیزه برنج در مقایسه با نیمه‌سنتی بود (جدول ۷). انرژی خالص بیشتر سیستم مکانیزه را می‌توان از یک سو با عملکرد دانه و کاه بیشتر مرتبط دانست و از سوی دیگر انرژی ورودی (نیروی کارگری، سوخت فسیلی، آب آبیاری، بذر، نیتروژن و فسفر) کمتری وارد این سیستم زراعی می‌شود. برخی از

جدول ۷- شاخص‌های مختلف انرژی و کارایی مصرف آب برای سیستم‌های کشت مکانیزه و نیمه‌سنتی برنج در شهرستان دورود

Table 7- Different energy indicators and water use efficiency for semi-traditional and mechanized rice farming systems in Dorud county

شاخص Indicator	نیمه‌سنتی Semi-traditional	مکانیزه Mechanized
انرژی خالص (مگاژول بر هکتار) Net energy (MJ ha ⁻¹)	11381.66	29419.81
بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول) Energy productivity (kg MJ ⁻¹)	0.04	0.05
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	1.08	1.22
انرژی مخصوص (مگاژول بر کیلوگرم) Specific energy (MJ kg ⁻¹)	23.92	21.49
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب) Water use efficiency (kg m ³)	0.248	0.285

انرژی بیانگر این است که به ازای مصرف هر واحد انرژی، چه مقدار انرژی تولید شده است. برای کشت برنج به روش مکانیزه، کارایی انرژی برابر ۱/۲۲ بود، در حالی که این مقدار در کشت نیمه‌سنتی برنج معادل ۱/۰۸ بدست آمد (جدول ۸). مقایسه این شاخص نشان می‌دهد که کشت مکانیزه از لحاظ کارایی مصرف انرژی که مهم‌ترین شاخص در ارزیابی انرژی سیستم‌های کشاورزی می‌باشد، نسبت به کشت نیمه‌سنتی کارا تر بود. از جمله دلایل این برتری را می‌توان استفاده کمتر سیستم مکانیزه از نیروی انسانی، سوخت دیزل، آب آبیاری، بذر، کودهای شیمیایی بخصوص نیتروژن و فسفر و همچنین عملکرد دانه بالاتر دانست. در همین راستا در مطالعه‌ای که در منطقه رامهرمز انجام شد، مقدار این شاخص برای محصول برنج به روش خشکه‌کاری و نشاء‌کاری به ترتیب ۱ و ۱/۲۵ بیان شده است (Attar et al., 2010). همچنین در تحقیقی دیگر در

بهره‌وری انرژی بیانگر مقدار عملکرد اقتصادی تولید شده به ازای مصرف هر واحد انرژی می‌باشد (Khan et al., 2009). بر اساس نتایج این مطالعه، بهره‌وری انرژی برای کشت مکانیزه بیش‌تر از کشت نیمه‌سنتی بدست آمد به‌طوری‌که میزان شلتوک تولید شده به ازای یک مگاژول انرژی ورودی به سیستم برای کشت مکانیزه ۰/۰۵ کیلوگرم (۵۰ گرم) و در کشت نیمه‌سنتی ۰/۰۴ کیلوگرم (۴۰ گرم) بود (جدول ۸). به عبارتی در کشت مکانیزه به ازای هر واحد انرژی مصرفی، عملکرد بیش‌تر و در کشت نیمه‌سنتی عملکرد کم‌تری حاصل شده است. نتایج تحقیقی در همدان روی سیب‌زمینی نشان داد که بهره‌وری انرژی (۰/۳۲ کیلوگرم بر مگاژول) در مزارعی با سطح مکانیزاسیون بالاتر بیشتر از مزارعی بود که سطح مکانیزاسیون پایین‌تری (۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول) داشتند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت. مقدار عددی کارایی مصرف

مصرف آب در سیستم‌های نیمه‌سنتی و مکانیزه برنج معادل ۰/۲۴۸ و ۰/۲۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود که دلیل بیشتر بودن کارایی مصرف آب در سیستم مکانیزه مصرف آب کمتر و عملکرد دانه بیشتر نسبت به کشت نیمه‌سنتی بود.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی نشان داد که عملکردهای اقتصادی دانه و کاه در سیستم مکانیزه بیشتر از سیستم نیمه‌سنتی بود (جدول ۸). درآمد خالص در کشت مکانیزه به دلیل عملکرد اقتصادی دانه و کاه بیشتری که در آن تولید شد بیشتر از درآمد خالص حاصل از کشت نیمه‌سنتی برنج بود. نسبت سود به هزینه نیز در سیستم مکانیزه بیشتر از سیستم نیمه‌سنتی بود که نشان‌دهنده درآمد بیشتر به ازای هر واحد هزینه در سیستم مکانیزه بود. به‌طور کلی برتری اقتصادی سیستم مکانیزه کشت برنج نسبت به سیستم نیمه‌سنتی را می‌توان در عملکرد دانه و کاه بیشتر و در نهایت منافع اقتصادی بیشتر برشمرد. در تحقیقی با مطالعه عوامل موثر بر توسعه مکانیزاسیون برنج در استان گیلان بر رفع موانع کشت مکانیزه برنج برای کاهش هزینه‌های تولید، افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش پایداری مزارع برنج استان گیلان تأکید شد (Yousefzadeh and Firouzi, 2016).

منطقه‌ی انزلی برای دو رقم بومی و پرمحصول برنج، به ترتیب کارایی مصرف انرژی معادل ۱/۶ و ۱/۸۱ بدست آمد (Boluki et al., 2010). شاخص انرژی مخصوص (ویژه) عکس شاخص بهره‌وری انرژی است و نشان می‌دهد که به ازای هر کیلوگرم دانه‌ی تولید شده، چه مقدار انرژی مصرف می‌شود. بنابراین هر چه مقدار این شاخص کم‌تر باشد، سیستم کشت مورد نظر بهره‌وری بالاتری در مصرف انرژی دارد. مقدار این شاخص برای کشت مکانیزه برنج ۲۱/۴۹ مگاژول بر کیلوگرم و برای کشت نیمه‌سنتی ۲۳/۹۲ مگاژول بر کیلوگرم به دست آمد (جدول ۸) که به‌نظر می‌رسد در مقایسه با سیستم‌های با بهره‌وری بالای انرژی، این اعداد بزرگ می‌باشند. دلیل این موضوع را می‌توان به عدم مدیریت صحیح در مصرف منابع ورودی نسبت داد که در نهایت به ازای هر کیلوگرم محصول، انرژی بیشتری مصرف شده است. مقایسه دو سیستم نیز از نظر میزان انرژی مخصوص نشان می‌دهد در سیستم مکانیزه به ازای هر کیلوگرم برنج تولید شده، انرژی کمتری مصرف شده است. در همین زمینه، با بررسی جریان انرژی ورودی به سه سیستم متداول، کم‌نهاد و ارگانیک برنج در استان مازندران گزارش شد که انرژی مخصوص برای این سه سیستم به ترتیب ۱۳/۰۵، ۸/۲۳ و ۵/۷۱ مگاژول بر کیلوگرم بدست آمد (Saber et al., 2022). در نهایت کارایی

جدول ۸- نتایج شاخص‌های اقتصادی برای سیستم‌های کشت مکانیزه و نیمه‌سنتی برنج در شهرستان دورود

Table 8- Results of economic indicators for semi-traditional and mechanized rice farming systems in Dorud county

شاخص Indicator	نیمه‌سنتی Semi-traditional	مکانیزه Mechanized
عملکرد اقتصادی دانه (ریال) Economic performance of seed (Rial)	3,184,950,000	3,451,850,000
عملکرد اقتصادی کاه (ریال) Economic performance of straw (Rial)	104,320,000	115,920,000
درآمد ناخالص (ریال) Gross income (Rial)	3,289,270,000	3,567,770,000
درآمد خالص (ریال) Net income (Rial)	813,695,300	989,714,780
کل هزینه‌های تولید (ریال) Total cost of production (Rial)	2,475,574,700	2,578,055,220
نسبت سود به هزینه Income to cost ratio	1.328	1.383

معادل ۱۳۹۶۶۶/۳۴ و ۱۳۶۲۲۸/۱۹ مگاژول در هکتار بود. بیش‌ترین میزان مصرف انرژی در سیستم‌های نیمه‌سنتی و مکانیزه به ترتیب مربوط به سوخت فسیلی (۶۵/۹۶ و ۶۶/۴۹

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این مطالعه نشان داد که کل انرژی ورودی برای تولید برنج در سیستم‌های کشت مکانیزه و نیمه‌سنتی به ترتیب

مصرف انرژی در هر دو سیستم مکانیزه و نیمه‌سنتی کشاورزان می‌توانند در کنار مصرف دقیق آب بر اساس نیاز آبی گیاه ضمن کاهش مصرف آب، سوخت فسیلی کمتری جهت آبیاری مزارع استفاده کنند. علاوه بر این مدیریت تلفیقی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاربرد کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی می‌تواند به افزایش کارایی استفاده از انرژی و پایداری مزارع برنج شهرستان دورود منجر شود.

سپاس‌گذاری

این مقاله بر اساس نتایج یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت حمایت دانشگاه لرستان می‌باشد.

درصد، آب آبیاری (۱۷/۱۷ و ۱۶/۶۲ درصد) و کود نیتروژن (۱۰/۹۷ و ۱۰/۹۴ درصد) بود. در هر دو سیستم، از مجموع انرژی‌های ورودی به مزارع، سهم انرژی‌های غیر مستقیم بیشتر از انرژی‌های مستقیم و انرژی‌های تجدیدناپذیر بیشتر از تجدیدپذیر بدست آمد. سیستم کشت مکانیزه برنج در شهرستان دورود از نظر تمامی شاخص‌های انرژی شامل انرژی خالص، بهره‌وری انرژی، کارایی مصرف انرژی، انرژی مخصوص و همچنین کارایی مصرف آب برتر از سیستم نیمه‌سنتی بود. بررسی شاخص‌های اقتصادی نیز نشان از برتری سیستم مکانیزه نسبت به سیستم نیمه‌سنتی داشت. در پایان بنظر می‌رسد برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و به‌دنبال آن افزایش کارایی

References

- Acaroglu, M., 1998. *Energy from biomass, and applications*. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey.
- Asgharipour, M.R., Mondani, F. and Riahinia, Sh., 2012. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. *Energy*, 44, pp.1078-1084. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.023>
- Attar, S., Sheikh Davoodi, M.J. and Almassi, M., 2010. Energy analysis two different rice production system in Khouzestan province east (A case study in Ramhormoz restrict). In *Proceedings of the 6th National Conference of Mechanic and Mechanization of Agricultural Machinery*, University of Tehran, Sep. 15–16, Karaj, Iran. [In Persian].
- Azizi, Kh., Rahimi, L., Goodarzi, D., Daneshvar, M. and Hydari, S., 2023. Evaluation of energy efficiency and ecological productivity of wheat and potato agroecosystem ecosystems in Borujerd city, Lorestan province. *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(3), pp.761–774. <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.349325.1252>
- Boluki, M.S., Keyhani, A. and Rafiee, Sh., 2010. Energy consumption and economic analysis of rice paddy production; A case study of port Anzali. In *Proceedings of the 6th National Conference of Mechanic and Mechanization of Agricultural Machinery*, University of Tehran, Sep. 15–16, Karaj, Iran. [In Persian].
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H. and Gunduz, O., 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32, pp.35–41. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007>
- FAO., 2021. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Data*. www.fao.org
- Gundogmus, E., 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 47, pp.3351–3359. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.01.001>

- Htwe, T., Sinutok, S., Chotikarn, P., Amin, N., Akhtaruzzaman, M., Techato, K. and Hossain, T., 2021. Energy use efficiency and cost-benefits analysis of rice cultivation: A study on conventional and alternative methods in Myanmar. *Energy*, 214, 119104. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119104>
- Karimi, V., Sadrabadi Haghighi, R., Barzegar, A.B., Dargahi, M., 2019. Energy efficiency comparison of potato (*Solanum tuberosum* L.) production in different irrigation methods in Jolgeh Rokh Torbat Heidarieh region. *Journal of Agroecology*, 11 (3), pp.859-876. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.71190>
- Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Badsar, M. and Shahbyki, M., 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. *Energy*, 84, pp.390–396. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.005>
- Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A. and Mu, J., 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy input in food production. *Food Policy*, 34, pp.141–149. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.11.002>
- Kizilaslan, H., 2009. Input–output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*, 86, pp.1354–1358. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.009>
- MAJ [Ministry of Agriculture Jihad], 2021. *Agricultural statistics, 2020–2021, Volume 1*. <http://www.maj.ir/portal/home/>
- Mazarei, M., Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Siadat, S.A. and Dehdari, S., 2019. Assessment of yield and input-output energy and economic indicators in different tillage and fertilizer systems of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 11(2), pp.417–434. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.68001>
- Mobtaker, H. G., Akram, A., Keyhani, A. and Mohammadi, A., 2012. Optimization of energy required for alfalfa production using data envelopment analysis approach. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), pp.242–248. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.02.001>
- Mohammadzadeh, A., Damghani, A.M., Vafabakhsh, J. and Deihimfard, R., 2017. Assessing energy efficiencies, economy, and global warming potential (GWP) effects of major crop production systems in Iran: A case study in East Azerbaijan province. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, pp.16971–16984. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9253-5>
- Ozkan, B., Akcaoz, H. and Fert, C., 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29, pp.39–51. [https://doi.org/10.1016/s0960-1481\(03\)00135-6](https://doi.org/10.1016/s0960-1481(03)00135-6)
- Ozkan, B., Ceylan, R.F. and Kizilay, H., 2011. Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. *Renewable Energy*, 36, pp.1639–1644. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.022>
- Pathak, B.S. and Binning, A.S., 1985. Energy use pattern and potential for energy saving in rice–wheat cultivation. *Energy in Agriculture*, 4, pp.271–278. [https://doi.org/10.1016/0167-5826\(85\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0167-5826(85)90022-1)
- Pishgar-Komleh, S.H., Sefeedpari, P. and Rafiee, S., 2011. Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, 36, pp.5824–5831. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.044>

- Platis, D.P., Anagnostopoulos, C.D., Tsaoulas, A.D., Menexes, G.C., Kalburtji, K.L. and Mamolos, A.P., 2019. Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. *Sustainability*, 11, 1664. <https://doi.org/10.3390/su11061664>
- Pourshirazi, Sh. and Rasam, Gh., 2013. Investigation of environmental effects and energy use in rice production systems. In *The first national conference and specialized exhibition of environment, energy and clean industry*, 2 December, Tehran, Iran. [In Persian].
- Saber, Z., Esmaeili, M.A., Pirdashti, H., Motevali, A. and Nabavi-Pelesaraei, A., 2022. Assessing the energy components and the environmental impacts of the different rice (*Oryza sativa* L.) production systems using the life cycle assessment (LCA) method. *Journal of Agroecology*, 14(3), pp.429–448. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.68179.1010>
- Sayin, C., Mencet, M.N. and Ozkan, B., 2005. Assessing of energy policies based on Turkish agriculture: Current status and some implications. *Energy Policy*, 33, pp.2361–2373. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.05.005>
- Shahhoseini, H.R., Ramroudi, M. and Kazemi, H., 2021. Evaluating and comparing the sustainability of autumn and spring potato agroecosystems using energy analysis (Case study: Golestan Province). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4), pp.265–279. <https://doi.org/10.22034/saps.2020.12316>
- Sharifi, M., Soodmand-Moghaddam, S., Izadi, M. and Abbaszadeh, R., 2021. Analysis of economic and energy indicators in different methods of protective tillage in wheat cultivar (Case study: Dasht-e Naz Sari agro industrial company). *Journal of Agroecology*, 13(2), pp.195–210. <https://doi.org/10.22067/jag.v13i2.81534>
- Singh, H., Mishra, D. and Nahar, N.M., 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India: Part I. *Energy Conversion and Management*, 43, pp.2275–2286. [https://doi.org/10.1016/s0196-8904\(01\)00161-3](https://doi.org/10.1016/s0196-8904(01)00161-3)
- Singh, S. and Mittal, J.P., 1992. *Energy in production agriculture*. Mittal Publications.
- Singh, S., Singh, S., Mittal, J.P., Pannu, C.J.S. and Bhangoo, B.S., 1994. Energy inputs and crop yield relationships for rice in Punjab. *Energy*, 19(10), pp.1061–1065. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90094-9](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90094-9)
- Soni, P., Sinha, R. and Roger Perret, S., 2018. Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India. *Energy Reports*, 4, pp.554–564. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.09.001>
- Tabatabaie, S.M.H., Rafiee, S., Keyhani, A. and Ebrahimi, A., 2013. Energy and economic assessment of prune production in Tehran province of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 39, pp.280–284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.052>
- Tavakoli Kakhki, H. and Ghodsi, M., 2020. Evaluation of energy efficiency indices according to wheat (*Triticum aestivum* L.) based crop in conservation agricultural systems in temperate climate region (A case study: Gonabad). *Journal of Agroecology*, 12(3), pp.433–445. <https://doi.org/10.22067/jag.v12i3.80119>
- Vafabakhsh, J. and Mohammadzadeh, A., 2019. Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case study: Sharif Abad plain). *Journal of Agroecology*, 11(2), pp.365–382. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.81742>

- Vahedi, A. and Zarifneshatm, S., 2021. Evaluation energy flow and analysis of energy economy for irrigated wheat production in different geographical regions of Iran. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(2), pp.505–523. <https://doi.org/10.22067/jam.v11i2.81747>
- Yilmaz, I., Akcaoz, H. and Ozkan, B., 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, 30, pp.145–155. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001>
- Yousefzadeh, S. and Firouzi, S., 2016. The study of the factors affecting the development of mechanization of rice cultivation in Guilan province by Delphi technique. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 47(1), pp.83–92. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.58480>

The effect of growth promoting materials on the yield and concentration of nutrient elements of wheat under drought stress

Reza Soleimani ^{*a}, Fereydoun Nourgholipour ^b

^a Soil and Water Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Research Center, AREEO, Ilam, Iran

^b Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

* Corresponding Author: xsoleimani@gmail.com

Received: 10 May 2024

Accepted: 18 July 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.455623.1416

How to cite this article:

Soleimani, R. and Nourgholipour, F., 2025. The effect of growth promoting materials on the yield and concentration of nutrient elements of wheat under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 479-492. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2024.455623.1416>

Abstract

Introduction: Global climate change-induced abiotic stresses such as drought have profound impacts on crop yield and the subsistence farming economy in Iran. Biostimulants are an effective type of substances obtained from some organic and inorganic materials and from microorganisms. These materials, as a promising and eco-friendly approach, are widely used to decrease the destructive effects of drought stress and fulfill the need for developing sustainable/modern agriculture. Current knowledge revealed that biostimulants derived from plants and animals (e.g., seaweeds and phytoextracts, humic substances, amino acids and fulvic acid) as well as microbial stimulants such as plant growth promoting bacteria (PGPR) have high potential to elicit plant tolerance to drought stress. Fertilizer materials directly supply plants with essential nutrients, correcting nutrient deficiencies in plants and promoting plant growth. In contrast, growth biostimulants promote the plant's innate abilities to absorb nutrients from soil and alleviate stresses, without providing nutrients directly. The aim of this study was to investigate the effect of biostimulants on wheat tolerance under deficit water condition.

Materials and Methods: Experiments conducted in form of split plots as a complete randomized block design with three replications in Ilam for two years since 2021. The soil order The main plots include two levels as irrigation application after 70 and 140 mm cumulative evaporation and sub-plots including six levels of biostimulants as control, foliar application of amino acid, fulvic acid and seaweed, fertigation of humic acid, azotobacter inoculation and combined application of all biostimulants. At the end, after harvesting wheat, grain and biological yield and the concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, iron, zinc, copper and manganese elements in grain and straw were measured. Analysis of data and mean comparison was performed with SAS software and Tukey's test, respectively.

Results and Discussion: The results showed that the application of biostimulants under deficit irrigation improved the yield, relatively. The combined biostimulants application with 12.9% increase in grain yield was the superior treatment. Under normal conditions, the use of amino acids and under conditions of deficit irrigation, the application of fulvic acid produced 10.3% and 12.8% increase in



grain yield, respectively. The increase in nutrient concentration with the application of biostimulants was between 11% and 18%. . The highest concentration of phosphorus in the grain was obtained with the combined application of growth stimulants, the sole application of fulvic acid and the sole application of amino acid with concentrations of 0.227, 0.225 and 0.223%, respectively. Also, the highest concentration of potassium in straw was obtained with the combined application of growth stimulants with a concentration of 0.136%. The highest concentration of potassium in the grain was obtained with the combined application of growth stimulants and the sole application of fulvic acid with concentrations of 0.633 and 0.593%, respectively. Among the biostimulants, the best results under deficit irrigation and normal conditions were obtained by fulvic acid and amino acid, respectively. In general, biostimulants, due to the presence of plant growth-promoting compounds such as nutrient elements, phytohormones and enzymes, can improve plant growth characteristics and nutrient absorption. Also, these materials improved growth parameters due to its role in increasing photosynthesis respiration, cell membrane permeability and root architecture.

Conclusion: In general, the application of growth stimulants compared to the control treatment improved the yield components and changed the concentration of nutrients in wheat grain and straw. In the condition of dehydration, the absorption of nutrients decreased and the consumption of growth stimulants could have a positive effect on the process of absorption of nutrients and reduce the negative effects of dehydration. Fulvic acid was more effective than other biostimulants in decreasing the negative effects of drought stress. Finally, the use of natural materials such as fulvic acid can be a safe approach and complementary additive to improve plant growth and to decrease the adverse effects of not only drought stress but also chemical fertilizers.

Keywords: Amino acid, Azotobacter, Fulvic acid, Humic acid, Seaweed extract

اثر مواد محرک رشد بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی گندم در شرایط تنش خشکی

رضا سلیمانی^{۱*}، فریدون نورقلیپور^۲

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: xsoleimani@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.455623.1416

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱

چکیده

مواد محرک رشد از نوع ترکیبات مؤثر حاصل از مواد آلی و معدنی و ریزجانداران هستند. این مواد، اثرات تنش‌های محیطی بر گیاهان را کاهش می‌دهند. تحقیق حاضر با هدف اثر کاربرد مواد محرک رشد بر تحمل گندم به تنش کم آبی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های خرد شده با سه تکرار از سال ۱۳۹۹ به مدت دو سال زراعی در ایلام اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تحت کلاس A و کرت‌های فرعی با شش سطح مواد محرک رشد شامل شاهد، محلول پاشی اسید آمینه، فولویک اسید و جلبک دریایی، کود آبیاری هیومیک اسید، مایه‌زنی از توباکتر و کاربرد توأم مواد محرک رشد بود. نتایج نشان داد که کاربرد مواد محرک رشد باعث بهبود نسبی عملکرد دانه و اجزای عملکرد در شرایط کم آبی گردید. کاربرد توأم مواد محرک رشد با ۱۲/۹ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد، تیمار برتر بود. در شرایط آبیاری کامل، کاربرد اسید آمینه و در شرایط تنش کم آبی، کاربرد فولویک اسید بهترین تیمارها بودند. افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و آهن با کاربرد توأم مواد محرک رشد، بین ۱۱ تا ۱۸ درصد بود. بطور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد توأم مواد محرک رشد سبب کاهش آثار نامطلوب کم آبیاری در گندم شده و در بین مواد محرک رشد، بهترین نتیجه با کاربرد فولویک و اسید آمینه به ترتیب در شرایط تنش کم آبی و آبیاری کامل بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آمینو اسید، ازتوباکتر، فولویک اسید، عصاره جلبک، هیومیک اسید

مقدمه

تولیدات گیاهی بوده که در اثر شرایط کم آبی ایجاد می‌شود (Hussain et al., 2019). صدمات اکسیداتیو، اختلال در تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم دفاعی برطرف کننده این رادیکال‌ها بوده و منجر به تغییر و تخریب^۲ پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و سایر اجزای سلولی می‌گردد (Zhanassova et al., 2021). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS³) که عامل مهمی در القای تنش خشکی هستند، شکل‌هایی از اکسیژن اتمسفری هستند که تا حدودی احیا شده‌اند. بر خلاف اکسیژن اتمسفری، گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر دارای توانایی نامحدود در اکسیداسیون اجزای سلولی مختلف بوده و می‌تواند منجر به تخریب اکسیداتیو سلول گردد (Puthur, 2016). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر در نتیجه تنش خشکی، سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن لیپیدها شده و در نتیجه منجر به تغییر ساختار غشاء و در نتیجه از هم پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود. پیامد این

امروزه لزوم پرداختن به مدیریت تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی برای دستیابی به عملکرد مناسب ضرورتی انکار ناپذیر است. در شرایط تنش خشکی، باروری زیستی حداقل^۱ به عنوان یک مشکل اساسی محسوب می‌گردد. خشکی یک تنش چند بعدی بوده و در سطوح مختلف اثرگذار است (Mia et al., 2020). در سطح گیاه، پاسخ به تنش خشکی پیچیدگی خاصی داشته و بازتابی از تلفیق اثرات تنش ناشی از کمبود آب در دسترس ریشه و پاسخ‌های مربوطه در تمام سطوح فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد. تنش کم آبی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی بوده که موجب محدود شدن رشد رویشی و زایشی می‌گردد (Anderson et al., 2016). نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که تنش کم آبی بر تغییرات هورمونی و فیزیولوژیکی اثر گذاشته و همچنین صدمات اکسیداتیو نیز از عوامل مهم محدود کننده رشد و

³ Reactive Oxygen Species¹ Minimal Bioproduction² Destruction

از غشاء می‌گردد. افزایش کیفیت و کمیت محصولات زراعی و باغی، افزایش جوانه، شکوفه و بزرگ شدن میوه، افزایش مقاومت گیاه به خشکی، افزایش فعالیت ریزجانداران مفید خاک، قابلیت کلات کنندگی عناصر ریزمغذی مانند آهن و در نتیجه افزایش قابلیت جذب آنها توسط گیاه، افزایش جذب کودهای شیمیایی در صورت استفاده همزمان با آنها، افزایش مقاومت گیاه به شوری و کم‌آبی و تسهیل تعریق و تعرق گیاهی و تقویت سیستم ریشه از مزایای استفاده از کودهای حاوی آمینواسید می‌باشد. مواد هیومین طبیعی، بسیار کم در طبیعت از لحاظ زیستی و شیمیایی فعال هستند زیرا در ترکیب ساختار آنها عناصر موجود در خاک‌ها که مانع آزادی عمل آنها به صورت طبیعی می‌شوند و جذب آنها را به خودی خود برای گیاهان غیر ممکن می‌کنند، لذا برای جذب بیشتر آنها توسط گیاهان و درختان، این مواد را به روش‌های بیوشیمیایی فعال می‌کنند تا قابلیت انحلال آنها در آب بیشتر شود و در نهایت به راحتی جذب گیاه گردند (*Grammenou et al., 2023*). مواد فعال کننده که برای شکستن ساختار مولکولی بزرگ این مواد و تبدیل آنها به مولکول‌های ریز قابل استفاده می‌شوند، بعد از اضافه کردن محلولی، از مولکول شکسته شده و جدا می‌گردند و بنابراین، این مواد کودی می‌توانند از طریق روزه‌های گیاه و غشاء نازک آنها جذب و مورد استفاده گیاه واقع گردند. همچنین گزارش شده است که عصاره جلبک دارای هورمون‌های ایندول استیک اسید و سیتوکینین و برخی از عناصر غذایی می‌باشد. مصرف عصاره جلبک باعث تحریک رشد ریشه و بهبود تحمل گیاه به تنش خشکی می‌گردد (*Hortin et al., 2019*). در شرایط کم‌آبی، جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد، لذا مصرف مواد محرک رشد در صورتی که بتوانند بر روند جذب عناصر غذایی اثر مثبتی داشته باشد اثرات منفی کم‌آبی را کاهش می‌دهد.

در برخی از مناطق استان ایلام علاوه بر خشکسالی، عواملی نظیر عدم تخصیص مناسب آب آبیاری سبب بروز تنش خشکی می‌گردد. هدف از اجرای این پژوهش، تعیین اثرهای مصرف اسید آمینه، اسیدهای هیومیک، اسیدهای فولویک، عصاره جلبک دریایی، ماهیه زنی بذری با ازتوباکتر و اثر توأم مواد محرک رشد بر تحمل گندم در برابر تنش خشکی بود.

تغییرات، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و اکسید شدن گروه‌های سولفیدریل (-SH)، غیر فعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن و یا از بین رفتن رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای و گسیختگی مداوم مولکول‌های آلی مثل DNA و در نتیجه اختلال در رشته‌های DNA و در واقع مرگ برنامه‌ریزی شده سلول^۱ ذکر گردیده است (*Mohite, 2013*). بنابراین در فرایند تحمل به تنش خشکی در گیاهان، بایستی این گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر مهار گردند. امروزه مواد محرک رشد گیاه در حکم عوامل بیوشیمیایی مفیدی می‌باشند که بر فیزیولوژی رشد گیاهان اثرگذار بوده و گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و رسیدن به پتانسیل‌های ژنتیکی باری می‌دهند.

تیمار گیاهان با مواد محرک رشد یکی از روش‌هایی است که در جهت بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی استفاده می‌شود. کاربرد آمینو اسیدها باعث افزایش پرولین شده که این تجمع به استحکام ساختار پروتئین‌ها و تعادل اکسایش-کاهش در سلول می‌افزاید. کاربرد آمینواسیدها باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه و در نتیجه بهبود متابولیسم در گیاه می‌گردد (*Tadros et al., 2019*). برخی از مزایای استفاده از کودهای حاوی آمینواسیدها عبارتند از افزایش فعالیت ریز موجودات مفید خاک، افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف برای گیاه در انواع خاک و شرایط محیطی، آزاد کردن ترکیبات معدنی تثبیت شده در خاک، افزایش ظرفیت تبادلات کاتیونی خاک، افزایش جمعیت توده کم مصرفی خاک، افزایش توسعه ریشه گیاه و رشد و تکامل، افزایش قابلیت سنتز (پروتئین و کربن هیدرات) گیاه و متابولیسم، افزایش قابلیت زراعی خاک و افزایش تحمل آن در برابر باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا و کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی می‌باشد. فولویک اسید در کلزا مقدار کلروفیل و شدت فتوسنتز را افزایش و نفوذپذیری غشاء سلولی را کاهش داد (*Elrys et al., 2019*). این تغییرات بیانگر افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی با کاربرد فولویک اسید بود. در گیاه متأثر از تنش خشکی، با محلول پاشی فولویک اسید، کشش روزه‌ها کاهش یافته و این خود باعث کاهش باز بودن روزه برگ‌ها و کاهش تعرق می‌گردد. هیومیک اسید و فولویک اسید باعث افزایش جذب عناصر غذایی

^۱ Programmed Cell Death

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف اثر کاربرد مواد محرک رشد بر تحمل گندم در برابر تنش خشکی از سال ۱۳۹۹ به مدت دو سال زراعی در ایستگاه تحقیقات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله در شمال استان ایلام با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه طول شرقی با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم کوهستانی معتدل با کمینه و بیشینه دمای مطلق سالانه بین ۶/۵- تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۴۶۰ میلی‌متر می‌باشد.

نام علمی خاک محل اجرای آزمایش بر اساس سیستم آمریکائی بصورت *Fine mixed mesic, Calcixerollic Xerochrepts* بود. در این پروژه اثرات مواد زیستی محرک رشد گیاهی (تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب به شرح جدول ۱) بر کاهش خسارت تنش خشکی در زراعت گندم مورد آزمون قرار گرفت. به این منظور ابتدا اقدام به تهیه زمین در هر سال زراعی گردید. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، لولر، خط‌کشی و کودپاشی برای همه واحدهای آزمایشی به طور یکسان انجام شد. طرح به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در هر آزمایش، کرت اصلی اعمال تیمار های آبیاری شامل دو سطح زیر بود:

الف- آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A

ب- آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک

تبخیر کلاس A (کم آبیاری)

توضیح: میزان آب آبیاری مورد نیاز در هر دو تیمار فوق بر اساس تامین رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی (FC) تعیین گردید. تنش آبیاری بعد از استقرار گیاه بعد از آبیاری دوم اعمال گردید.

کرت فرعی شامل منبع کود مصرفی به شرح زیر بود:

۱- شاهد (بدون کاربرد مواد محرک رشد)

۲- محلول پاشی کمپلکس اسیدهای آمینه (جدول ۱) با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی (مقیاس زادوکس ۲۳ و ۲۴) و ظهور کامل خوشه (مقیاس زادوکس ۵۹)

۳- کود آبیاری هیومیک اسید به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در مراحل اولیه رشد با آبیاری دوم

۴- محلول پاشی فولویک اسید با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی (مقیاس زادوکس ۲۳ و ۲۴) و ظهور کامل خوشه (مقیاس زادوکس ۵۹)

۵- محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی (مقیاس زادوکس ۲۳ و ۲۴) و ظهور کامل خوشه (مقیاس زادوکس ۵۹)

۶- بذر مال با کود زیستی از تو باکتر

۷- کاربرد توأم مواد محرک رشد (تیمار های ۲+۳+۵+۶)

ابتدا در پاییز و قبل از هر گونه عملیات زراعی اقدام به نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز گردید. نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. شوری خاک محدود کننده نبود، کربن آلی و آهک خاک نیز به ترتیب در مقادیر کم و زیاد محسوب می‌گردند.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی محرک های رشد* استفاده شده

Table 1- Results of chemical analysis of used biostimulants

ماده محرک رشد	هیومیک اسید	فولویک اسید	کمپلکس آمینواسیدهای آزاد	آلجینیک اسید	نیتروژن کل	پتاسیم محلول	فسفر محلول
Growth promoting material	Humic acid	Fulvic acid	Free amino acids complex	Alginate acid	Total nitrogen	Soluble potassium	Soluble phosphorus
(%)							
فولویک اسید Fulvic acid	جزئی trace	22.1	-	-	0.52	0.13	-
هیومیک اسید Humic acid	52.9	1.88	-	-	1.06	4.90	-
آمینو اسید Amino acid	-	-	36.8	-	16.7	-	-
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract	-	-	-	10	2.04	19.9	0.6

محل تأمین ترکیبات محرک رشد مورد استفاده: موسسه تحقیقات خاک و آب

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک
Table 2- Results of physical and chemical analysis in depth of 0-30 cm of soil

بافت	نیترژن کل	کربن آلی	مس	منگنز	آهن	روی	پتاسیم	فسفر	قابلیت هدایت الکتریکی	اسیدپنه گل اشباع	
Texture	TN	OC	Cu	Mn	Fe	Zn	K	P	EC	pH	
	%		(mg kg ⁻¹)						(dS m ⁻¹)		
SiCl	33.2	0.11	1.22	1.13	7.31	8.84	1.21	305	12.2	0.31	7.33

چسبیدن کامل به بذر، بر روی پلاستیک تمیز خشک شد. آب آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر اعمال گردید. مبارزه با علف‌های هرز با عملیات مکانیکی انجام شد. در پایان پس از برداشت گندم، عملکرد دانه و زیستی و غلظت عناصر نیترژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز دانه و کاه اندازه‌گیری شد. داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات عملکرد دانه و زیستی در اثر مصرف مواد محرک رشد

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله به ترتیب در سطح یک، پنج و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

در زمانی که رطوبت خاک در نزدیکی حد ظرفیت زراعی بود شخم زده و بلافاصله با دیسک بستر بذر نرم و آماده گردید. با توجه به طرح آماری فوق‌الذکر، تعداد ۳۶ کرت به ابعاد ۴×۶ متر با حاشیه ۱ متر توسط مرزبند تراکتور احداث شده و مرزها با توجه به نتایج آزمایشگاهی، اقلیم و پتانسیل تولیدی منطقه نسبت به مصرف کود اقدام گردید. کودهای توصیه شده با مصرف خاکی و همچنین تیمار مصرف خاکی، پس از تهیه زمین، محاسبه و با خاک مخلوط گردید. توصیه‌های مصرف تکمیلی شامل مصرف سرک نیترژن در مراحل پنجه‌دهی، ساقه‌روی و گلدهی و محلول‌پاشی عنصر روی با غلظت سه در هزار در مراحل ساقه‌روی و قبل از گلدهی اعمال شد. بذر گندم از رقم چمران ۲ بوده و با تراکم ۳۰۰ بذر در متر مربع به صورت ردیفی کشت گردید. مقدار مصرف مایع تلقیح از تو باکتر به مقدار یک در صد برابر با یک لیتر در ۱۰۰ کیلوگرم بذر به صورت بذرمال بود. محلول تلقیح در ظرفی با بذر مخلوط تا سطح بذر کاملاً خیس و با مواد آغشته گردید. سپس برای

جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم
Table 3- Results of variance analysis of yield and yield components of wheat

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع
S.V.	df	Grain yield	Biological yield	Harvest index	Thousand grain weight	No. grain/spike	No spike/square meter
سال (Y)	1	13719 ^{ns}	91541 ^{ns}	16614 ^{ns}	15654 ^{ns}	44545 ^{ns}	52669 ^{ns}
تکرار (سال) R(Y)	4	12833 ^{ns}	71018 ^{ns}	7081 ^{ns}	5256 ^{ns}	54405 ^{ns}	5350 ^{ns}
آبیاری (Ir)	1	451440476 [*]	19792626356 [*]	92967042 [*]	5044782 [*]	61475110 [*]	54813361 [*]
سال×آبیاری Y×Ir	1	921904 ^{ns}	10901 ^{ns}	9154 ^{ns}	3641 ^{ns}	4553 ^{ns}	56541 ^{ns}
خطای ۱ (E1)	4	336190	237874933	10189	6401649	11052641	65654044
کود (F)	6	5592492 ^{**}	94101565 [*]	9876926 [*]	7508415 [*]	445726841 [*]	51455017 [*]
سال×کود (Y×F)	6	14229 ^{ns}	56098 ^{ns}	1684 ^{ns}	5406 ^{ns}	56058 ^{ns}	4406 ^{ns}
آبیاری×کود (Ir×F)	6	16521 ^{ns}	24261 ^{ns}	540 ^{ns}	6015 ^{ns}	15058 ^{ns}	8432 ^{ns}
سال×آبیاری×کود Y×Ir×F	6	20974 ^{ns}	7143 ^{ns}	123 ^{ns}	6511 ^{ns}	49438 ^{ns}	8319 ^{ns}
خطای ۲ (E2)	48	182540	129157778	19373	2645453	64176480	454184820
C.V.٪		16.7	17.5	14.8	18.5	14.5	16.2

** و * : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی‌داری ندارند.

** and * : Significant differences at 1% and 5%, respectively, ns: Not significant

ترتیب ۶/۹۹ و ۶/۹۵ درصد افزایش عملکرد دانه در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل گردید (جدول ۴). همچنین کاربرد اسید آمینه و کاربرد توأم مواد محرک رشد به ترتیب با شاخص برداشت ۰/۴۰۳ و ۰/۴۰۶ و ۷/۸۸ و ۷/۲۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) تیمارهای برتر بودند (جدول ۴). در مورد وزن هزار دانه گندم، تیمار کاربرد توأم مواد محرک رشد با وزن هزار دانه ۴۲/۱ گرم (۱۰/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) در گروه آماری برتر قرار گرفت. تیمارهای مصرف فولویک اسید، اسید آمینه و تلقیح ازتوباکتر به ترتیب با وزن هزار دلنه ۴۱/۱، ۴۰/۹ و ۴۰/۵ گرم نیز بالاتر از شاهد قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین تعداد دانه در سنبله با کاربرد توأم مواد محرک رشد به ۴۰/۷ رسید که نسبت به عدم کاربرد مواد زیستی (با ۱۵ درصد افزایش) در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۴).

مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی نشان داد که کاربرد توأم مواد محرک رشد با عملکرد دانه برابر با ۶۰۷۲ کیلوگرم در هکتار (۱۲/۹ درصد افزایش نسبت به شاهد) تیمار برتر بود (جدول ۴). همچنین تیمارهای کاربرد تنهای فولویک اسید، اسید آمینه، ازتوباکتر و هیومیک اسید نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار گرفتند. به طوری که به ترتیب ۹/۰۴، ۸/۱۷، ۷/۲۹ و ۴/۵۵ درصد افزایش عملکرد دانه در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل گردید (جدول ۴). عملکرد زیستی گندم با کاربرد توأم مواد زیستی محرک رشد به ۱۵۰۶۷ کیلوگرم در هکتار رسید که نسبت به شاهد در گروه آماری برتر قرار گرفته و ۸/۲۶ درصد افزایش عملکرد زیستی نشان داد. همچنین تیمارهای کاربرد تنهای اسید آمینه و فولویک اسید نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار گرفتند. به طوری که به

جدول ۴- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و اجزای عملکرد گندم

Table 4- The effect of biostimulants application on grain yield, biological yield and yield components of wheat

مواد محرک رشد	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله در متر مربع
Biostimulants	Grain yield	Biological yield (kg ha ⁻¹)	Harvest index	Thousand grain weight (g)	No. grain/spike	No. spike/m ²
شاهد Control	5378c	13823c	0.374b	38.0c	35.4b	382b
اسید آمینه Amino acid	5639ab	14863ab	0.406a	40.9 ab	39.2ab	414ab
هیومیک اسید Humic acid	5435bc	14107bc	0.385ab	39.4bc	37.5ab	418ab
فولویک اسید Fulvic acid	5693ab	14856ab	0.383ab	41.1ab	38.7ab	415ab
جلبک دریایی Seaweed	5425bc	13720c	0.395ab	39.1bc	38.3ab	409ab
ازتوباکتر Azotobacter	5585b	14341abc	0.389ab	40.5ab	38.9ab	416ab
مصرف توأم مواد محرک رشد Combined application of biostimulants	5872a	15067a	0.403a	40.1a	40.7a	423a

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵٪ می‌باشد

The same letter/letters in each column are not significantly different at p<0.05

۵/۶۰ درصد افزایش تعداد دانه در سنبله در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل شد (جدول ۴). در برهمکنش تنش خشکی و کاربرد مواد محرک رشد، بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A همراه با

تیمارهای کاربرد اسید آمینه، ازتوباکتر، فولویک اسید، جلبک دریایی و هیومیک اسید به ترتیب با تعداد دانه در سنبله ۳۹/۲، ۳۸/۹، ۳۸/۷، ۳۸/۳ و ۳۷/۵ نیز بالاتر از شاهد قرار گرفتند به طوری که به ترتیب ۱۰/۷، ۹/۸۹، ۹/۳۲، ۸/۱۹ و

و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شوند (Mona et al., 2017). کاربرد اسیدهای آمینه، محتوای کربوهیدرات‌های کل و قندهای محلول را کاهش می‌دهد (Talaat et al., 2025). فولویک اسید نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و میزان نسبی آب^۱ در برگ را افزایش داده و نفوذپذیری غشاء سلولی، میزان تعرق و کمبود اشباع آب^۲ در کلزا را کاهش عملکرد دانه و زیستی را افزایش داد که نشان دهنده افزایش تحمل به خشکی گیاه با کاربرد فولویک اسید بود (El-Boray et al., 2015). تحمل به خشکی در گندم با کاربرد عصاره جلبک دریایی و فولویک اسید افزایش یافت به گونه ای که کشش روزنه ها را تحت شرایط خشکی کاهش و در شرایط نرمال نسبت به شاهد افزایش داد هم چنین موجب کاهش باز بودن روزنه های گیاه و کاهش تبخیر و تعرق آب و افزایش مقاومت به خشکی گیاه شد (Kandi and Gharib, 2019).

کاربرد توأم مواد محرک رشد (با ۷۲۸۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که به دلیل کاهش تنش و افزایش آب در دسترس، طول دوره زایشی و مقدار فتوسنتز افزایش می‌یابد که منجر به تشکیل گل‌های بیشتر در هر گل آذین شده، همچنین طولانی تر شدن دوره پر شدن دانه در اثر کاهش تنش، باعث اثر بر اندازه و وزن دانه و در نهایت بر عملکرد دانه می‌گردد. فولویک اسید باعث بهبود اجزای عملکرد و در نتیجه افزایش عملکرد گندم در مصر گردید (Kandi and Gharib, 2019). یکی از مزیت‌های جلبک به عنوان محرک رشد گیاهی، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی ناشی از کمبود عناصر غذایی است که برای نمونه می‌توان به افزایش دانه در گیاه اشاره کرد (Naderi et al., 2002). برخی از تنظیم کننده های رشد، تحمل به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد. این تنظیم کننده های رشد در عصاره جلبک و هیومیک اسید وجود داشته

جدول ۵- تأثیر برهمکنش تنش خشکی و کاربرد مواد محرک رشد بر عملکرد دانه و زیستی گندم (کیلوگرم بر هکتار)

Table 5- The effect of drought stress and biostimulants interaction on grain and biological yield of wheat (kg ha⁻¹)

آبیاری	شاهد	اسید آمینه	هیومیک اسید	ازتوباکتر			کاربرد توأم مواد محرک رشد
				جلبک دریایی	فولویک اسید	ازتوباکتر	
Irrigation	Control	Amino acid	Humic acid	Fulvic acid	Seaweed	Azotobacter	Combined biostimulants
عملکرد دانه Grain yield							
آبیاری بعد از ۷۰ میلیمتر تبخیر							
Irrigation after 70mm evaporation	6442ab	6870ab	6555ab	6826ab	6548ab	6733ab	7287a
آبیاری بعد از ۱۴۰ میلیمتر تبخیر							
Irrigation after 140mm evaporation	3915c	4408bc	4315bc	4460bc	4301bc	4338bc	4557b
عملکرد زیستی Biological yield							
آبیاری بعد از ۷۰ میلیمتر تبخیر							
Irrigation after 70mm evaporation	15911ab	15946ab	15837ab	16584ab	15175ab	16146ab	17047a
آبیاری بعد از ۱۴۰ میلیمتر تبخیر							
Irrigation after 140mm evaporation	11735c	12780bc	12376bc	13129bc	12265bc	12537bc	13088b

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵٪ می‌باشد

The same letter/letters in each column are not significantly different at $p < 0.05$

فسفر دانه و کاه معنی‌دار نبود (جدول ۶). آزمون توکی نشان داد که مایه زنی باکتری ازتوباکتر و کاربرد توأم مواد محرک رشد به ترتیب با غلظت ۲/۳۸ و ۲/۳۲ درصد، بیشترین غلظت نیتروژن را حاصل کردند (شکل ۱). در تیمارهای دیگر

غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه و کاه

اثر اصلی کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن و پتاسیم در دانه و کاه در سطح پنج درصد معنی‌دار و بر غلظت

² Water saturation deficit

¹ Relative water content

۰/۵۹۳ درصد بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت پتاسیم در کاه با کاربرد تنه‌های فولویک اسید و کاربرد توأم مواد محرک رشد به ترتیب با غلظت‌های ۲/۴۱ و ۲/۳۹ درصد حاصل شد. در تیمارهای دیگر تفاوت‌های معنی‌داری با شاهد بدست نیامد (شکل ۳). همسو با پژوهش حاضر، محققان نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش جذب نیتروژن و سایر مواد غذایی تا ۳۰ درصد در گندم می‌شود (El-Hashash *et al.*, 2022). مواد محرک رشد باعث افزایش غلظت فسفر و پتاسیم در گیاه می‌گردد (Shukla and Prithiviraj, 2021). همچنین تغییرات دینامیک نیتروژن در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی گزارش شده است (Li *et al.*, 2023).

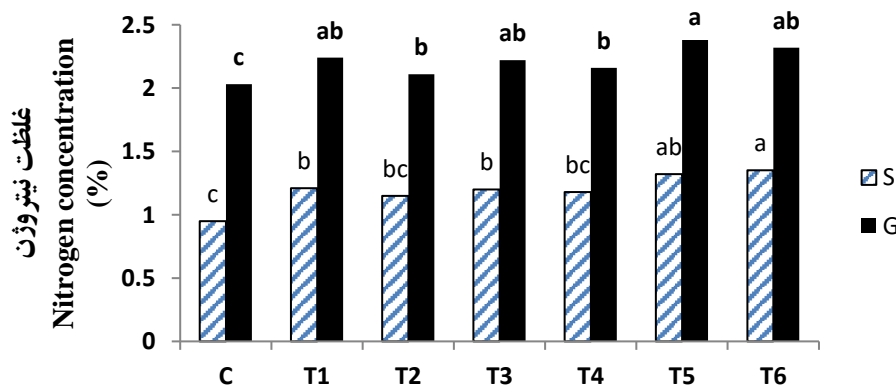
تفاوت‌های معنی‌داری با شاهد بدست نیامد. غلظت نیتروژن در کاه، با کاربرد توأم مواد محرک رشد و همچنین در تیمار مایه زنی باکتری ازتوباکتر توانست افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (به ترتیب ۲/۳۹ و ۲/۳۱ درصد) نشان دهد (شکل ۱). بیشترین غلظت فسفر در دانه با کاربرد توأم مواد محرک رشد، کاربرد تنه‌های فولویک اسید و کاربرد تنه‌های اسید آمینه به ترتیب با غلظت‌های ۰/۲۲۷، ۰/۲۲۵ و ۰/۲۲۳ درصد بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت پتاسیم در کاه با کاربرد توأم مواد محرک رشد با غلظت ۰/۱۳۶ درصد بدست آمد (شکل ۲). بیشترین غلظت پتاسیم در دانه با کاربرد توأم مواد محرک رشد و کاربرد تنه‌های فولویک اسید به ترتیب با غلظت‌های ۰/۶۳۳ و

جدول ۶- خلاصه نتایج تجزیه واریانس غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه و کاه گندم

Table 6- Results of variance analysis of nitrogen, phosphorus and potassium in grain and straw of wheat							
منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن دانه	نیتروژن کاه	فسفر دانه	فسفر کاه	پتاسیم دانه	پتاسیم کاه
S.V.	df	Grain N	Straw N	Grain P	Straw P	Grain K	Straw K
سال (Y)	1	0.05 ns	0.004 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.005 ns
تکرار (سال) R(Y)	4	0.05 ns	0.006 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.003 ns
آبیاری (Ir)	1	0.026 *	0.001 *	0.008 *	0.01 *	0.009 *	0.005 ns
سال×آبیاری (Y×Ir)	1	0.05 ns	0.004 ns	0.01 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.004 ns
خطای ۱ (E1)	4	0.054	0.017	0.001	0.001	0.001 ns	0.006 ns
کود (F)	6	0.018 *	0.01 *	0.02 *	0.06 *	0.008 *	0.005 ns
سال×کود (Y×F)	6	0.05 ns	0.004 ns	0.001 ns	0.005 ns	0.007 ns	0.007 ns
آبیاری×کود (Ir×F)	6	0.02 ns	0.007 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.005 ns
سال×آبیاری×کود	6	0.05 ns	0.004 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.004 ns	0.005 ns
خطای ۲ (E2)	48	0.029	0.009	0.001	0.0001	0.002	0.004
C.V.٪		14.3	17.5	14.8	18.5	14.5	16.2

** و * : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی‌داری ندارند.

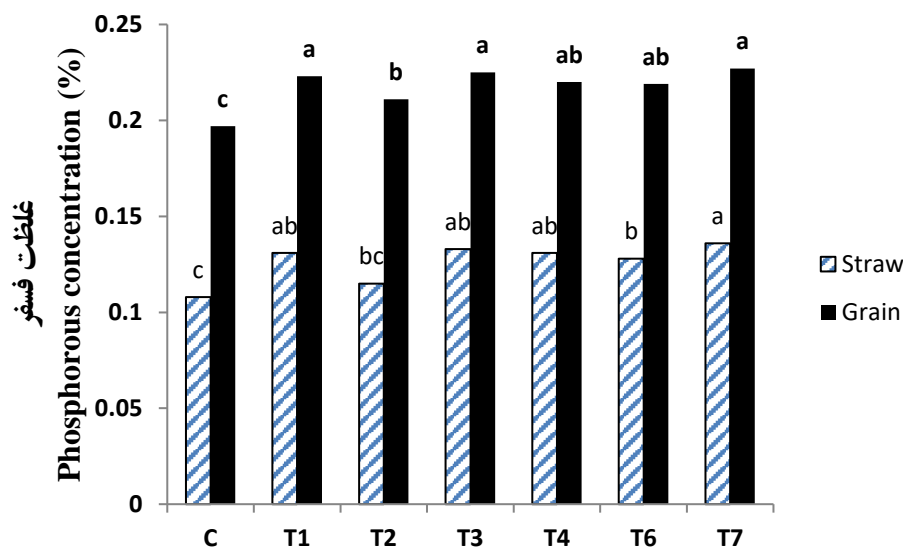
** and * : Significant differences at 1% and 5%, respectively, ns: Not significant



شکل ۱- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن دانه و کاه گندم (درصد)

Figure 1- The effect of biostimulants on concentration of nitrogen in grain and straw of wheat (%)

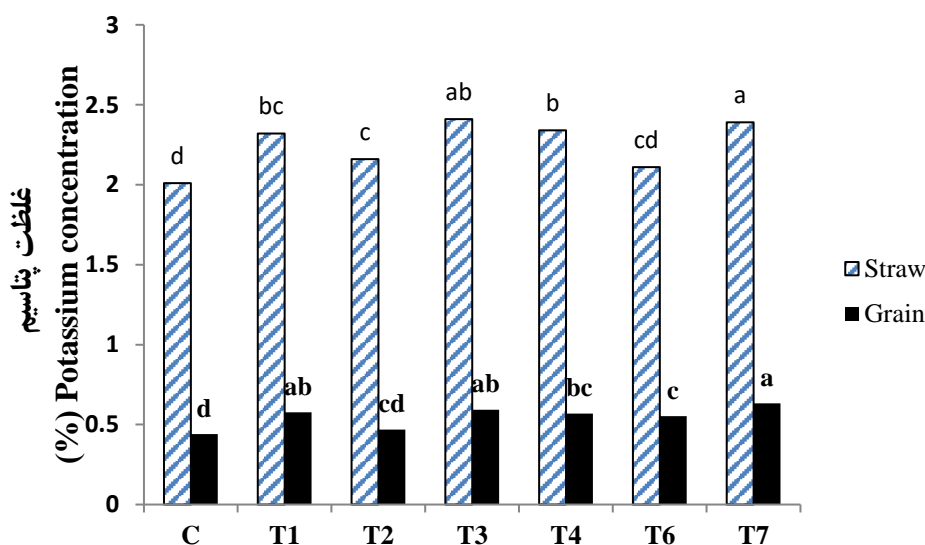
S: کاه، C: شاهد، T1: اسید آمینه، T2: هیومیک اسید، T3: فولویک اسید، T4: جلبک دریایی، T5: ازتوباکتر، T6: کاربرد توأم مواد محرک رشد
S: Straw, G: Grain, C: Control, T1: Amino acid, T2: Humic acid, T3: Fulvic acid, T4: Seaweed, T5: Azotobacter, T6: Combined application of biostimulants



شکل ۲- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه گندم (درصد)

Figure 2- The effect of biostimulants on concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in grain of wheat (%)

کاه، G: دانه، C: شاهد، T1: اسید آمینه، T2: هیومیک اسید، T3: فولویک اسید، T4: جلبک دریایی، T5: ازتوباکتر، T6: کاربرد توأم مواد محرک رشد
S: Straw, G: Grain, C: Control, T1: Amino acid, T2: Humic acid, T3: Fulvic acid, T4: Seaweed, T5: Azotobacter, T6: Combined application of biostimulants



شکل ۳- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گندم (درصد)

Figure 3- The effect of biostimulants on concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in wheat (%)

کاه، G: دانه، C: شاهد، T1: اسید آمینه، T2: هیومیک اسید، T3: فولویک اسید، T4: جلبک دریایی، T5: ازتوباکتر، T6: کاربرد توأم مواد محرک رشد
S: Straw, G: Grain, C: Control, T1: Amino acid, T2: Humic acid, T3: Fulvic acid, T4: Seaweed, T5: Azotobacter, T6: Combined application of biostimulants

میلی گرم در کیلوگرم)، کاهش ۱۹/۸ درصدی نسبت به شاهد (۲۹/۰ میلی گرم در کیلوگرم) نشان داد و این کاهش در غلظت مس دانه معادل ۱۹/۱ درصد بود (جدول ۶).
غلظت روی کاه در شرایط تنش خشکی (۱۶/۳ میلی گرم در کیلوگرم)، کاهش ۱۸/۹ درصدی نسبت به شاهد (۲۰/۱

غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه و کاه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی بر غلظت روی و مس دانه و کاه در سطح پنج درصد معنی دار و بر غلظت آهن و منگنز دانه و کاه بدون اثر معنی دار بود (جدول ۷). غلظت روی دانه در شرایط تنش خشکی (۲۳/۱

میلی گرم در کیلوگرم) نشان داد و در غلظت مس کاه معادل ۱۲/۸ درصد کاهش بود و مشخص شد که تنش خشکی اثر کاهشی بیشتری بر غلظت روی و مس در کاه نسبت به دانه گندم داشت (جدول ۸).

جدول ۷- خلاصه نتایج تجزیه واریانس غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه و کاه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی دانه	روی کاه	آهن دانه	آهن کاه	منگنز دانه	منگنز کاه	مس دانه	مس کاه
S.V	Df	Grain Zn	Straw Zn	Grain Fe	Straw Fe	Grain Mn	Straw Mn	Grain Cu	Straw Cu
سال (Y)	1	2.60 ^{ns}	0.40 ^{ns}	2.05 ^{ns}	1.55 ^{ns}	2.18 ^{ns}	1.55 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.008 ^{ns}
تکرار (سال)	4	2.59 ^{ns}	0.62 ^{ns}	2.67 ^{ns}	8.37 ^{ns}	2.38 ^{ns}	7.52 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.005 ^{ns}
R(Y)									
آبیاری (Ir)	1	87.6 [*]	45.5 [*]	660 [*]	117.5 [*]	660 [*]	731 [*]	19.5 [*]	126.5 [*]
سال×آبیاری (Y×Ir)	1	2.56 ^{ns}	0.46 ^{ns}	2.55 ^{ns}	2.26 ^{ns}	2.65 ^{ns}	8.55 ^{ns}	0.046 ^{ns}	0.085 ^{ns}
خطای (E1)	4	6.81	2.91	32.9	48.4	12.9	7.82 ^{ns}	2.01	0.01
کود (F)	6	18.0 [*]	65.4 [*]	246 [*]	27.2 [*]	246 [*]	341 [*]	5.34 [*]	3.38 [*]
سال×کود (Y×F)	6	1.52 ^{ns}	0.72 ^{ns}	1.35 ^{ns}	2.40 ^{ns}	5.65 ^{ns}	1.58 ^{ns}	0.092 ^{ns}	0.0074 ^{ns}
آبیاری×کود (Ir×F)	6	1.27 ^{ns}	0.42 ^{ns}	2.75 ^{ns}	2.62 ^{ns}	9.75 ^{ns}	2.59 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.002 ^{ns}
سال×آبیاری×کود (Y×Ir×F)	6	1.42 ^{ns}	0.74 ^{ns}	1.82 ^{ns}	5.60 ^{ns}	2.42 ^{ns}	7.41 [*]	0.091 ^{ns}	0.001 ^{ns}
خطای (E2)	48	3.69	1.28	17.9	28.2	7.96	6.58	1.01	0.132
C.V%		18.1	13.8	14.8	18.4	14.3	16.8	16.7	15.9

** و * : به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی داری ندارند.

** and * : Significant differences at 1% and 5%, respectively, ns: Not significant

جدول ۸- تأثیر تنش خشکی بر غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه گندم (میلی گرم بر کیلوگرم)

آبیاری	روی		آهن		منگنز		مس	
	Zn		Fe		Mn		Cu	
Irrigation	دانه	کاه	دانه	کاه	دانه	کاه	دانه	کاه
	Grain	Straw	Grain	Straw	Grain	Straw	Grain	Straw
آبیاری بعد از ۷۰ میلیمتر تبخیر (Irrigation after 70mm evaporation)	28.8a	20.1a	61.8a	63.3a	36.1a	33.1a	3.72a	4.07a
آبیاری بعد از ۱۴۰ میلیمتر تبخیر (Irrigation after 140mm evaporation)	23.1b	16.3b	58.4a	59.6a	35.7a	34.4a	3.01b	3.55b

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار بین میانگین ها می باشد.

The same letter/letters in each column are not significantly different

تفاوت های معنی داری با شاهد نشان دادند (جدول ۹). غلظت آهن در کاه، با مصرف توأم مواد محرک رشد بیشترین مقدار بود و نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد (جدول ۹). بیشترین غلظت مس در دانه با مصرف توأم مواد محرک رشد و کاربرد فولویک اسید به ترتیب در غلظت های ۴/۰۴ و ۴/۰۲ میلی گرم در کیلوگرم و در کاه با کاربرد فولویک اسید در غلظت ۴/۲۹ میلی گرم در کیلوگرم بدست آمد (جدول ۹). عصاره

اثر اصلی کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت آهن و مس در دانه و کاه در سطح پنج درصد معنی دار و بر غلظت روی و منگنز دانه و کاه بدون تفاوت معنی دار بود (جدول ۷). آزمون توکی نشان داد که کاربرد توأم مواد محرک رشد و فولویک اسید به ترتیب با غلظت ۶۳/۵ و ۶۲/۹ میلی گرم در کیلوگرم، بیشترین غلظت آهن را در دانه بدست دادند (جدول ۹). در تیمارهای کاربرد اسید آمینه، مایه زنی ازتوباکتر و جلبک دریایی

(al., 2019).

مواد هیومیکی موجود در خاک رشد گیاهان را بطور مستقیم و غیر مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. هیومیک اسید به روش‌های مختلفی می‌تواند تأثیر مثبتی روی رشد گیاه داشته باشد. هیومیک اسید باعث افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن و فسفر می‌شوند.

حاصل از جلبک‌ها به عنوان محرک رشد در گیاهان باعث افزایش کلروفیل و فتوسنتز در برگ‌ها و گسترش ریشه می‌گردند که افزایش جذب عناصر غذایی را به همراه دارد (Gharib et al., 2024). فولویک اسید باعث کاهش اثرات خشکی بر گیاه شده و در ترکیب با عناصر کم مصرف قابلیت انتقال و جذب این عناصر را افزایش می‌دهد (Yang et

جدول ۹- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه گندم (میلی گرم بر کیلوگرم)

Table 9- The effect of biostimulants application on concentration of Zn, Fe, Mn and Cu in grain of wheat (mg kg⁻¹)

مواد محرک رشد Biostimulants	روی Zn		آهن Fe		منگنز Mn		مس Cu	
	دانه Grain	کاه Straw	دانه Grain	کاه Straw	دانه Grain	کاه Straw	دانه Grain	کاه Straw
شاهد Control	23.5a	15.2a	54.9c	55.9c	35.1a	32.0a	3.27b	3.61c
اسید آمینه Amino acid	26.5a	17.9a	62.0ab	63.8a	36.2a	32.8a	3.63ab	4.09ab
هیومیک اسید Humic acid	23.3a	16.0a	59.8bc	61.0bc	35.2a	32.4a	3.24b	3.71bc
فولویک اسید Fulvic acid	24.3a	16.6a	62.9a	63.1ab	36.7a	33.8a	4.04a	4.29a
جلبک دریایی Seaweed	25.1a	17.3a	61.7ab	61.9b	34.2a	33.6a	3.59b	3.96b
ازتوباکتر Azotobacter	24.4a	18.1a	60.4b	62.8ab	35.1a	34.2	3.80ab	4.09ab
مصرف توأم مواد محرک رشد Combined application of stimulants	27.5a	18.7a	63.5a	64.9a	37.7a	34.4a	4.02a	4.22ab

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

The same letter/letters in each column are not significantly different

افزایش تحمل گیاه گندم نسبت به تنش خشکی گردید اما با انتخاب باکتری با تحمل بیشتر نسبت به تنش خشکی می‌توان انتظار عملکرد بهتری داشت.

با مروری بر منابع مشاهده گردید که اثر مفید مواد محرک رشد به عنوان یک عامل القاء کننده تحمل به تنش خشکی در گیاه در شرایط تنش بیشتر خود را نشان می‌دهد. در این پژوهش، مشخص شد که در شرایط عدم تنش خشکی، در ویژگی‌های عملکرد و اجزای عملکرد، بین کاربرد و عدم کاربرد مواد محرک رشد، تفاوت‌ها کمتر بوده و اغلب غیر معنی‌دار بودند. بنابراین، به طور کلی کاربرد مواد محرک رشد نسبت به تیمار شاهد باعث بهبود اجزای عملکرد و تغییر غلظت عناصر

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد توأم مواد محرک رشد، برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی گندم را در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر خود قرار داد. بطوری‌که کاربرد جداگانه هر یک از مواد مذکور نیز باعث افزایش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد سطح گردید. در شرایط بدون تنش خشکی، کاربرد اسید آمینه و در شرایط دارای تنش خشکی، کاربرد فولویک اسید اثر بیشتری بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی داشت. در شرایط تنش خشکی، در بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در سنبله بیشتری اثر را از کاربرد فولویک اسید پذیرفت. باکتری محرک رشد نیز باعث

غذایی در بذر و کاه گندم شد. در شرایط کم آبی، جذب عناصر غذایی کاهش یافت و مصرف مواد محرک رشد توانست بر روند جذب عناصر غذایی اثر مثبتی داشته و اثرات منفی کم آبی را کاهش داد. در شرایط بدون تنش خشکی، مصرف اسید آمینه و در شرایط تنش خشکی، کاربرد فولیک اسید بهترین عملکرد را داشتند.

References

- Anderson, M.C., Zolin, C.A., Sentelhas, P.C., Hain, C.R., Semens, K., Yilmaz, M.T., Gao, F., Otkin, J.A. and Tetrault, R., 2016. The Evaporative stress index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. *Remote Sensing of Environment*, 174(2), pp.82-99. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.034>
- El-Boray, M.S., Mostafa, M.F., Shaltout, A.D. and Hassan, K.H., 2015. Influence of fulvic acid plus some microelements and microorganisms on yield quality characteristics of superior seedless grapevines. *Journal of Plant Production*, 6(1), pp.287-305. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.49320>
- El-Hashash, E.F., Abou El-Enin, M.M., Abd El-Mageed, T.A., Attia, M.A.E.H., El-Saadony, M.T., El-Tarabily, K.A. and Shaaban, A., 2022. Bread wheat productivity in response to humic acid supply and supplementary irrigation mode in three Northwestern coastal sites of Egypt. *Agronomy*, 12(1), 1499. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071499>
- Elrys, A.S., Abdo, A.I., Abdel-Hamed, E.M. and Desoky, E.S.M. 2020. Integrative application of licorice root extract or lipoic acid with fulvic acid improves wheat production and defenses under salt stress conditions. *Ecotoxicity and Environmental Safety*, 190(2), pp.110-119. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110144>
- Gharib, F.A.E.L., Osama, K., Sattar, A.M.A.E. and Ahmed, E.Z. 2024. Impact of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Arthrospira platensis* as bio-stimulants on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity. *Scientific Reports*, 14(3), 1398. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843>
- Grammenou, A., Petropoulos, S.A., Thalassinou, G., Rinklebe, J., Shaheen, S.M. and Antoniadis, V., 2023. Biostimulants in the Soil-Plant Interface: Agro-environmental Implications -A Review. *Earth Systems and Environment*, 7(1), pp.583-600. <https://doi.org/10.1007/s41748-023-00349-x>
- Hortin, J.M., Anderson, A.J., Britt, D.W., Jacobson, A.R. and McLean, J.E., 2019. Soil-derived fulvic acid and root exudates, modified by soil bacteria, alter CuO nanoparticle-induced root stunting of wheat via Cu complexation. *Environmental Science: Nano*, 6(1), pp.3638-3652. <https://doi.org/10.1039/c9en00728h>
- Hussain, H.A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., Zhang, K., Li, Y., Xu, Q., Liao, C. and Wang, L., 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, 9(1), pp.1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>
- Kandi, E.E. and Gharib, A.F., 2019. Response of wheat plants to seaweed extracts and fluvic acid under irrigation with drainage water. *Egyptian Academic Journal of Biological Science*, 10(1), pp.35-44. <http://doi.org/10.21608/eajbsh.2019.44518>

- Li, J., Ma, H., Ma, H., Lei, F., He, D., Huang, X., Yang, H. and Fan, G. 2023. Comprehensive effects of N reduction combined with biostimulants on N use efficiency and yield of the winter wheat–summer maize rotation system. *Agronomy*, 13(4), 2319. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092319>
- Mia, M.S., Liu, H., Wang, X., Zhang, C. and Yan, G., 2020. Root transcriptome profiling of contrasting wheat genotypes provides an insight to their adaptive strategies to water deficit. *Scientific Report*, 10(1), pp.1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61680-1>
- Mohite, B., 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid IAA producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(3), pp.638-649. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162013005000051>
- Mona, I.N., Gawish, S.M., Taha, T.A. and Mubara, M., 2017. Response of wheat plants to application of selenium and humic acid under salt stress conditions. *Egyptian Journal of Soil Science*, 57(1), pp.175-187. <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.3715>
- Naderi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biological and Biochemistry*, 34(3), pp.1527-1536. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00174-8)
- Puthur, J.T., 2016. Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants. *South Indian Journal of Biological Science*, 21(1), pp.9–13. <https://doi.org/10.22205/sijbs/2016/v2/i1/100335>
- Shukla, P.S. and Prithviraj, B., 2021. Ascophyllum nodosum biostimulant improves the growth of *Zea mays* grown under phosphorus impoverished conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11(2), 601843. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843>
- Tadros, M.J., Omari, H.J. and Turk, M.A., 2019. The morphological, physiological and biochemical responses of sweet corn to foliar application of amino acids and biostimulants sprayed at three growth stages. *Australian Journal of Crop Science*, 13(1), pp.412-417. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1335>
- Talaat, N.B., Nesiem, M.R., Gadalla, E.G. and Ali, S.F., 2025. Putrescine, in combination with gibberellic acid and salicylic acid, improves date palm fruit quality via triggering protein and carbohydrate accumulation and enhancing mineral, amino acid, sugar, and phytohormone acquisition. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44(3), pp.1249-1265. <http://doi.org/1007/s00344-023-11134-5>
- Yang, W., Li, P., Guo, S., Song, R. and Yu, J., 2019. Co-application of soil superabsorbent polymer and foliar fulvic acid to increase tolerance to water deficit maize: photosynthesis, water parameters, and proline. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 79(3), pp.435-446. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392019000300435>
- Zhanassova, K., Kurmanbayeva, A., Gadilgereyeveva, B., Yermukhambetova, R., Iksat, N., Amanbayeva, U., Bekturova, A., Tleukulova, Z., Omarov, R. and Masalimov, Z., 2021. ROS status and antioxidant enzyme activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(1), pp.1-12. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03281-7>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://crops.cscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 493-506

Effect of deficit irrigation, planting date and biofertilizers on soil bacteria population, root colonization, some morphological traits and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield

Mohammad Jabbari-oranj ^a, Hossein Moghadam ^b, Mohammad Reza Jahansouz ^b, Ali Ahmadi ^b, Babak Motesharezadeh ^c

^a Ph.D. Graduated of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran

^b Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

^c Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding Author: mjabbari.oranj@ut.ac.ir

Received: 29 January 2024

Accepted: 23 June 2024

DOI:10.22034/CSRAR.2024.440659.1398

How to cite this article:

Jabbari-Oranj, M., Moghadam, H., Jahansouz, M.R., Ahmadi, A. and Motesharezadeh, B., 2025. Effect of deficit irrigation, planting date and biofertilizers on soil bacteria population, root colonization, some morphological traits and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 493-506. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.440659.1398>

Abstract

Introduction: The most important problem that threatens food security of any country and the world is the lack of adequate water resources, so one of the ways to deal with this crisis is to use plants with low water requirements and high water use efficiency. Among the plants, we can name Quinoa, which is one of the plants that has been less studied and exploited in Iran. Since the planting date has the greatest impact on the physiological characteristics of the crop compared to other cropping treatments, so choosing the appropriate planting date can also create the greatest correlation between plant growth trends and climatic conditions. Undoubtedly, the use of biological fertilizers, in addition to the positive effects it has on all soil properties, is also economically, environmentally and socially fruitful and can be a suitable and desirable alternative to chemical fertilizers. Therefore, the aim of this study was to determine the response to deficit irrigation, planting date and application of different biofertilizers in quinoa.

Materials and Methods: This experiment was carried out during two cropping years 2019 and 2020 in a farm located in Moghan region in Iran. In this experiment, Titicaca cultivar of quinoa was cultivated in the form of split factorial design based on a randomized complete block design with three replications. Experimental factors included irrigation at three levels (normal irrigation, irrigation termination at bud stage and termination at seed filling stage) as main plot and factorial combination of planting date at three levels including (27 July, 11 August and 27 August) and three types of Nitrogenous biological fertilizer (seed inoculation with *Azotobacter*, seed inoculation with *Azospirillum* and inoculation with a mixture of *Azotobacter* and *Azospirillum* and control (without inoculation)) were also considered in sub-plots. Leaf Length and leaf Width at the physiological maturity stage was measured by randomly selecting 10 plants using a ruler with millimeter accuracy. At the end of the growing season, the product of two middle planting lines with a length of 4 meters



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

was harvested by observing the half-meter margin effect and after drying in a ventilated oven at 70 °C for 24 hours, grain yield was determined. Kjeldahl method was used to measure nitrogen concentration and the percentage of protein was calculated. Finally, protein yield was obtained from the product of protein percentage in seed yield. The soil bacterial population was determined based on the methods recommended and the gridline interest method was used to determine the root colonization percentage. Experimental data were analyzed before analysis of variance for homogeneity of test errors through Bartlett test and then analyzed using SAS (9.2) software and comparison of means at 5% probability level using Duncan multi-range test.

Results and discussion: The results of this study showed that the yield of quinoa increases under the influence of irrigation, planting date and biofertilizers, which is consistent with the results of other researchers' research. Irrigation termination in seed filling stage has no statistically significant difference with normal irrigation treatment, so it can be desirable in water shortage conditions. In terms of the planting date, the 11th of August treatment had the highest seed yield, and the combined use of azotobacter and Azospirillum had a significant effect on the vegetative indices and seed yield of quinoa. Therefore, it seems that the use of bio-fertilizers is one of the best ways to achieve optimal performance, which in the long run can lead to a reduction in the need for chemical inputs in agricultural systems.

Conclusion: The results of this research showed that although normal irrigation with the planting date of 11 August and inoculation with Azotobacter and Azospirillum biofertilizers had the highest amount of studied traits, especially seed yield (3049.7 kg/ha), but with the treatment of irrigation termination in the filling stage with the planting date of 11 August and inoculation with biofertilizers was placed in a same statistical group. Therefore, in terms of the importance of water consumption, it can be said that in the conditions of limited water resources, the treatment of irrigation termination during the seed filling stage has the most favorable results. Investigating the studied traits showed the positive effect of the use of biofertilizers, especially the combined use of Azotobacter and Azospirillum in the studied traits. Hence, the combined use of biofertilizers due to their high ability to fix nitrogen and provide nutrients needed by plants such as phosphorus, potassium, siderophore production and iron solubilization, synthesis of phytohormones such as auxin, cytokinin, gibberellin and synthesis of enzymes that grow and affect the growth of the plant, it showed positive effects on the examined traits, especially the seed yield.

Keywords: Azospirillum, Azotobacter, Seed inoculation, Seed yield

اثر کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه، برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

محمد جباری اورنج^{۱*}، حسین مقدم^۲، محمدرضا جهانسوز^۲، علی احمدی^۲، بابک متشروع زاده^۲

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: mjabbari.oranj@ut.ac.ir

DOI:10.22034/CSRAR.2024.440659.1398

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه، برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کینوا، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در منطقه مغان استان اردبیل، در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در قالب طرح اسپلیت فاکتوریل بر مبنای طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش، شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری معمولی، قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) در کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل تاریخ کاشت در سه سطح (۵ مرداد، ۲۰ مرداد و ۵ شهریور) و سه نوع کود زیستی نیتروژن‌دار (تلقیح بذر با ازتوباکتر، تلقیح بذر با آروسپیریلوم و تلقیح بذر با مخلوط ازتوباکتر و آروسپیریلوم و شاهد (بدون تلقیح)) نیز در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که کاربرد آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی باعث افزایش طول برگ و عملکرد پروتئین گردیده و بیشترین عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، جمعیت باکتری خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه و عملکرد دانه (۳۰۴۹/۷ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آروسپیریلوم، ازتوباکتر، تلقیح بذر، عملکرد دانه

مقدمه

ارتفاعات ۴۰۰۰ متری در بولیوی و از عرض‌های ۲ درجه شمالی در کلمبیا تا ۴۰ درجه جنوبی در شیلی کشت می‌شود. این گیاه دارای مسیر فتوسنتزی C₃ بوده و دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث نازایی آن می‌شود. طول دوره رشد آن در ژنوتیپ‌های مختلف بین ۸۵ تا ۱۸۲ روز می‌باشد. کینوا دارای ریشه‌های قوی و عمیق و منشعب بوده و بسته به ارتفاع گیاه می‌تواند تا عمق ۱/۵ متر نفوذ کند (Bois et al., 2006). عملکرد بالقوه کینوا در صورتی که کلیه شرایط مطلوب برای آن فراهم باشد بسته به رقم و منطقه کشت، ۶-۱/۵ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2011). با توجه به کارایی‌ها و قابلیت تحمل کینوا به شوری و خشکی، مهم‌ترین عاملی که کینوا را مناسب در مناطق خشک و بیابانی مستعد کشت می‌نماید زودرسی آن است، چرا که در انتهای دوره رشد، خشکی یک مشکل مهم برای کینوا محسوب شده و زودرسی یک خط مشی مهم برای کاهش اثرات آن است (Jacobsen et al., 2009). کینوا به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالا در برابر شرایط

مهم‌ترین مشکلی که امنیت غذایی کشور و جهان را تهدید می‌کند، کمبود منابع آب مناسب است. از طرفی گستره مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران که بیش از ۱/۵ میلیون کیلومتر مربع است نشان می‌دهد، خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در این منطقه است (Abolhasani Zeraatkar et al., 2008). از راهکارهای مقابله با این بحران استفاده از گیاهانی با نیاز آبی پایین و کارایی مصرف آب بالا می‌باشد، از آن جمله گیاهان می‌توان کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) را نام برد که در ایران کمتر مورد بررسی و بهره‌برداری قرار گرفته است. کینوا گیاه دولپه‌ای آلوتراپلویئید (2n=4x=36)، از خانواده تاج‌خروس (*Amaranthaceae*)، زیرخانواده اسفناج، جنس سلمه‌تره، گونه کینوا می‌باشد (Ahamed et al., 1996). کینوا یک شبه‌غله بومی منطقه آند در آمریکای جنوبی است که از ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سال پیش در این منطقه کشت می‌شده است. کینوا از سطح دریا در شیلی تا

کاشت مناسب و آبیاری کینوا صورت نگرفته است، بنابراین بررسی واکنش به کم آبیاری، تاریخ کاشت و کاربرد کودهای مختلف زیستی در شرایط کم آبیاری ضروری می باشد.

مواد و روش ها

این آزمایش در طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در مزرعه ای واقع در منطقه مغان با موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۲۰ متر از سطح دریا، که از نظر آب و هوایی طبقه بندی اقلیمی جزء مناطق معتدل گرم با متوسط بارش سالیانه ۳۰۰-۲۵۰ میلی متر و با میانگین حداکثر دمای سالیانه ۲۰ و میانگین حداقل دمای سالیانه ۸ درجه سانتی گراد بوده اجرا شد. ویژگی های خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری مطابق جدول ۱ بود. همچنین آمار هواشناسی منطقه در سال های اجرای آزمایش به شرح جدول ۲ بود.

در این آزمایش گیاه کینوا رقم تی تی کاکا که بذر آن از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شده بود، به عنوان کشت تابستانه و به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار کشت گردید. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری معمولی، قطع آبیاری در مرحله غنچه دهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) در کرت اصلی و ترکیب فاکتوریل تاریخ کاشت در سه سطح (۵ مرداد، ۲۰ مرداد و ۵ شهریور) و سه نوع کود زیستی نیتروژن دار (تلقیح بذر با ازتوباکتر، تلقیح بذر با آروسپیریوم و تلقیح بذر با ازتوباکتر و آروسپیریوم و شاهد (بدون تلقیح)) نیز در کرت های فرعی در نظر گرفته شدند. قبل از اجرای آزمایش از خاک محل اجرای طرح نمونه برداری و آنالیز شد و براساس نتایج آزمون خاک کود فسفره مورد نیاز به صورت فسفات آمونیوم و نیتروژن به صورت اوره در زمین پخش و با خاک مخلوط گردید. عملیات کاشت کینوا در تاریخ کاشت های ذکر شده به صورت دستی انجام شد. در این آزمایش فاصله ردیف ۵۰ سانتی متر و فاصله بوته ها روی ردیف ۵ الی ۱۰ سانتی متر (به طور متوسط ۷ سانتی متر با تراکم ۲۸۵۷۰۰ بوته در هکتار) در نظر گرفته شد. جهت دستیابی به تراکم فوق، ابتدا بذرها با تراکم بالا کشت شده و سپس با عملیات تنک تراکم مورد نظر حاصل گردید. برای تلقیح بذر کینوا، کودهای زیستی

شدید محیطی و کیفیت آن به عنوان یک غذای کاربردی می تواند به امنیت غذایی در قرن بیست و یکم کمک کند (Bvenura and Kambizi, 2022; Singh et al., 2022).

رشد و نمو کینوا همانند سایر گیاهان در شرایط تنش کاهش می یابد (Elewa et al., 2017). کمبود آب با کاهش تبادلات گازی برگ سبب کاهش اندازه منبع و مخزن می شود، در نتیجه بارگیری، تخلیه و تسهیم مواد فتوسنتزی در گیاه به هم می ریزد (Farooq et al., 2009).

تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل دار، عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد، کربوهیدرات، پروتئین، محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه کینوا می گردد (Dawood, 2018). از آنجا که تاریخ کاشت نسبت به سایر تیمارهای زراعی بیشترین تاثیر را بر خصوصیات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زارعی می گذارد، بنابراین انتخاب تاریخ کاشت مناسب می تواند بیشترین تطابق را میان روند رشد گیاه و شرایط اقلیمی ایجاد کند (Gharineh et al., 2019).

در سال های اخیر برای نیل به حفظ حیات طبیعی، تنوع زیستی، پایداری منابع خاک و آب و حفظ محیط زیست به کشاورزی پایدار و ارگانیک اهمیت بیشتری داده شده است. بنابراین یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار، به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و جایگزین نمودن آن ها با کودهای زیستی است. کودهای زیستی که جزء ضروری کشاورزی ارگانیک محسوب می شوند، حاوی موجودات زنده با گونه های کارآمد تثبیت کننده نیتروژن و حل کننده فسفات هستند که برای بذر، خاک یا محل های حاوی کمپوست با هدف افزایش تعداد این میکروارگانیسم ها و سرعت بخشیدن به فرآیندهای میکروبی که دسترسی به مواد غذایی را برای آسیمیلاسیون مناسب در گیاهان مهیا می کنند، مورد استفاده قرار می گیرند (Venkataswarlu, 2008). آروسپیریوم و ازتوباکتر از ریزموجودات تثبیت کننده نیتروژن مولکولی هستند که علاوه بر جذب آب و مواد غذایی، در همیاری با ریشه گیاهان، رشد آن ها را تقویت نموده و مقاومت گیاه را در برابر عوامل زنده و غیرزنده محیطی افزایش می دهند و می توانند نقش کلیدی در حاصلخیزی خاک و حفاظت محیط ایفا کنند (Itelima et al., 2018).

از آنجایی که مطالعات زیادی در خصوص تغذیه، تاریخ

در تاریخ کاشت‌های مشخص شده به‌روشن نواری یا تیپ انجام شد. در تیمار آبیاری معمولی در هر کرت آزمایشی که ۸ متر مربع بود در هر دور آبیاری ۳۶۰ لیتر آب مصرف گردید که با ۵ بار آبیاری در تیمار آبیاری معمولی مقدار ۲۲۵۰۰۰۰ لیتر معادل ۲۲۵ میلی‌متر آب در کل دوره رشد مصرف گردید و میزان بارندگی طبق آمار هواشناسی در سال اول برابر ۱۰۲ میلی‌متر و در سال دوم برابر ۱۱۲ میلی‌متر بود. از طرفی در منابع، نیاز آبی این گیاه بین ۲۵۴ تا ۳۸۱ میلی‌متر با ترکیب آبیاری و بارندگی بیان شده است (Scanlin and Lewis, 2017).

ازتوباکتر کرکوکوم MG386293 و آزوسپیریلوم برازیلنس MH130055، با تعداد 10^8 سلول زنده در یک میلی‌لیتر محلول از هر کدام از باکتری‌ها، از موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. برای هر کیلوگرم بذر مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر کود زیستی با محلول ۲۰ درصد شکر و ۴۰ درصد صمغ عربی به‌عنوان مواد چسبنده به‌کار رفت و در تیمار مخلوط ازتوباکتر و آزوسپیریلوم به‌صورت ۵۰ درصد از هر کود زیستی طبق دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب برای بذور ریز استفاده گردید. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از پایان کشت

جدول ۱- نتیجه تجزیه خاک محل اجرای آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک (آزمایشگاه اکیچی اردبیل)

Table 1- Soil analysis results for 0 to 30 cm depth of experimental field (Akinchi Ardabil Laboratory)

بافت خاک	فسفر	نیتروژن کل	کربن آلی	پتاسیم	شن	سیلت	رس	آهک	اسیدیته	شوری
Soil Texture	P(ave) (ppm)	N Total (%)	Organic carbon (%)	K(ave) (ppm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Lime (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)
رسی Clay	9.6	0.08	0.76	509	22	32	46	17.5	7.5	1.77

جدول ۲- آمار هواشناسی مربوط به فصل رویش کینوا در دوره دو ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۹)

Table 2- Weather data for quinoa growing season during two year (2019 and 2020)

	تبخیر		بارندگی		رطوبت نسبی		میانگین دمای حداقل		میانگین دمای حداکثر	
	Evaporation (mm)		Rainfall (mm)		Relative humidity (%)		Mean min. temperature (°C)		Mean max. temperature (°C)	
	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۹
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
مرداد July - Aug	250.6	247.1	0	3.6	47	53	21.8	21.7	33.2	32.1
شهریور Aug - Sep	129.5	220.4	43.2	34.2	64	60	17.9	17.9	27.8	29.8
مهر Sep - Oct	133.4	87.4	10.1	28.0	68	71	15.1	13.9	25.3	24.1
آبان Oct - Nov	87.0	61.4	20.3	10.5	69	78	8.1	10.5	17.9	18.3
آذر Nov - Dec	28.3	15.3	29.2	36.5	78	85	4.4	4.1	11.3	9.1
جمع Total	628.8	631.6	102.8	112.8	-	-	-	-	-	-
میانگین Average	-	-	-	-	65.2	69.4	13.5	13.6	23.1	22.7

*ماخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل

دلنه همچنین بررسی جمعیت باکتری خاک محیط ریشه و تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه نیز انجام گرفت. جهت انتخاب نمونه‌ها و اندازه‌گیری صفات زراعی، دو خط کناری و همچنین نیم‌متر از دو طرف خطوط میانی به‌عنوان اثر

مبارزه با علف‌های هرز در طول دوره رشد به‌صورت دستی و برای مبارزه با آفات از آفت‌کش‌های شیمیایی کنفیدور و لاروین استفاده گردید. صفات مورد اندازه‌گیری شامل طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین اصلی، عملکرد پروتئین و عملکرد

نتایج و بحث

طول برگ

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که طول برگ در کینوا تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت، همچنین اثر سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین طول برگ از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی از تو باکتر و آزوسپیریلوم (۴/۴۵ سانتی‌متر) و کمترین طول برگ از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و عدم تلقیح کود زیستی (۳/۳۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۴). اثر تنش آبی بر روی خواص رشدی گیاه کینوا نظیر طول و عرض برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید (Jamali et al., 2020). در پژوهشی تأثیر منابع مختلف کودهای آلی بر افزایش طول و عرض برگ کینوا معنی‌دار گزارش گردید (Amiryousefi et al., 2020; Bilalis et al., 2012). بنابراین افزایش تثبیت نیتروژن توسط کودهای آلی از تو باکتر و آزوسپیریلوم و فراهمی رطوبت باعث افزایش رشد رویشی و افزایش صفات مورفولوژیک مثل طول برگ شده است. طول برگ با عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه رابطه مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

عرض برگ

اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر عرض برگ کینوا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید، همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها اثر متقابل معنی‌داری بین آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی نشان داد (جدول ۳) به‌طوری‌که بیشترین عرض برگ (۲/۹۲ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کود زیستی از تو باکتر و آزوسپیریلوم و کمترین عرض برگ (۱/۷۳ سانتی‌متر) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح کودهای زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). تنش آبی بر روی خواص رشدی گیاه کینوا نظیر طول و عرض برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (Jamali et al., 2020). کودهای زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن، توانایی

حاشیه کنار گذاشته شده و از باقیمانده دو خط وسطی نمونه برداری انجام گردید. طول برگ و عرض برگ، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با انتخاب تصادفی تعداد ۵ بوته از هر کرت و ۱۰ برگ از هر بوته و با استفاده از خط کش و با دقت میلی‌متری اندازه‌گیری شد (Jamali et al., 2020). تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی برای تعیین تعداد شاخه در گل‌آذین اصلی در هر بوته، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک انتخاب و میانگین تعداد آن‌ها در هر بوته تعیین گردید. در پایان فصل رشد، محصول دو خط کاشت وسطی به طول ۴ متر با رعایت نیم‌متر اثر حاشیه از طرفین برداشت شده و پس از خشک شدن در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت عملکرد دانه تعیین گردید (Emam and Pirasteh, 2014). برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن و پروتئین از روش کجلدال استفاده گردید (Sharpe et al., 2001). درصد نیتروژن از رابطه ۱ تعیین شد (Emam and Pirasteh, 2014). پس از محاسبه درصد نیتروژن و قرار دادن آن در رابطه ۲ درصد پروتئین محاسبه گردید (Estrella, 2008).

$$(1) \quad \text{درصد نیتروژن نمونه} = \frac{0.014 \times 100 \times \text{نرمالیته اسید حجم} \times \text{مصرفی اسید مصرفی میلی لیتر}}{\text{وزن نمونه به گرم}}$$

(۲) $5.93 \times \text{درصد نیتروژن} = \text{درصد پروتئین دانه}$
در نهایت از حاصل ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه، عملکرد پروتئین حاصل شد.

جمعیت باکتری خاک براساس روش‌های توصیه شده محققان تعیین گردیده است (Fallah Wollum et al., 1982; Nosratabad, 2013). برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از روش خطوط متقاطع (Gridline Interest Method) استفاده شد (Phillips and Hayman, 1970).
 $100 \times (\text{تعداد کل برخوردها} / \text{تعداد نقاط آبی}) = \text{درصد کلونیزاسیون ریشه}$

در پایان، قبل از تجزیه واریانس برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها داده‌های آزمایشی از طریق آزمون بارتلت مورد بررسی قرار گرفته و سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه (۹/۲) تجزیه شدند. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

شاخه در گل آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد (جدول ۵).

حل کنندگی فسفر خاک، ترشح انواع هورمون‌های محرک رشد، آنزیم‌های طبیعی و انواع آنتی‌بیوتیک‌ها را دارند که موجب رشد ریشه و توسعه بخش‌های هوایی گیاه می‌شوند (Spaepen and Dobbelaere, 2011). عرض برگ در کینوا با طول برگ، تعداد

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در کینوا تحت کم آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی

منبع تغییرات Sources Of Variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean of Squares						
		طول برگ Leaf length	عرض برگ Laf width	تعداد شاخه در گل آذین No. of branches in the inflorescence	عملکرد پروتئین Protein Yield	عملکرد دانه Seed Yield	باکتری خاک Soil bacterial population	کلونیزاسیون ریشه Root colonization (%)
سال Year	1	0.21**	0.79**	34.80**	177.24**	1310.78*	20.91**	490.21**
خطا ۱ Error1	4	0.01	0.02	0.01	1.27	63.66	0.08	7.35
آبیاری Irrigation (I)	2	1.05**	8.10**	97.98**	281.39**	1754.89**	10.85**	167.76**
سال×آبیاری (Year×Irrigation)	2	0.01	0.02	0.09	1.45	55.30	0.08	5.16*
خطا ۲ Error2	8	0.01	0.05	0.07	1.76	52.10	0.04	0.85
تاریخ کاشت Planting date (P.D)	2	0.54**	0.28**	54.08**	654.27**	1545.20**	0.22*	29.32**
کود Fertilizer (F)	3	2.67**	1.93**	21.35**	571.46**	2854.21**	4.43**	518.81**
تاریخ کاشت×کود Planting date×Fertilizer	6	0.07*	0.08*	1.94*	17.92*	1012.16*	0.02	3.57*
سال×تاریخ کاشت Year×planting date	2	0.01	0.02	0.02	3.08	60.89	0.02	1.78*
سال×کود Year×Fertilizer	3	0.01	0.03	0.07	4.97	63.12	0.02	22.52**
سال×تاریخ کاشت×کود Year×Planting date×Fertilizer	6	0.03	0.01	0.07	2.35	52.36	0.01	0.24
آبیاری×تاریخ کاشت Irrigation×planting date	4	0.84**	0.05*	3.77**	120.36**	6466.88**	0.19*	8.87*
آبیاری×کود Fertilizer×Irrigation	6	0.14**	0.15**	1.51*	89.75**	1493.74**	0.19*	7.35*
آبیاری×تاریخ کاشت×کود Year×planting date×Irrigation	12	0.09*	0.04*	0.6*	34.36*	814.50*	0.56*	2.03*
سال×آبیاری×تاریخ کاشت Year×Irrigation×planting date	4	0.02	0.02	0.04	1.68	53.60	0.01	0.55
سال×آبیاری×کود Year×Irrigation×Fertilizer	6	0.02	0.02	0.04	1.82	53.71	0.05	0.65
سال×آبیاری×تاریخ کاشت×کود (Y×I×P.D×F)	12	0.02	0.01	0.05	1.92	59.457	0.02	0.07
اشتباه آزمایشی Error	44	0.02	0.03	0.39	19.76	355.36	0.02	0.99
ضریب تغییرات CV (%)		3.29	7.28	7.44	12.01	8.47	6.41	9.45

به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد ** و *

* and ** indicate significant at 5% and 1% probability level, respectively.

تعداد شاخه در گل آذین

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها، اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی را از نظر تعداد شاخه در گل آذین کینوا معنی‌دار نشان داد. همچنین تجزیه مرکب اثرمتقابل معنی‌داری بین اثرات سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که مشاهده می‌شود بیشترین تعداد شاخه در گل آذین (۱۱/۳۳) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام بذر با کودهای زیستی از توپاکتر و آزوسپیریلوم و کمترین تعداد شاخه در گل آذین (۵/۸۷) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح بذر با کود زیستی به‌دست آمد (جدول ۴).

تنش رطوبتی و تاخیر در کاشت و همچنین عدم تلقیح کودهای زیستی باعث کاهش ۴۹ درصدی تعداد شاخه در گل آذین شده است. در بررسی‌های انجام گرفته نیز تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه گل دار کینوا شده است (Dawood, 2018).

تعداد شاخه در گل آذین با طول برگ، عرض برگ، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تفاوت معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی از نظر عملکرد دانه در کینوا نشان داد. همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرات متقابل معنی‌دار سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی با احتمال ۵ درصد را نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد دانه (۳۰۴۹/۷ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی از توپاکتر و آزوسپیریلوم بود، هرچند که بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه در این شرایط به‌دست آمد ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی (۳۰۰۶ کیلوگرم بر هکتار) نداشت. بنابراین این تیمار به‌سبب کاهش مصرف آب برتری داشته و کمترین عملکرد دانه (۱۲۵۳/۳ کیلو

گرم بر هکتار) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح بذر با کود زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). گزارش‌های زیادی مبنی بر کاهش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی و تاثیر تاریخ کاشت و کودهای زیستی بر عملکرد دانه وجود دارد (Dawood, 2018).

کمبود رطوبت سبب کاهش تولید و انتقال فتوآسیمیلات‌ها به دانه شده، از طرفی کاهش طول دوره رشد سبب پر نشدن معمولی دانه و تولید دانه‌های کوچک‌تر در شرایط تنش رطوبتی می‌شود. همچنین این کاهش به‌علت آثار منفی تنش بر روی سطح برگ، فتوسنتز، پوشش گیاهی، سرعت رشد محصول و عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد است (Patten and Glick, 2002).

تاخیر در کاشت تأثیر زیادی بر تقسیم ماده خشک گیاهی به دانه دارد و باعث کاهش کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده همچنین گزارش شده است که کینوا در دوره پر شدن دانه، به دمای بالاتر از ۲۵ درجه و کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد حساس است و دمای خارج از این محدوده به‌شدت باعث کاهش عملکرد می‌شود (Samadzadeh et al., 2020).

بر این اساس در تاریخ کاشت ۵ مرداد و ۲۰ مرداد به‌سبب اینکه مرحله گلدهی تا پر شدن دانه مصادف با اواخر شهریور و اوایل مهرماه بود و در این زمان میانگین دما در منطقه بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود می‌تواند تأثیر مثبت در عملکرد دانه داشته باشد. در همین ارتباط یافته‌های پژوهش مشابهی روی کینوا در بیرجند نشان داد که تاریخ کاشت اواسط مرداد که گرده‌افشانی آن با دماهای نسبتاً مناسب در اواخر شهریور مواجه بود، توانست رشد زایشی کینوا را به‌طور مطلوبی بهبود بخشد (Mostafaei et al., 2023).

عملکرد دانه کینوا با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل آذین، عملکرد پروتئین، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

عملکرد پروتئین

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تفاوت معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی از نظر عملکرد پروتئین در کینوا در سطح احتمال ۱ درصد را نشان

زیستی حاصل شد (جدول ۴).

رطوبت محیط از عوامل مهم و موثر بر جمعیت و فعالیت‌های میکروبی خاک از جمله تنفس میکروبی می‌باشد، رطوبت خاک به‌طور مستقیم بر وضعیت فیزیولوژیک باکتری‌ها تأثیر دارد زیرا دسترسی به آب، دسترسی به مواد آلی را نیز تنظیم می‌کند که به‌نوبه خود بر جمعیت میکروبی خاک تأثیر دارد (Chen et al., 2006).

گزارش شده است که در خاک‌های تیمار شده با انواع کودهای آلی شاخص زیستی جمعیت میکروبی تأثیر مثبتی از کودهای آلی گرفته و موجب افزایش سلامت خاک شده است (Igalavithana et al., 2017). جمعیت باکتری خاک با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تأثیر معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ درصد کلونیزاسیون ریشه نشان داد، همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرمتقابل معنی‌داری بین آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۱۶/۵۳ درصد) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه (۴/۶۴ درصد) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح با کودهای زیستی حاصل شد (جدول ۴).

درصد کلونیزاسیون ریشه می‌تواند به خصوصیات زیستی ریزموجودات، قدرت رقابت آن‌ها با سایر میکروب‌ها، خصوصیات ریشه گیاه، خواص فیزیکی خاک و محیط گیاه میزبان وابسته باشد (Mahmoudzadeh et al., 2016).

مقدار رطوبت خاک به‌مقدار زیادی کلونیزاسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا شاید بتوان رطوبت بیشتر و تعادل عناصر غذایی در خاک نظام‌های زراعی اکولوژیک و کم‌نهاد را دلیل کلونیزاسیون بیشتر ریشه در آن‌ها دانست (Gehring et al., 2006).

داد، همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرمتقابل معنی‌داری بین اثرات سه‌گانه آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۳). به‌طوری‌که بیش‌ترین عملکرد پروتئین (۵۸۰/۹ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کمترین عملکرد پروتئین دانه (۱۶۶/۴ کیلوگرم بر هکتار) از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ شهریور و عدم تلقیح کود زیستی به‌دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزای مرتبط با عملکرد، کربوهیدرات و پروتئین دانه کینوا گردید (Dawood, 2018). در یک مطالعه مروری میزان پروتئین ژنوتیپ‌های کینوا در مکان‌های مختلف از ۱۱ تا ۱۸ درصد متغیر بود (Angeli et al., 2020).

متفاوت بودن مقدار پروتئین خام در گیاه کینوا تحت تأثیر تاریخ کاشت به‌دلیل شرایط محیطی متفاوت گزارش گردید (Gonzalez et al., 2012).

به‌کار بردن کودهای زیستی به‌صورت تلقیح همزمان از طریق اثرات هم‌افزایی با بالا بردن هورمون‌های افزایش‌دهنده رشد، مهار عوامل بیماری‌زا و کاهنده رشد گیاهی باعث افزایش عملکرد دانه و به‌تبع آن افزایش عملکرد پروتئین را به‌دنبال دارد. عملکرد پروتئین دانه با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل‌آذین، عملکرد دانه، جمعیت باکتری خاک و درصد کلونیزاسیون ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

جمعیت باکتری خاک

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها تأثیر معنی‌داری بین اثرات ساده سال، آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۱ درصد از لحاظ جمعیت باکتری خاک نشان داد، همچنین تجزیه مرکب داده‌ها اثرمتقابل سه‌جانبه معنی‌داری بین آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین جمعیت باکتری خاک (cfu/gr) 3×10^6 از تیمار آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام ازتوباکتر و آزوسپیریلوم و کمترین جمعیت باکتری خاک (cfu/gr) $1/47 \times 10^6$ از تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با تاریخ کاشت ۵ مرداد و عدم تلقیح با کودهای

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه (آبیاری، تاریخ کاشت، کودهای زیستی) بر صفات مورد ارزیابی کینوا

Table 4- Comparison of the mean of the three-way effect Irrigation, planting date, biofertilizers on quinoa

		طول برگ	عرض برگ	تعداد شاخه در گل آذین	
		Leaf Length (cm)	Leaf Width (cm)	Number of branches in the inflorescence	
آبیاری معمولی Normal irrigation	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	3.80 l-o	2.35 f-k	7.17 j-n
		Azotobacter	4.07 e-h	2.78 a-c	9.70 b-d
		Azospirillum	4.15 c-h	2.78 a-c	9.13 c-g
		Azoto+Azos	4.45 a	2.70 a-d	9.73 b-d
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	3.67 op	2.38 e-j	9.38 c-f
		Azotobacter	4.02 g-z	2.65 a-e	10.13 bc
		Azospirillum	4.03 g-z	2.67 a-d	10.87 ab
		Azoto+Azos	4.38 ab	2.92 a	11.33 a
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	3.77 m-o	2.28 h-m	7.95 g-l
		Azotobacter	4.20 c-f	2.62 b-f	8.67 d-i
		Azospirillum	4.25 b-d	2.77 a-c	8.27 f-j
		Azoto+Azos	4.15 c-h	2.80 ab	8.73 d-i
قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی Irrigation termination at bud stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	3.82 k-o	1.80 rs	6.57 m-o
		Azotobacter	4.30 a-c	2.23 i-o	8.07 g-k
		Azospirillum	3.97 h-i	2.00 n-s	7.60 h-n
		Azoto+Azos	4.28 a-d	2.20 j-p	7.80 h-m
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	3.37 q	1.87 q-s	7.17 j-n
		Azotobacter	3.68 n-p	2.05 m-q	7.47 i-n
		Azospirillum	3.52 pq	1.93 p-s	7.67 h-n
		Azoto+Azos	3.68 n-p	2.07 l-r	7.60 h-n
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	3.65 op	1.73 s	5.87 o
		Azotobacter	4.00 h-j	1.98 o-s	6.73 l-o
		Azospirillum	3.88 i-m	1.85 rs	6.40 no
		Azoto+Azos	3.73 m-o	2.02 m-r	6.47 no
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Irrigation termination at seed filling stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	3.65 op	2.03 m-r	7.80 h-m
		Azotobacter	4.12 c-h	2.73 a-c	9.47 c-f
		Azospirillum	3.98 h-k	2.63 b-e	9.53 c-e
		Azoto+Azos	4.28 a-d	2.33 g-l	9.87 b-d
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	3.73 m-o	2.13 l-q	9.13 c-g
		Azotobacter	4.22 b-e	2.53 b-h	9.73 b-d
		Azospirillum	4.18 c-g	2.60 b-g	10.13 bc
		Azoto+Azos	4.38 ab	2.58 b-g	10.87 ab
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	3.53 p	1.93 p-s	6.92 k-o
		Azotobacter	4.10 d-h	2.50 c-i	7.67 h-n
		Azospirillum	3.85 j-n	2.27 j-n	8.80 d-h
		Azoto+Azos	4.27 b-d	2.43 h-n	8.33 e-j

در هرستون میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly difference at the 5% level.

تلقیح بود (Jiriae et al., 2014).

درصد کلونیزاسیون ریشه با طول برگ، عرض برگ، تعداد شاخه در گل آذین، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین و جمعیت باکتری خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

تلقیح با کودهای زیستی باکتریایی باعث افزایش رشد ریشه‌ها به موازات افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه صورت می‌گیرد، تلقیح بذر گندم با آروسپیریلوم، کلونیزاسیون ریشه را در گندم تا ۹ درصد افزایش داده و بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه معادل ۳۵/۹۳ درصد بوده که ۹ درصد بیشتر از تیمار عدم

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه (آبیاری، تاریخ کاشت، کودهای زیستی) بر صفات مورد ارزیابی کینوا

Table 4- Comparison of the mean of the three-way effect Irrigation, planting date, biofertilizers on quinoa

		عملکرد پروتئین Protein Yield	عملکرد دانه Seed Yield	جمعیت باکتری خاک	کلونیزاسیون ریشه	
				Soil bacterial population	Root colonization (%)	
آبیاری معمولی Normal irrigation	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	279.3 i-l	2328.4 c-l	2.03 f-k	6.49 i-m
		Azotobacter	418.5 c-g	2642.6 a-g	2.63 a-e	12.06 b-g
		Azospirillum	468.6 b-e	2807.3 a-d	2.70 a-d	14.51 a-c
		Azoto+Azos	580.9 a	2897.5 a-c	2.92 ab	15.19 ab
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	307.1 h-l	2398.1 c-k	2.00 f-l	6.59 i-m
		Azotobacter	396.5 e-h	2521.9 a-i	2.65 a-e	11.75 b-h
		Azospirillum	425.5 c-g	2663.8 a-g	2.70 a-d	12.93 b-d
		Azoto+Azos	504.7 a-d	3049.7 a	3.00 a	16.53 a
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	253.2 j-m	2140.0 k-q	2.13 e-j	7.11 l-m
		Azotobacter	366.9 e-l	2459.6 b-j	2.50 a-f	8.73 e-l
		Azospirillum	427.8 c-g	2781.5 a-e	2.70 a-d	9.77 d-j
		Azoto+Azos	519.3 a-c	2869.2 a-d	2.88 ab	11.17 c-h
قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی Irrigation termination at bud stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	239.0 k-m	1825.2 k-q	1.47 l	5.44 lm
		Azotobacter	352.1 f-j	1983.7 h-o	1.73 i-l	8.53 f-m
		Azospirillum	363.9 e-i	1923.5 j-p	1.73 i-l	10.06 d-i
		Azoto+Azos	410.2 d-h	1937.4 i-p	2.00 f-l	11.70 b-h
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	179.8 m	1342.2 qr	1.53 kl	5.61 k-m
		Azotobacter	283.3 i-l	1583.4 n-r	1.73 i-l	8.12 g-m
		Azospirillum	338.7 f-k	1834.7 k-q	1.77 i-l	9.11 d-l
		Azoto+Azos	336.4 g-k	1650.8 m-r	1.93 g-l	11.02 c-h
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	166.4 m	1253.3 g-o	1.70 j-l	4.65 m
		Azotobacter	266.5 i-m	1485.0 a-h	1.90 h-l	5.68 k-m
		Azospirillum	287.1 i-l	1536.8 c-k	2.07 f-j	8.09 h-m
		Azoto+Azos	364.7 e-i	1765.4 a-f	2.10 f-j	8.81 e-l
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Irrigation termination at seed filling stage	کاشت ۵ مرداد 27 July	Non-Inoculation	263.5 i-m	2112.2 g-o	1.90 h-l	5.93 j-m
		Azotobacter	432.0 c-g	2561.3 a-h	2.20 d-j	8.93 e-l
		Azospirillum	419.7 c-g	2397.0 c-k	2.27 c-i	11.46 b-h
		Azoto+Azos	547.6 ab	2730.9 a-f	2.40 b-h	12.67 b-e
	کاشت ۲۰ مرداد 11 August	Non-Inoculation	280.5 i-l	2212.6 e-m	1.93 g-l	5.80 j-m
		Azotobacter	426.1 c-g	2554.4 a-h	2.47 a-g	9.13 d-l
		Azospirillum	443.3 c-f	2552.7 a-h	2.53 a-f	9.23 d-l
		Azoto+Azos	578.2 a	3006.0 ab	2.67 a-e	12.57 b-e
	کاشت ۵ شهریور 27 August	Non-Inoculation	217.7 lm	1682.1 m-r	1.77 i-l	6.35 i-m
		Azotobacter	338.4 f-k	1966.5 i-p	2.23 c-j	9.57 d-k
		Azospirillum	405.5 d-h	2315.7 c-l	2.40 b-h	12.20 d-f
		Azoto+Azos	444.2 c-f	2296.8 d-l	2.75 a-c	11.56 b-h

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly difference at the 5% level.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه کینوا تحت تأثیر آبیاری، تاریخ کاشت و کودهای زیستی

Table 5- Correlation coefficients between studied quinoa traits under the influence of irrigation, planting date and biofertilizers

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00						
2	0.68**	1.00					
3	0.57**	0.81**	1.00				
4	0.79**	0.77**	0.75**	1.00			
5	0.66**	0.88**	0.83**	0.84**	1.00		
6	0.62**	0.80**	0.73**	0.71**	0.72**	1.00	
7	0.69**	0.77**	0.70**	0.82**	0.64**	0.83**	1.00

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

* and ** indicate significant at 5% and 1% probability level, respectively.

۱= طول برگ Leaf length, ۲= عرض برگ Leaf Width, ۳= تعداد شاخه در گل آذین Number of branches in the inflorescence, ۴= عملکرد پروتئین Protein

Yield, ۵= عملکرد دانه Seed Yield, ۶= جمعیت باکتری خاک Soil bacterial population, ۷= کلونیزاسیون ریشه Root colonization

نتیجه گیری کلی

و آزوسپیریوم در صفات مورد مطالعه بود. بنابراین استفاده توام از کودهای زیستی به دلیل توانایی بالا در تثبیت نیتروژن و فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه همچون فسفر، پتاسیم، تولید سیدروفور و محلول سازی آهن، سنتز فیتوهورمون ها از جمله اکسین، سیتوکنین، جیبرلین و سنتز آنزیم هایی که رشد و نمو گیاه را تحت تاثیر قرار می دهند، اثرات مثبتی بر صفات مورد بررسی به خصوص عملکرد دانه نشان داد.

عدم تعارض منافع

نگارندگان اعلام می کنند که هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

نتایج این پژوهش نشان داد که هرچند آبیاری معمولی با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریوم بیشترین میزان صفات مورد مطالعه به خصوص عملکرد دانه (۳۰۴۹/۷ کیلوگرم در هکتار) را داشت ولی با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با تاریخ کاشت ۲۰ مرداد و تلقیح توام کودهای زیستی در یک گروه آماری قرار گرفت. بنابراین به لحاظ اهمیت مصرف آب می توان گفت که در شرایط محدودیت منابع آبی تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه مطلوب ترین نتیجه را دارد. بررسی صفات مورد مطالعه نمایانگر تاثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی به ویژه کاربرد توام ازتوباکتر

References

- Abolhasani Zeraatkar, M., Lakzian, A., Haghnia, Gh., Astaraei, A. and Sarcheshme poor, M., 2008. The study of salt and drought tolerance of *Sinorhizobium meliloti* isolated from Kerman province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), pp.1–10. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v6i1.1170>
- Ahamed, N.T., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R., Kale, D.D. and Pal, M., 1996. Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatas* starch as biodegradable fillers in LDPE films. *Carbohydrate Polymers*, 31(3), pp.157–160.
- Amiryousefi, M. R., Tadayon, M. R. and Ebrahimi, R., 2020. Effect of chemical and biological fertilizers on some physiological traits, yield components and yield of quinoa plant. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(2), pp. 1–17. <https://doi.org/10.47176/jcpp.10.2.209112>
- Angeli, V., Silva, P.M., Massuela, D.C., WaleedKhan, M., Hamer, A., Khajehei, F., Graeff-Honinger, S. and Piatti, C., 2020. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An overview of the potentials of the “Golden Grain” and socio-economic and environmental aspects of its cultivation and marketization. *Foods*, 9(2), 216. <https://doi.org/10.3390/foods9020216>
- Bilalis, D., Kakabouki, I., Karkanis, A., Travlos, I., Triantafyllidis, V. and Hela, D., 2012. Seed and saponin production of organic quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) for different tillage and fertilization. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(1), pp.42–46. <https://doi.org/10.15835/nbha4017400>
- Bois, J.F., Winkel, T., Lhomme, J.P., Raffailac, J.P. and Rocheteau, A., 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature. Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25, pp.299-308.
- Bvenura, C. and Kambizi, L., 2022. Future grain crops. In *Future Foods*, Academic Press, pp.81–105. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91001-9.00032-3>
- Chen, M.M., Zhu, Y.G., Su, Y.H., Chen, B.D., Fu, B.J. and Marschner, P., 2006. Effects of soil moisture and plant interactions on the soil microbial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 43, pp.31–38. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.05.001>

- Dawood, M.G., 2018. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(5), pp.245–254.
- Elewa, T.A., Sadak, M.S. and Saad, A.M., 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1), pp.21–33.
- Emam, Y. and Pirasteh Anousheh, E., 2014. *Farm and laboratory methods in agricultural sciences*. Mashhad University Jihad Publications. [In Persian].
- Estrella, D.A.R., 2008. *Amino acid composition and nitrogen to protein conversation factors for three legumes and tow pseudo-cereals* [Degree thesis]. Quito.
- Fallah Nosratabad, A.R., 2013. Evaluation of relationships between soil properties and total bacteria and fungi in soils of Guilan. *Journal of Soil Management and Sustainability*, 2(2), pp.49–68. [In Persian].
- FAO, (Food and Agricultural Organization of the United Nations)., 2011. Quinoa; an acient crop to contribute to world food security. 63p.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D.B.S.M.A. and Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, pp.185–196. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Gehring, C.A., Mueller, R.C. and Whitham, T.G., 2006. Environmental and genetic effects on the formation of ectomycorrhizal and arbuscular mycorrhizal in cottonwoods. *Oecologia*, 149, pp.158–164. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0437-9>
- Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A., Andarzian, B. and Shirali, M., 2019. Effects of sowing dates and irrigation levels on morphological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Khuzestan. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(3), pp.149–156. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.209566.654135>
- Gonzalez, A., Konishi, Y., Bruno, M., Valoy, M. and Prado, F.E., 2012. Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoas (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars from two different agro-ecological regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, pp.1222–1229. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4686>
- Igalavithana, A.D., Lee, S.S., Nabeel Khan Niazi, N.K., Lee, Y.H., Kim, K.H., Park, J.H., Moon, D.H. and Ok, Y.S., 2017. Assessment of soil health in urban agriculture: Soil enzymes and microbial properties. *Sustainability*, 9, pp.1–14. <https://doi.org/10.3390/su9020310>
- Itelima, J.U., Bang, W.J., Onyimba, I.A., Sila, M.D. and Egbere, O.J., 2018. Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A review. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3), pp.73–83.
- Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S.M., 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on quinoa. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(6), pp.1687–1697. [In Persian].
- Jacobsen, S.E., Liu, F. and Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), pp.281–287.

- Jiriaie, M., Esfandiari, F. and Aynehband, A., 2014. Evaluation the some root traits of treated wheat with mycorrhiza and *Azospirillum*. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 4(1), pp.61–73.
- Mahmoudzadeh, M., Rasouli Sadaghiani, M.H., Asgari Lajayer, H. and Sefidkon, F., 2016. Biochemical changes in terpenoids, essential oil content and yield in peppermint (*Mentha piperita* L.) under bacterial and fungal treatments under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 7(2), pp.151–162. [In Persian]. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.2.151>
- Mostafaei, M., Jami Al-Ahmadi, M., Salehi, M. and Shahidi, A., 2023. Investigation of physiological and yield characteristics of quinoa as affected by different levels of irrigation and plant density. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(1), pp.29–46. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74044.1126>
- Patten, C.L. and Glick, B.R., 2002. The role of bacterial indoleacetic acid in the development of the plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, pp.3795–3801. <https://doi.org/10.1128/aem.68.8.3795-3801.2002>
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), pp.158–161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- Samadzadeh, A., Zamani, G. and Fallahi, H.R., 2020. Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crop Research*, 33(1), pp.82–104. [In Persian].
- Scanlin, L. and Lewis, K.A., 2017. Quinoa as a sustainable protein source: Production, nutrition, and processing. In S. Nadathur, J.P.D. Wanasundara, & L. Scanlin (Eds.), *Sustainable protein sources* (pp. 223–238). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802778-3.00014-7>
- Sharpe, R.R., Harper, L.A., Giddens, J.E. and Langdale, G.W., 2001. Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation-tilled wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 52, pp.1349–1398. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200050035x>
- Singh, M.P., Soni, K., Bhamra, R., and Mittal, R.K., 2022. Superfood: Value and need. *Current Nutrition & Food Science*, 18(1), pp.65–68. <https://doi.org/10.2174/1573401317666210420123013>
- Spaepen, S. and Dobbelaere, S., 2011. Effects of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants. *Plant and Soil*, 312, pp.15–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9560-1>
- Venkateshwarlu, B., 2008. Role of bio-fertilizers in organic farming. In *Organic farming in rain fed agriculture* (pp. 85–95). Central Institute for Dry Land Agriculture, Hyderabad.
- Wollum, A.G., 1982. Cultural methods for soil microorganisms. *Journal of Agronomy and Soil Science*, 2, pp.781–801. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c37>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 507-518

Genetic variation for yield and some morphological traits in common millet genotypes in Birjand climatic condition

Ali Azarinasrabad ^{*a}, Ardalan Mehrani ^b, Reza Ataei ^b, Asadollah Nakhei ^c

^a Horticulture and crops Research Department, south khorassan Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Birjand, Iran

^b Seed and Plant Improvement Institute, , AREEO, Karaj, Iran

^c Expert of agronomical research, Horticulture and crops Research Department, south khorassan Agricultural and Natural Resources Research and Education center, AREEO, Birjand, Iran

*Corresponding Author: Azari_ali2003@yahoo.com

Received: 24 May 2025

Accepted: 11 July 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.523008.1488

How to cite this article:

Azarinasrabad, A., Mehrani, A., Ataei, R. and Nakhei, A., 2025. Genetic variation for yield and some morphological traits in common millet genotypes in Birjand climatic condition. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 507-518.

<https://doi.org/10.22034/csrar.2025.523008.1488>

Abstract

Introduction: Millet species are among the earliest plants to be domesticated and have historically served as staple foods in Central and Western Asia (particularly in China, India, and Russia), Europe, and parts of Africa. Millets belong to the tribe *Panicaceae* within the grass family (*Poaceae*). Finger millet (*Eleusine coracana* L.) is one of the economically important species. This species belongs to the tribe *Chlorideae* and is cultivated mainly in parts of India and Africa, where it is used both as grain and fodder. Compared to other millet species, finger millet requires moderate climatic conditions and adequate rainfall. The tribe *Panicaceae*, on the other hand, is considered one of the largest tribes in the *Poaceae* family, comprising 71 genera and approximately 1400 species distributed mainly in tropical and temperate regions. *Panicum* is one of the largest genera, including about 400 species that are mostly distributed in subtropical and temperate zones. Most recent studies have focused on understanding the correlations between grain yield and its contributing components to determine which traits should be prioritized when selecting superior cultivars. Therefore, this study was conducted in Birjand to develop a preliminary strategy for identifying high-performing cultivars.

Materials and Methods: In this experiment, various morphological, phenological, and quantitative traits were measured, including plant height, stem diameter, number of leaves, number of tillers, number of fertile tillers, 1000-seed weight, leaf-to-stem ratio, fresh and dry weight of stems and leaves, fresh and dry forage yield, grain yield, reaction to rust disease, and days to flowering. To assess resistance to rust disease, a scale from 1 to 5 was used, where 1 indicated susceptibility and 5 indicated high tolerance to the disease. For determining grain yield, panicles from the two middle rows were harvested after removing 0.5 meters from each end of the plot at physiological maturity. After threshing and cleaning, the grain yield was calculated. After collecting the data, statistical analysis was performed using the MSTAT-C software. To compare the means, Duncan's multiple range test was employed at the 5% probability level. Simple correlation coefficients between traits were



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

calculated based on the results of the first and second years using SPSS software. Environmental and genetic variance components were also estimated based on the expected mean squares. Principal component analysis was conducted using SPSS software to reduce data dimensionality and interpret the existing variation among genotypes.

Results and Discussion: The results of the combined analysis of variance over three experimental years showed that all studied cultivars significantly differed ($p \leq 0.01$) for all measured traits, indicating substantial genetic variability among them. The genotype \times year interaction was statistically significant ($p \leq 0.01$) for grain yield and dry forage yield, and significant at the 5% level for fresh forage yield, while no significant interaction was observed for other traits. Mean comparisons using Duncan's multiple range test revealed that cultivars KCM19, KCM6, KCM5, and KCM1 produced the highest number of tillers, whereas KCM8 had the lowest. In terms of fertile tiller count, KCM2 and KCM5 had the highest, while KCM14 had the lowest. Regarding leaf number, KCM1, KCM5, and KCM6 had the highest values, while KCM8 and KCM20 had the lowest. For plant height, KCM3, KCM6, and KCM10 showed the maximum heights with averages of 87.4, 87.2, and 88.9 cm respectively, while KCM12 had the minimum height at 61.9 cm. In terms of stem diameter, KCM2 had the maximum value (4.5 mm), while KCM1 had the smallest (3.2 mm).

Conclusion: Combined ANOVA of morphological and quantitative traits indicated significant differences among cultivars in terms of yield performance. Among the tested cultivars, KCM1, KCM8, KCM14, KCM18 were identified as the most promising. Correlation analysis between grain yield and other traits showed that dry forage yield ($r = 0.59^{**}$), number of leaves ($r = 0.32^*$), plant height ($r = 0.65^{**}$), panicle length ($r = 0.51^{**}$), and number of tillers ($r = 0.34^{**}$) had positive and significant correlations with grain yield. Genetic variation coefficients were higher for fresh and dry forage yield and leaf number compared to other traits, indicating considerable diversity among the studied lines. Given the genetic diversity among genotypes, principal component analysis (PCA) was carried out to determine the role and contribution of each trait. PCA explained the existing variability through five main components. Based on the eigenvalues and eigenvectors within each component, these findings can be effectively utilized in breeding programs to exploit trait relationships and improve selection efficiency.

Keywords: Correlation, Geneticall variance, Grain yield, Principal component analysis

ارزیابی تنوع و مقایسه عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی در ژنوتیپ‌های ارزن معمولی در شرایط آب‌وهوایی بیرجند

علی آذری نصرآباد^{۱*}، اردلان مهرانی^۲، رضا عطایی^۲، اسدالله نخعی^۲

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

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

۳- کارشناس بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

* مسئول مکاتبه: Azari_ali2003@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.523008.1488

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۳

چکیده

به منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد دانه، کاه و صفات مورفولوژیکی ۲۰ ژنوتیپ ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) و همبستگی این صفات با عملکرد دانه، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت سه سال در منطقه بیرجند اجرا شد. صفات مورفولوژیکی و عملکردی مورد مطالعه شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، نسبت برگ به ساقه، وزن تر و خشک ساقه و برگ، عکس‌العمل به ورس و تعداد روز تا گل‌دهی، عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و عملکرد دانه بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که از میان ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، چهار ژنوتیپ KCM1، KCM8، KCM14 و KCM18 به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب و پایدار جهت کاشت در منطقه بیرجند توصیه شدند. همچنین در بررسی همبستگی عملکرد دانه با صفات مورد مطالعه مشخص شد که عملکرد علوفه خشک ($r=0.59^{**}$)، تعداد برگ ($r=0.32^{**}$)، ارتفاع گیاه ($r=0.65^{**}$)، طول پانیکول ($r=0.51^{**}$) و تعداد پنجه ($r=0.34^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند. ضریب تنوع ژنتیکی برای عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و تعداد برگ بالاتر از سایر صفات مورد بررسی بود که حاکی از تنوع زیاد بین لاین‌های مورد مطالعه از این نظر بود. با توجه به تنوع بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، به منظور تعیین نقش و مقدار تأثیر هر یک از صفات مورد بررسی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تعداد پنج مؤلفه تنوع موجود بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را توجیه کردند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، عملکرد دانه، واریانس ژنتیکی، همبستگی

مقدمه

بخصوص تنش خشکی به یک معضل جهانی تبدیل شده‌اند (Liu et al., 2011). پایگاه‌های هواشناسی و تغییرات مدل‌های شبیه‌سازی شده، همگی نشان‌دهنده افزایش شدت و فراوانی خشکی در مقیاس جهانی هستند (Zhao and Dai, 2015). لذا در چنین شرایطی کشت گیاهان زراعی متحمل به خشکی، گرما و شرایط تنش‌زا (مانند سورگوم و ارزن‌ها) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

ارزن‌ها، از جمله اولین گیاهانی محسوب می‌شوند که اهلی شده‌اند و به عنوان یک غذای اصلی در آسیای مرکزی و غربی (خصوصاً در چین، هند و روسیه)، اروپا و بعضی از قسمت‌های آفریقا مطرح بوده‌اند (Wietgreffe, 1990). ارزن‌ها از نظر تیپ، در قبیله‌ای از خانواده گندمیان تعلق دارند. ارزن انگشتی

تأمین امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل رشد سریع جمعیت و تغییرات شدید آب‌وهوایی همواره یکی از چالش‌های بزرگ بخش کشاورزی است (Lobell et al., 2008). پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به بیش از ۹ میلیارد نفر (۳۴٪ بیشتر از حال حاضر) برسد. همچنین بیشتر این افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه رخ خواهد داد و ۷۰ درصد از جمعیت سال ۲۰۵۰ (۲۱٪ بیشتر از حال حاضر) شهرنشین خواهد بود (Wise, 2013). لذا به منظور تأمین امنیت غذایی چنین جمعیتی نیاز به ارقام اصلاح‌شده‌ای است که بتوانند عملکرد بالا و پایداری را در محیط‌های مختلف تولید کنند. از طرفی، تنش‌های غیرزنده

قرار گرفت و همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه مشاهده شد (Kumar et al., 2022). در تحقیق دیگری، ۴۰ ژنوتیپ ارزن تحت شرایط تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفتند و همبستگی فنوتیپی و ژنوتیپی صفات مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. در شرایط تنش خشکی، طول سنبله و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشتند، این مطالعه نشان داد که در شرایط تنش، صفاتی مانند وزن هزار دانه و طول سنبله باید مورد توجه قرار گیرد (Reddy et al., 2023). در تحقیقی که در شرایط کشاورزی ارگانیک صورت گرفت، روابط بین صفات مختلف زراعی مورد بررسی قرار گرفت و اعلام شد، تعداد سنبلچه در بوته و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد داشتند (Deshmukh et al., 2024).

در تحقیقی ۲۰۰ ژرمپلاسم ارزن از مناطق مختلف جغرافیایی با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای از نظر تنوع مورد ارزیابی قرار گرفتند، تنوع قابل توجهی در صفاتی مانند ارتفاع بوته، طول سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه مشاهده شد و ژنوتیپ‌های منطقه شمال چین بیش‌ترین تنوع را نشان دادند (Zhang et al., 2016).

۶۰ ژنوتیپ ارزن از مناطق مختلف هند با استفاده از صفات فنوتیپی و نشانگرها مورد مقایسه قرار گرفتند. صفات فنوتیپی بیش‌ترین تنوع را در وزن هزار دانه، طول سنبله و تعداد سنبلچه نشان دادند، تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به ۵ گروه تقسیم کرد (Kumar et al., 2017). در تحقیقی تنوع ۱۵۰ رقم محلی ارزن در چین با استفاده از ضریب تنوع فنوتیپی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد ارزیابی قرار گرفت، بیش‌ترین تنوع در طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه مشاهده و ژنوتیپ‌های پر محصول با صفات مطلوب برای برنامه‌های اصلاحی شناسایی شدند (Li et al., 2020).

اغلب تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر جهت دستیابی به اطلاعات کافی در زمینه همبستگی عملکرد دانه ارزن با اجزای عملکرد بوده است تا نهایتاً مشخص شود که برای انتخاب یک رقم مطلوب باید به کدام یک از صفات بیشتر توجه شود؛ بنابراین در همین راستا و برای دستیابی به استراتژی اولیه در انتخاب رقم یا ژنوتیپ‌های برتر ارزن، تحقیق حاضر در بیرجند به اجرا درآمد.

(*Elusine Coracana L.*) از گونه‌هایی است که ارزش اقتصادی دارد. این گونه به قبیله *Choloridae* تعلق دارد و در مناطقی از هند و آفریقا کشت می‌شود و در این مناطق به صورت دانه و علوفه مورد مصرف قرار می‌گیرد و در مقایسه با سایر ارزن‌ها به آب‌وهوای معتدل و بارندگی مطلوب نیاز دارد (Baltensperger, 2001).

در پژوهشی، بررسی روابط بین صفات مورفولوژیک نشان داد که عملکرد علوفه ارزن، همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد پنجه، تعداد روز تا گلدهی و قطر ساقه داشت؛ در حالی که ارقام با طول پانیکول بیشتر از عملکرد دانه پایین‌تری برخوردار بودند. همچنین در این پژوهش، تجزیه مسیر (علیت) نشان داد که عملکرد علوفه خشک تا حد زیادی با صفات تعداد پنجه و تعداد روز تا گلدهی به صورت هم‌سو و در یک جهت تغییر می‌کنند (Dezfouli and Mehrani, 2010). نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داد که صفات تعداد پنجه در بوته، تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع بوته ارتباط تنگاتنگی با عملکرد علوفه دارند (Kumar et al., 2017; Shinde et al., 2010; Zhang et al., 2010). بنابراین توجه به این صفات در فرآیند انتخاب برای افزایش عملکرد علوفه از اهمیت زیادی برخوردار است.

در پژوهشی به منظور بررسی هتروزیس در ارقام ارزن مرواریدی، ۱۵۰ هیبرید به همراه والدین در سال ۲۰۰۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که هتروزیس قابل ملاحظه‌ای برای تمامی صفات مورد ارزیابی (تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول پانیکول، وزن صد دانه و عملکرد تک بوته) وجود داشت. دامنه تغییرات هتروزیس برای صفت عملکرد دانه نسبت به رقم استاندارد بین ۶۵/۵۱ تا ۴۸/۹۹ بود (Vetriventhan et al., 2008).

بررسی جمعیت‌های بومی ارزن مرواریدی در شش منطقه در غرب آفریقا با استفاده از طرح آمیزشی لاین × تستر نشان داد که عملکرد دانه دارای هتروزیس متوسط نسبت به والدین بود و میانگین عملکرد دانه در مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند. علاوه بر این همبستگی بین عملکرد هیبریدها و ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و در حدود ۰/۵۶ بود (Pucher et al., 2016).

در تحقیقی، همبستگی صفات مختلف شامل تعداد سنبلچه در بوته، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته و عملکرد دانه مورد ارزیابی

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سه سال (۱۳۹۱-۱۳۹۳) در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک است. میانگین ۱۵ ساله بارندگی این منطقه ۱۷۶ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس نتایج تجزیه خاک، منطقه موردنظر دارای بافت لوم رسی شنی، هدایت الکتریکی ۲/۷۴ میلی موس بر سانتی‌متر و اسیدیته ۸/۳۸ بود. این طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل ۲۰ ژنوتیپ ارزن دانه‌ای معمولی بودند که مورد مطالعه قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها با همکاری بانک ملی ژن گیاهی متعاقب بررسی‌ها و مقایسه‌ها مقدماتی در توده‌های مختلف ارزن معمولی به‌دست آمد. در این آزمایش هر کرت شامل شش خط کاشت به طول چهار متر و با فاصله ردیف نیم متر بود که دو ردیف کناری در دو طرف هر کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و بین تکرارها سه متر در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات‌آمونیم قبل از کاشت داخل زمین پخش گردید. میزان بذر مصرفی برای کاشت ۱۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم بوته در واحد سطح ۳۵ بوته در نظر گرفته شد. کاشت بذور در هر سه سال در اواخر خردادماه به روش خشکه‌کاری و با دست انجام گردید. قبل از کاشت، بذور به‌وسیله قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به میزان ۲ در هزار ضدعفونی گردید. آبیاری مزرعه به‌صورت نشتی و با دور آبیاری هفت روز انجام گردید. دو سوم از کل کود ازته از منبع اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (هر یک ماه) به‌طور یکنواخت در فاصله ردیف‌های کاشت پخش شد.

در این آزمایش صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور در زمان گلدهی در پنج بوته تصادفی از دو ردیف میانی هر کرت پس از حذف نیم متر ابتدا و انتهای اندازه‌گیری شدند، صفات فنولوژیکی از

جمله تعداد روز تا گلدهی و همچنین صفات وزن هزار دانه، نسبت برگ به ساقه، وزن تر و خشک ساقه و برگ، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد دانه و عکس‌العمل به ورس نیز اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه تر و خشک، از خشک‌کن (آون) با دمای ۷۰ درجه و ترازوی با دقت ۰/۱ استفاده شد. در مورد صفت عکس‌العمل به ورس از نمره‌های یک تا پنج استفاده شد که نمره یک نشان‌دهنده حساسیت و نمره پنج نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ به ورس است. جهت تعیین عملکرد دانه پانیکول‌های دو ردیف میانی در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن برگ‌های پایینی بوته) پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای کرت برداشت و پس از جداکردن دانه از پانیکول و بوجاری، عملکرد دانه تعیین گردید. نسبت برگ به ساقه نیز به‌طور همزمان با عملکرد دانه، در پنج بوته تصادفی اندازه‌گیری و ثبت گردید.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید. ضرایب همبستگی ساده بین صفات بر اساس نتایج سه سال با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. اجزای واریانس محیطی و ژنتیکی بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات با استفاده از فرمول‌های زیر برآورد گردید. در این فرمول‌ها، V_G واریانس ژنتیکی، V_P واریانس فنوتیپی، MSE میانگین مربعات خطای آزمایش یا واریانس محیطی، MSg میانگین مربعات ژنوتیپ‌ها (تیمار)، PCV ضریب تغییرات فنوتیپی و GCV ضریب تغییرات ژنوتیپی و r تعداد تکرار می‌باشند.

$$V_E = MSe \quad V_G = (MSg - MSe) / r \quad V_P = V_G + V_E \quad (۱)$$

$$PCV = \frac{\sqrt{VP}}{\bar{X}} \quad GCV = \frac{\sqrt{VG}}{\bar{X}} \quad (۲)$$

برآورد وارث پذیری صفات نیز از طریق فرمول زیر انجام شد. در این فرمول σ^2g برآوردی از واریانس ژنتیکی و σ^2e برآورد واریانس خطا در جدول تجزیه واریانس و h^2 وارث‌پذیری عمومی صفت است.

$$h^2 = \frac{\sigma^2g}{\sigma^2g + \sigma^2e} \quad (۳)$$

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور کاهش حجم داده‌ها و تفسیر تنوع موجود بین ژنوتیپ‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد تفاوت آماری معنی‌دار نشان دادند که نشان‌دهنده تنوع ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد مطالعه است (جدول ۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در سه سال آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تمام

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه ارزن معمولی در بیرجند
Table 1- Combined analysis of variance for different traits of Common millet in Birjand (M.S)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد کل پنجه Total tiller number	تعداد پنجه بارور Fertile tiller number	تعداد برگ Leaf number	طول پانیکول Panicle length	ارتفاع گیاه Plant height	وزن هزار دانه 1000- Kernel weight	عملکرد علوفه تر Wet forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد دانه Grain yield	ورس Lodging	روز تا گلدهی Day to flowering
سال Year	2	19.5 ^{ns}	0.004 ^{ns}	12.8 ^{ns}	2.7 ^{ns}	8015	21.02 ^{ns}	1823 ^{**}	202.3 ^{**}	148 [*]	3.8 ^{ns}	47 ^{ns}
اشتباه (الف) Error (a)	6	27.7	0.2	63.4	15.9	581	0.69	15.3	1.2	0.08	0.47	11.4
ژنوتیپ Genotype	19	21.6 ^{**}	2.4 ^{**}	22.3 ^{**}	87.9 ^{**}	460.8 ^{**}	1.3 ^{**}	68.5 ^{**}	5.9 ^{**}	0.97 ^{**}	0.21 ^{**}	141.9 ^{**}
ژنوتیپ × سال Genotype*Year	38	6.1 ^{ns}	0.02 ^{ns}	8.8 ^{ns}	1.6 ^{ns}	85.2 ^{ns}	0.16 ^{ns}	131.4 [*]	1.9 ^{**}	0.7 ^{**}	0.12 ^{ns}	3.9 ^{ns}
اشتباه (ب) Error (b)	114	5.9	0.145	7.9	9.2	63.3	0.14	8.5	0.81	0.3	0.119	5.5
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)		27.2	6.2	34	14.2	10.2	6.8	20.4	17.2	19.3	8.4	5.3

ns, *, ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

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

گیاه ژنوتیپ‌های KCM6 و KCM10 با میانگین‌های به ترتیب ۸۸/۹ و ۸۷/۲ سانتی‌متر بیش‌ترین و ژنوتیپ KCM12 با میانگین ۶۱/۹ سانتی‌متر کم‌ترین میزان را به خود اختصاص دادند. از نظر قطر ساقه ژنوتیپ KCM2 با میانگین ۴/۵ میلی‌متر بیش‌ترین میزان و ژنوتیپ KCM1 با میانگین ۳/۲ میلی‌متر کم‌ترین را در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه داشتند.

از نظر وزن هزار دانه ژنوتیپ KCM1 با میانگین ۶/۱ گرم بیش‌ترین و ژنوتیپ KCM2 با میانگین ۴/۹ گرم کم‌ترین وزن هزار دانه را دارا بودند.

بخشی از تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر وزن هزار دانه می‌تواند به تفاوت در زمان رسیدن آن‌ها باشد به گونه‌ای که در ژنوتیپ‌های دیررس‌تر فرصت بیشتری برای تجمع ماده خشک فراهم شده و در نتیجه وزن هزار دانه در آن‌ها بالاتر شده است. از نظر عملکرد علوفه تر ژنوتیپ‌های KCM1 و KCM18 به ترتیب با میانگین ۱۴/۹ و ۱۴/۳ تن در هکتار بالاترین و ژنوتیپ‌های KCM11 و KCM13 کم‌ترین میزان را دارا بودند. از نظر عملکرد علوفه خشک، ژنوتیپ‌های KCM8 و KCM18 با میانگین ۴ تن در

اثر متقابل ژنوتیپ × سال نیز در صفات عملکرد دانه و عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک درصد و در صفات عملکرد علوفه تر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد و در سایر صفات تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). مقایسه میانگین صفات مورد نظر در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۲ و میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و سال از نظر عملکرد علوفه و دانه در جدول ۳ آورده شده است. بر این اساس از نظر تعداد کل پنجه ژنوتیپ‌های KCM19، KCM6، KCM5 و KCM1 به‌طور مشترک با میانگین تعداد ۱۱ پنجه بیش‌ترین میزان و ژنوتیپ KCM8 با میانگین تعداد ۵ پنجه کم‌ترین میزان پنجه‌دهی را دارا بود. از نظر تعداد پنجه بارور ژنوتیپ KCM2 و KCM5 میانگین ۷ بیش‌ترین تعداد و ژنوتیپ KCM14 با میانگین ۵ کم‌ترین میزان را به خود اختصاص داد. از نظر تعداد برگ ژنوتیپ‌های KCM1، KCM5 و KCM6 با میانگین تعداد ۱۱ برگ بیش‌ترین میزان و ژنوتیپ‌های KCM8 و KCM20 با میانگین ۵ برگ کم‌ترین میزان برگ را دارا بودند. از نظر ارتفاع

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف ارزن معمولی در شرایط آب و هوایی بیرجند

Table 2- Mean comparison of studied traits among different genotypes of Common Millet in Birjand

ژنوتیپ Genotype	روز تا گلدهی Days to flowering	ورس lodging	تعداد کل پنجه Total tiller number	تعداد پنجه بارور Fertile tiller number	تعداد برگ Leaf number	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	ضخامت ساقه Stem diameter (mm)	وزن هزار دانه 1000-Kernel weight (g)
KCM1	39.5 hi	4.2 def	10.7 a	5.8 fghi	10.7 a	68.8 de	3.2 c	6.5 a
KCM2	44.8 cde	4.2 def	5.7 bc	7.1 a	5.5 bc	78.4 abcd	4.5 a	4.9 e
KCM3	45.6 c	4.3 cde	9.5 abc	6.2 cdefgh	9.5 ab	78.4 abcd	4.3 ab	5.8 ab
KCM4	41.2 gh	3.6 g	8.8 abc	5.9 efgh	8.8 abc	73.3 bcd	3.4 ab	5.7 abc
KCM5	44 cdef	4.6 abcd	11.4 a	6.8 ab	11.2 a	83 abc	3.8 bc	5.4 bcd
KCM6	50 b	3.5 gh	11.1 a	6.3 cdefgh	10.9 a	87.2 a	4 abc	5.2 cde
KCM7	50.8 b	3.1 gh	9.9 ab	6.3 cdefgh	9.6 ab	78.1 abcd	3.7 abc	5.1 de
KCM8	42.8 defg	5 a	5.4 c	5.7 hi	5.3 c	68.5 de	3.9 abc	5.2 cde
KCM9	53 a	3.5 gh	9.6 abc	7 ab	9.5 ab	84 ab	4.3 ab	5.1 de
KCM10	50.4 b	4.4 bcd	8.4 abc	6.5 bc	8.4 abc	88.9 a	4.1 abc	5.9 ab
KCM11	42.5 efg	4.8 ab	9.2 abc	5.6 i	9 abc	82.3 abc	3.9 abc	5.1 de
KCM12	40.1 gef	5 a	7.7 abc	5.9 defgh	7.9 abc	61.9 e	3.5 bc	5.5 bcd
KCM13	40.4 b	3 i	7.8 abc	6.7 abc	7.8 abc	80.6 abc	3.9 abc	5.9 ab
KCM14	38.7 i	4.8 ab	8.7 abc	5 j	8.4 abc	73.7 bcd	3.7 abc	5.1 de
KCM15	44.2 cdef	3.7 fg	8.2 abc	5.9 efgh	8.2 abc	75.7 bcd	3.8 abc	5.8 ab
KCM16	44.5 cde	3.8 efg	8.2 abc	6 defgh	8.1 abc	84.8 ab	3.8 abc	5.3 cde
KCM17	43 defg	4.5 a	8.7 abc	5.7 ghi	7.9 abc	71.7 cde	3.9 abc	5.5 bcd
KCM18	45 cd	3.7 gh	9 abc	6.5 bcd	7.8 abc	74.4 bcd	3.5 bc	5.8 ab
KCM19	41.9 fg	3.7 gh	11.2 a	6.3 cde	5.5 bc	79.2 abcd	4.1 ab	5.4 bcd
KCM20	44 cdefg	4.7 abc	9.1 abc	6 defghi	5.3 c	82.8 abc	3.7 abc	5.8 ab

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم تفاوت معنی‌دار است.

Means followed by the same letter(s) within each column are not significantly different

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سال از نظر عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف ارزن معمولی در شرایط آب و هوایی بیرجند

Table 3- Mean comparison of genotype and year Interaction for yield among different genotypes of Common Millet in Birjand

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield (t ha ⁻¹)			عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t ha ⁻¹)			عملکرد علوفه تر Wet forage yield (t ha ⁻¹)		
	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال اول	سال دوم	سال سوم
	First year	2 nd year	3 rd year	First year	2 nd year	3 rd year	First year	2 nd year	3 rd year
KCM1	3.57 b-d	2.6 h-p	3.1 c-k	3.7 a-f	3.6 a-f	3.7 a-f	16.4 a	13.4 a	14.9 a
KCM2	3.39 b-g	2.8 f-p	3.1 c-k	2.8 b-f	4.2 a-e	3.5 a-f	11.2 a	14.8 a	12.9 a
KCM3	2.75 f-p	2.4 k-q	2.6 i-q	3 a-f	4.4 a-c	3.7 a-f	12.1 a	11.4 a	11.8 a
KCM4	2.6 i-p	2.5 j-q	2.5 i-q	3.2 a-f	3.7 a-f	3.4 a-f	12.3 a	11.6 a	11.9 a
KCM5	3.1 c-l	2.7 f-p	2.9 d-n	4 a-f	3.8 a-f	3.9 a-f	18 a	11 a	14.5 a
KCM6	3.03 d-m	2.2 n-s	2.6 i-p	4.1 a-e	3.5 a-f	3.8 a-f	17.1 a	10.5 a	13.8 a
KCM7	3.6 b-d	2.7 f-p	3.1 c-j	4.2 a-e	3.4 a-f	3.8 a-f	16.7 a	10 a	13.4 a
KCM8	3.9 ab	2.9 d-m	3.4 b-f	3 a-f	4.9 a	4 a-f	13.1 a	14.5 a	13.8 a
KCM9	2.8 e-p	1.9 q-t	2.3 l-q	2.6 b-f	4.3 a-d	3.5 a-f	11.8 a	12.4 a	12.1 a
KCM10	2.8 d-o	2.7 f-p	2.7 f-p	2.4 c-f	3.7 a-f	3 a-f	9.4 a	10.7 a	10 a
KCM11	3.3 b-i	1.9 q-t	2.6 i-q	3 a-f	2 f	2.5 b-f	12.6 a	5.5 a	9 a
KCM12	3.4 b-h	2.4 j-q	2.9 d-n	3.4 a-f	4.5 ab	3.9 a-f	13.6 a	11.5 a	12.6 a
KCM13	0.84 u	0.7 u	0.8 u	2.2 ef	2.3 def	2.2 ef	7.2 a	5.3 a	6.3 a
KCM14	4.3 a	3.3 b-i	3.8 a-c	3 a-f	4.3 a-d	3.6 a-f	11.9 a	12.3 a	12.1 a
KCM15	3.4 b-f	2.1 p-s	2.7 f-p	3.4 a-f	3.7 a-f	3.5 a-f	13.9 a	10.9 a	12.4 a
KCM16	3.5 b-e	2.7 f-p	3.1 c-k	3.8 a-f	3.7 a-f	3.7 a-f	15.7 a	10.9 a	13.3 a
KCM17	1.6 r-t	1.4 t-u	1.5 st	3 a-f	3 a-f	3 a-f	12 a	7.6 a	9.8 a
KCM18	2.6 i-p	2.7 f-p	2.6 h-p	3.5 a-f	4.5 ab	4 a-f	13.9 a	14.6 a	14.3 a
KCM19	2.4 j-q	2.1 o-s	2.3 l-q	3 a-f	3.7 a-f	3.3 a-f	12.2 a	10.7 a	11.5 a
KCM20	2.6 h-p	2.5 j-q	2.6 h-p	3.4 a-f	4.4 abc	3.9 a-f	13.1 a	11.8 a	12.5 a

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم تفاوت معنی‌دار است.

Means followed by the same letter(s) within each column are not significantly different

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های ارزن معمولی

Table 4- Simple Correlation Coefficients of agronomic traits in Common millet genotypes

Traits صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱- عملکرد علوفه خشک	1												
۲- وزن خشک برگ	0.55**	1											
۳- وزن خشک ساقه	0.62**	0.8**	1										
۴- عملکرد دانه Grain yield	0.59**	0.65**	0.7**	1									
۵- تعداد برگ Leaf number	0.32	0.33*	0.36**	0.32*	1								
۶- نسبت برگ به ساقه	-0.01	0.43**	-0.17	0.14	0.12	1							
۷- ارتفاع گیاه Plant height	0.48**	0.57**	0.65**	0.65**	0.56**	0.02	1						
۸- طول پانیکول Panicle length	0.22	0.36**	0.37**	0.51**	0.14	0.03	0.54**	1					
۹- ضخامت ساقه	-0.16	-0.02	0.03	0.04	0.44**	0.01	0.37**	-0.03	1				
۱۰- وزن هزار دانه	0.08	-0.06	0.07	0.21	-0.08	-	0.08	0.25	-	1			
۱۱- تعداد پنجه Tiller number	0.15	0.2	0.22	0.34**	0.18	-	0.34**	0.39**	-	-0.03	1		
۱۲- عملکرد علوفه تر	0.94**	0.62**	0.58**	0.27*	-0.03	-	0.49**	0.27**	-	0.1	0.52**	1	
۱۳- تعداد روز تا گلدهی	0.43**	0.52**	0.52**	0.23	0.06	0.07	0.58**	0.43**	0.18	-0.23	0.13	0.54**	1

* و ** به ترتیب به مفهوم به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.

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

ژنوتیپ‌های ارزن معمولی در جدول شماره ۴ آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ارتباط عملکرد دانه و اجزای آن مثبت و معنی‌دار است؛ به‌گونه‌ای که بیش‌ترین ضریب همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و وزن خشک ساقه، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، عملکرد کاه، عملکرد علوفه تر و طول پانیکول در سطح ۱ درصد و تعداد برگ در سطح ۵ درصد مشاهده گردید و ضریب همبستگی بین عملکرد دانه و سایر صفات معنی‌دار نبود. همبستگی مثبت عملکرد دانه با صفات فوق می‌تواند به ارتباط این صفات با میزان تجمع ماده خشک در دانه مربوط باشد.

در خصوص عملکرد علوفه تر نیز بیش‌ترین ضریب همبستگی با عملکرد علوفه خشک، وزن خشک ساقه، عملکرد دانه، وزن خشک برگ و ارتفاع بوته در سطح ۱ درصد و تعداد برگ و طول پانیکول در سطح ۵ درصد مشاهده گردید.

هکتار بالاترین و ژنوتیپ KCM13 کم‌ترین میزان را دارا بودند. از نظر عملکرد دانه، ژنوتیپ KCM14 با میانگین ۳/۸ تن در هکتار بالاترین و ژنوتیپ KCM13 با میانگین ۰/۸ تن در هکتار کم‌ترین میزان را دارا بودند (جدول ۳).

از مجموع ۲۰ ژنوتیپ مورد بررسی شش ژنوتیپ از تحمل خوبی به ورس برخوردار بودند و نمره پنج به آن‌ها تعلق گرفت؛ ولی ژنوتیپ KCM13 کاملاً ورس نمود و حائز نمره ۳ شد. ۲۰ ژنوتیپ مورد مطالعه از نظر طول دوره گلدهی به سه گروه تقسیم شدند گروه دیررس (شامل ژنوتیپ KCM9 با میانگین ۵۳ روز از کاشت تا گلدهی)، گروه متوسط رس شامل ۴ ژنوتیپ KCM6، KCM7، KCM10 و KCM13 با میانگین ۵۰ روز از کاشت تا گلدهی و گروه زودرس بود که زودرس‌ترین ژنوتیپ KCM14 با میانگین ۳۹ روز از کاشت تا گلدهی در آن قرار گرفت. ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی در سه سال در

جدول ۵- برآورد اجزای واریانس، ضرایب تنوع و قابلیت توارث در ژنوتیپ‌های ارزن معمولی در بیرجند

Table 5- Estimation of Variance Components, Coefficients of Variation, and Heritability in Common Millet Genotypes in Birjand

صفات Traits	برآورد اجزای واریانس Estimation of variance components			ضریب تنوع (CV) Coefficient of Variation		قابلیت توارث عمومی General heritability
	فنوتیپی Phenotypical	ژنتیکی Genetical	محیطی Environmental	ژنتیکی Genetical	فنوتیپی Phenotypical	
	روز تا گلدهی Days to flowering	50.97	45.5	5.5	0.152	
ورس lodging	0.149	0.03	0.119	0.04	0.09	0.2
تعداد پنجه Tiller number	11.13	5.23	5.9	0.26	0.37	0.47
تعداد پنجه بارور Fertile Tiller number	0.897	0.752	0.145	0.14	0.15	0.84
تعداد برگ Leaf number	12.7	4.8	7.9	0.27	0.43	0.38
ارتفاع گیاه Plant height	195.8	132.5	63.3	0.148	0.18	0.68
وزن هزار دانه 1000- Kernel weight	0.53	0.39	0.14	0.113	0.132	0.73
عملکرد علوفه تر Wet forage yield	28.5	20	8.5	0.31	0.37	0.7
عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	2.51	1.69	0.81	0.249	0.3	0.68
عملکرد دانه Grain yield	0.523	0.223	0.3	0.166	0.25	0.43

تحقیق نامبردگان نشان داد که تعداد پنجه در بوته دارای اثرات مثبت و مستقیمی روی عملکرد دانه و به تبع آن روی روز تا گلدهی و ارتفاع گیاه بود (Sen and Hamid, 1986).

در منطقه مظفرپور هند نیز همبستگی صفات در ۲۵۴ لاین ارزن معمولی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در بین صفات مورد بررسی که شامل ۵۰٪ گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، قطر پانیکول اصلی، تعداد شاخه اول، دوم و سوم، تعداد پنجه بارور در هر بوته، تعداد بذر در پانیکول اول و وزن هزار دانه بود، تنها صفات تعداد ساقه ثانویه، تعداد پنجه بارور و تعداد دانه در هر پانیکول از همبستگی مثبت با عملکرد دانه در بوته برخوردار بودند (Sahu, 2004).

نتایج برآورد اجزای واریانس، ضرایب تنوع و قابلیت توارث صفات در جدول ۵ آمده است. بیشترین ضریب تنوع ژنتیکی متعلق به صفات عملکرد علوفه تر (۰/۳۱) و تعداد برگ (۰/۲۶)

وزن کاه نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات عملکرد علوفه تر، وزن خشک ساقه، عملکرد دانه، وزن خشک برگ و ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱ درصد و تعداد برگ در سطح احتمال ۵ درصد داشت. تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی نیز با صفات ارتفاع، عملکرد علوفه تر و خشک، وزن خشک برگ و ساقه و طول پانیکول همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. این نتایج با نتیجه تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد. به‌طوری‌که در بررسی همبستگی بین عملکرد دانه در بوته با هفت صفت دیگر در ۱۰۷ نمونه ارزن معمولی، گزارش دادند که عملکرد دانه در بوته دارای همبستگی مثبت با صفت روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه در بوته و طول پانیکول بود. وزن کاه نیز دارای همبستگی مثبت با صفات روز تا گلدهی، ارتفاع گیاه و طول پانیکول بود؛ ولی با تعداد پنجه در بوته همبستگی منفی داشت. ارتفاع گیاه نیز همبستگی بسیار بالایی با روز تا رسیدگی و طول پانیکول نشان داد. تجزیه علیت در

گلدهی و ارتفاع گیاه، جزء واریانس ژنتیکی بالاتری نسبت به سایر صفات داشتند و به نظر می‌رسد بازده ناشی از انتخاب بر اساس این صفات در برنامه به‌نژادی بالا باشد. قابلیت توارث عمومی برای تعداد روز تا گلدهی، تعداد پنجه بارور و ارتفاع گیاه بالا بود که نشان‌دهنده وراثت‌پذیری بالا برای این صفات می‌باشد.

بود که نشان‌دهنده وجود تنوع بالا در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای این صفات می‌باشد. ضریب تنوع ژنتیکی برای صفات تعداد پنجه (۰/۲۶) و عملکرد علوفه خشک (۰/۲۴۹) حاکی از وجود تنوع خوب برای این صفات است. ضریب تنوع ژنتیکی برای سایر صفات بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۶۶ متغیر بود که تنوع ژنتیکی کم‌تری را نشان می‌دهند. صفات تعداد روز تا

جدول ۶- ضرایب بردارهای ویژه، واریانس‌های نسبی و تجمعی مؤلفه‌های اصلی حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های ارزن معمولی

Table 6 - Eigenvalues, Relative Variances, and Cumulative Proportions of Principal Components Resulting from Principal Component Analysis for the Studied Traits in Common Millet Genotypes

صفات Traits	مؤلفه اول First Component	مؤلفه دوم 2nd Component	مؤلفه سوم 3rd Component	مؤلفه چهارم 4th Component	مؤلفه پنجم 5th Component
ارتفاع گیاه Plant height	0.680	-0.10115	0.07453	0.40076	0.093
تعداد برگ Leaf number	0.06565	0.29352	-0.47487	0.47057	0.030
تعداد پنجه Tiller number	0.15120	0.15259	-0.39357	-0.13681	0.978
طول پانیکول Panicle length	0.30503	0.21658	0.11862	0.70632	-0.027
وزن هزار دانه 1000- Kernel weight	0.47851	-0.24438	0.58773	-0.05924	-0.224
عملکرد علوفه تر Wet forage yield	0.82143	0.22114	-0.22055	-0.25062	0.25
عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	0.53630	0.46091	-0.51034	-0.27244	0.089
عملکرد دانه Grain yield	0.68526	-0.17667	0.19460	-0.19860	0.050
مساحت برگ پرچم Flag leaf area	0.65998	-0.29829	0.09665	0.02594	0.116
روز تا گلدهی Days to flowering	-0.00767	0.68718	0.51697	-0.12648	0.064
تعداد روز تا ظهور پانیکول Days to panicle emergence	-0.03749	0.75567	0.41932	-0.00477	-0.072
مقدار ویژه Eigenvalue	2.680	1.65	1.54	1.096	0.943
واریانس توجیه شده Explained variance	0.24	0.15	0.14	0.10	0.09
واریانس تجمعی Cumulative variance	0.24	0.39	0.53	0.63	0.72

در مؤلفه اول نشان داد که عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک، عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و مساحت برگ دارای ضریب بردار ویژه بالا بوده و بیش‌ترین نقش را در تشکیل این مؤلفه داشتند. این مؤلفه می‌تواند مؤلفه عملکرد نام‌گذاری شود. ضرایب بردارهای ویژه در مؤلفه دوم نشان داد که صفات تعداد

باتوجه به تنوع بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، به‌منظور تعیین نقش و مقدار تأثیر هر یک از صفات مورد بررسی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. نتایج در مورد صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۶ آمده است. مؤلفه اول در مجموع ۲۴ درصد از کل واریانس بین صفات را توجیه نمود. ضرایب بردارهای ویژه

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از میان ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، پنج ژنوتیپ KCM1، KCM8، KCM14 و KCM18 به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب جهت کاشت در منطقه بیرجند توصیه شدند. همچنین در بررسی همبستگی عملکرد دانه با صفات مورد مطالعه مشخص شد که عملکرد علوفه خشک ($r=0.59^{**}$)، تعداد برگ ($r=0.32^{*}$)، ارتفاع گیاه ($r=0.65^{**}$)، طول پانیکول ($r=0.51^{**}$) و تعداد پنجه ($r=0.34^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند.

بر اساس نتایج برآورد اجزای واریانس، صفات تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع گیاه، جزء واریانس ژنتیکی بالاتری نسبت به سایر صفات داشتند و به نظر می‌رسد بازده ناشی از انتخاب بر اساس این صفات در برنامه به‌نژادی بالا باشد. قابلیت توارث عمومی برای تعداد روز تا گلدهی، تعداد پنجه بارور و ارتفاع گیاه، بالا بود که نشان‌دهنده وراثت‌پذیری بالا برای این صفات است.

روز تا ظهور پانیکول و تعداد روز تا گلدهی دارای ضریب بردار ویژه بالا بوده و بیش‌ترین نقش را در تشکیل این مؤلفه داشتند. این مؤلفه می‌تواند مؤلفه خصوصیات فنولوژیکی نام‌گذاری شود. ضرایب بردارهای ویژه در مؤلفه سوم نشان داد که تعداد برگ، تعداد پنجه و عملکرد علوفه خشک دارای ضریب بردار ویژه بالا و منفی بوده و وزن هزار دانه ضریب بردار ویژه بالا و مثبت دارند. این مؤلفه، مؤلفه ویژگی‌های اجزای مرتبط با عملکرد است. ضرایب بردارهای ویژه در مؤلفه چهارم نشان داد که ارتفاع گیاه، تعداد برگ و طول پانیکول دارای ضریب بردار ویژه بالا و مثبت بوده و بیش‌ترین نقش را در تشکیل این مؤلفه داشتند. این مؤلفه می‌تواند مؤلفه ویژگی‌های مورفولوژیک نامیده شود؛ بنابراین با گزینش مجموعه صفات در این مؤلفه‌ها می‌توان نسبت به افزایش هم‌زمان در ژنوتیپ‌های ارزن معمولی اقدام کرد.

نتیجه‌گیری

References

- Baltensperger, D.D., 2001. Progress with proso, pearl, and other millets. In T. Jnick & A. Whipkey (Eds.), *Trends in New Crops and New Uses 2002*. ASHS Press, Alexandria, VA.
- Deshmukh, R.B., Pawar, V.D. and More, T.A., 2024. Multivariate analysis and interrelationships among agronomic traits in foxtail millet under organic farming systems. *Organic Agriculture*, 14(2), pp.301–312. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00865-9>
- Dezfooli, A. and Mehrani, A., 2010. A study of the relationships between yield and yield components in promising cultivars of foxtail millet (*Setaria italica*). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(2), pp.413–421. [In Persian].
- Kumar, A., Sharma, S. and Singh, R., 2022. Correlation and path coefficient analysis for yield and its components in foxtail millet under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences*, 167(3), pp.215–224. <https://doi.org/10.1017/s0021859622000184>
- Kumar, S., Babu, C., Revathi, S. and Sumathi, P., 2017. Estimation of genetic variability, heritability and association of green fodder yield with contributing traits in Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Vegetos – An International Journal of Plant Research*, 30(Special Issue), pp.463–468. <https://doi.org/10.5958/2229-4473.2017.00119.7>
- Li, Y., Zhang, D., Chen, J., Wang, H. and Liu, Z., 2020. Morphological and yield-related trait diversity in foxtail millet (*Panicum miliaceum* L.) landraces from China. *Plant Genetic Resources*, 18(5), pp.311–322. <https://doi.org/10.1017/S1479262120000274>

- Liu, Z., Bai, G., Zhang, D., Zhu, C., Xia, X., Cheng, R. and Shi, Z., 2011. Genetic diversity and population structure of elite foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] germplasm in China. *Crop Science*, 51(4), pp.1655–1663. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.11.0643>
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. and Naylor, R.L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), pp.607–610. <https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- Pucher, A., Ousmane, S., Moussa, D., Ignatius, I., Roger, Z., Mahamadi, O., Siaka, B., Tom, C. and Bettina, I. G., 2016. Combining ability patterns among West African pearl millet landraces and prospects for pearl millet hybrid breeding. *Field Crops Research*, 195, pp.9–20. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.035>
- Reddy, P.M., Rao, B.S. and Reddy, K.N., 2023. Genetic diversity and correlation studies in foxtail millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1123456. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156789>
- Sahu, R.S., 2004. Correlation in the proso millet (*Panicum miliaceum*). *Journal of Applied Biology*, 14(2), pp.12–14.
- Sen, D.K. and Hamid, M.A., 1986. Character association and path analysis in proso millet (*Panicum miliaceum*). *Thai Journal of Agricultural Science*, 19(4), pp.307–312.
- Shinde, S., Sonone, A. and Gaikwad, A., 2010. Association of characters and path coefficient analysis for forage and related traits in bajra × Napier grass hybrids. *International Journal of Plant Sciences*, 5(1), pp.188–191.
- Vettriventhan, M., Nirmalakumari, A. and Ganapathy, S., 2008. Heterosis for grain yield components in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br). *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), pp.657–660.
- Wietgreffe, G.W., 1990. *How to produce proso millet: A farmer's guide*. Wietgreffe, Pierre, SD.
- Wise, T.A., 2013. *Can we feed the world in 2050? A scoping paper to assess the evidence*. Global Development and Environment Institute Working Paper No. 13-04.
- Zhang, H., Liu, B., Wang, Y., Li, X., Zhao, J. and Yang, G., 2016. Diversity and association analysis of agronomic traits in foxtail millet (*Panicum miliaceum* L.) germplasm from different geographical regions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(8), pp.1245–1257. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0379-3>
- Zhang, X., Gu, H., Ding, C., Zhong, X. and Zhang, J., 2010. Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum* L. *Tropical Grasslands*, 44, pp.95–102.
- Zhao, T. and Dai, A., 2015. The magnitude and causes of global drought changes in the twenty-first century under a low-to-moderate emissions scenario. *Journal of Climate*, 28(11), pp.4490–4512. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-14-00363.1>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 519-540

Effects of salinity stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of leaf and root during vegetative growth of two cultivars of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Nasrin Shirzadi ^a, Maryam Nasr Esafahani ^{*a}, Seifollah Bahramikia ^a, Hamed Khodayari ^a

^a Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran

*Corresponding Author: esfahani.m@lu.ac.ir

Received: 10 January 2024

Accepted: 19 April 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.434992.1394

How to cite this article:

Shirzadi, N., Nasr Esafahani, M., Bahramikia, S. and Khodayari, H., 2025. Effects of salinity stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of leaf and root during vegetative growth two cultivars of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 519-540. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.434992.1394>

Abstract

Introduction: Salinity is one of the most significant abiotic stresses that affects the metabolism of plant cells and reduces their productivity. High levels of salinity trigger ionic imbalance and osmotic stress in plants, which has severe effects on the morphology, biomass and biochemical processes of plants and ultimately leads to plant damage. Red bean with the scientific name *Phaseolus vulgaris* L. belongs to the family of legumes (Fabaceae) can be grown annually in temperate climates or perennially in tropical climates. It has been proven by various studies that up to 20% of bean production in the Middle East is wasted due to salinity. The most sensitive stage of bean plant to salt stress is during seed germination and the beginning of seedling growth. Regarding the high level of bean cultivation in Iran and the high sensitivity of this plant to salinity, identification of bean varieties resistant and sensitive to salinity helps to solve the cultivation of this plant in saline areas. Therefore, in this study, in order to identify red bean cultivars tolerant to salt stress, the effect of different levels of salt stress (concentrations of 50, 100 and 200 mM NaCl) on physiological and biochemical characteristics in the roots and leaves of two cultivars of red beans (Ofogh and Ks31285) was investigated.

Material and Methods: This research was conducted on two bean cultivars (Ofogh and Ks31285) obtained from Khomein Agricultural Research Center. The present study was conducted in the biology laboratory of Lorestan University in the year 1400. The bean seeds (Ks31285 and Ofogh) were surface sterilized (5.5% sodium hypochlorite for 10 minutes) for rapid germination and planted in 1.5 Liter pots containing perlite for two weeks in the cultivation room. The pots (two plants in each pot) were watered for about a week, and after a week until the fourteenth day, semi-Hoogland nutrient solution was added to the plant culture medium every other day. Salinity stress was applied at three levels of 50, 100 and 200 mM. After the end of this time period, morphological, biochemical and physiological indicators such as growth parameters (plant height, fresh and dry weight of aerial and terrestrial organs), the amount of chlorophylls and carotenoids, hydrogen peroxide (H₂O₂), lipid peroxidation (MDA), some osmolytes (reduced and soluble carbohydrates, proline) and the content and ratio of Na⁺ and K⁺ were measured. SPSS version 16 statistical software was employed to analyze data. Duncan's



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

test ($P \leq 0.05$) was used to compare the mean results of different treatments, and graphs were drawn using Excel software.

Results and discussion: The results showed that leaf RWC and growth indices decreased in both cultivars, but the amount of decrease in cultivar Ks31285 was higher than that of Ofogh cultivar, which indicates the high salinity tolerance of the cultivar. In addition, the results indicate that total sugar, reducing sugar and proline have increased in both cultivars, but, the amount of proline in Ks31285 was higher than Ofogh. On the other hand, as the salinity level increased, the amount of photosynthetic pigments (chlorophyll a and carotenoids) decreased and the level of malondialdehyde and hydrogen peroxide increased. The amount of this change was higher in Ks31285 than in Ofogh. These results also showed that the Ofogh cultivar had lower sodium and higher potassium in its leaves than to which in Ks31285.

Conclusion: Based on the results of this research, the tolerance to salinity in the Ofogh cultivar compared to the Ks31285 cultivar is due to the lower concentration of Na^+ , the higher concentration of K^+ in the leaves, the higher accumulation of reducing and total sugars and the decrease in the amount of MDA in the leaves and roots. The sum of these factors resulted in increased growth indices (plant height, fresh and dry weight of aerial and terrestrial organs) and RWC, in the Ofogh cultivar, when compared to Ks31285 at all salinity levels. Despite the higher salinity tolerance of the Ofogh cultivar, the concentration of proline in it was lower than that of the sensitive Ks31285 cultivar.

Keywords: Osmolytes, Oxidative stress, Growth indicators, Relative Water Content

اثرات تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ و ریشه در مرحله رویشی دو رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

نسرین شیرزادی^۱، مریم نصرافهانی*^۱، سیفالله بهرامی کیا^۱، حامد خدایاری^۱

۱- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

* مسئول مکاتبه: esfahani.m@lu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.434992.1394

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌هاست که بر متابولیسم سلولی گیاه تأثیر می‌گذارد و بهره‌وری گیاه را کاهش می‌دهد. در این مطالعه، تغییرات محتوای آب نسبی برگ، شاخص‌های رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در ریشه و برگ دو رقم لوبیا قرمز (افق و KS31285) تحت تنش شوری (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محتوای آب نسبی برگ و شاخص‌های رشد در هر دو رقم کاهش پیدا کرد، ولی میزان کاهش در رقم KS31285 نسبت به رقم افق بیشتر بود که این عامل نشان‌دهنده تحمل شوری بالای رقم افق می‌باشد. میزان قند کل، قند احیاء‌کننده و پرولین در هر دو رقم افزایش یافت، البته میزان تجمع پرولین در رقم KS31285 نسبت به رقم افق بیشتر بوده است. این امر می‌تواند به دلیل حساسیت بیشتر رقم KS31285 به تنش شوری باشد. با افزایش سطح شوری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و کاروتنوئیدها) کاهش و میزان مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن افزایش یافت که مقدار این تغییرات در رقم KS31285 نسبت به رقم افق بیشتر بوده است. همچنین در رقم افق نسبت به رقم KS31285 در برگ، مقدار سدیم کمتر و مقدار پتاسیم بیشتر می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که رقم افق به واسطه داشتن شاخص‌های رشدی، محتوای آب نسبی برگ و تجمع بیشتر قند کل، احیاء و افزایش پتاسیم برگ و سدیم ریشه تحمل نسبی خوبی نسبت به رقم KS31285 از خود نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: اسمولیت‌ها، تنش اکسیداتیو، شاخص‌های رشدی، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

شوری یکی از عمده‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که به‌طور قابل توجهی بر رشد و عملکرد گیاه در مرحله رویشی تأثیر می‌گذارد (Kumar et al., 2021). افزایش مستمر شوری در زمین‌های زراعی به دلیل روش‌های زراعت ضعیف و تغییرات آب‌وهوایی اثرات مخرب جهانی دارد و تخمین زده می‌شود که حدود ۵۰ درصد از زمین‌های قابل کشت تا اواسط قرن بیست‌ویکم از بین برود. تاکنون حدود ۱۱۲۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی به‌طور جدی تحت تأثیر شوری قرار گرفته است، که تهدیدی جدی برای کشاورزی محسوب می‌شود (Islam et al., 2019).

سطح بالای شوری باعث عدم تعادل یونی و تنش اسمزی در گیاهان می‌شود که اثرات شدیدی بر مورفولوژی، زیست‌توده و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان دارد و در نهایت منجر به آسیب‌های گیاهی می‌شود (Rahnesan et al., 2018). بروز آسیب در گیاهان در اثر جذب بیش از حد یون‌های Na^+ و Cl^-

موجب افزایش نسبت Na^+ به K^+ و اختلال در جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند کلسیم و پتاسیم می‌شود. راهکارهای مختلف تحمل به شوری در گیاهان شامل جلوگیری از انتقال یون‌های سمی سدیم و کلر به اندام هوایی توسط ریشه یا تجمع آنها در اندام‌های داخلی سلولی نظیر واکوئل و تنظیم اسمزی می‌باشد. گزارش شده است که ارقام متحمل به شوری نسبت بالایی از K^+/Na^+ در سلول‌های خود دارند که نقش حیاتی در حفظ پتانسیل غشا و تورژسانس، تنظیم فشار اسمزی، فعال کردن آنزیم‌ها، تروپیسیم و حرکت روزنه دارد (Alavi and Abbaspour, 2020).

گیاهان می‌توانند برای کاهش اثرات منفی شوری از سازوکارهای مختلف پاسخ‌دهنده به شوری در سطح مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در بافت‌ها و اندام‌های کل گیاه استفاده کنند (Kumar et al., 2021). این مکانیسم‌ها شامل تجمع املاح سازگار (به‌عنوان مثال اسیدهای آمینه آزاد کل^۱ (TFAA)، قندها، پلی‌آمین‌ها و گلیسین

میانگین عملکرد این محصول برابر با ۷۷۶ کیلوگرم در هر هکتار بوده است (Uebersax *et al.*, 2023). در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰، سطح زیر کشت لوبیای خشک در ایران به میزان ۷۶۳۳۵ هکتار و مقدار تولید آن ۱۶۶۶۰۴ تن بوده است، این آمار نشان از ارزش بالای کشت لوبیا در ایران و عملکرد مطلوب این گیاه در این منطقه دارد (Mohammadi Noori *et al.*, 2023). استان‌های فارس، لرستان، زنجان و مرکزی جزء استان‌های برتر تولیدکننده این محصول می‌باشند. سطح زیر کشت لوبیا در استان لرستان ۱۵۸۸۷ هکتار و میانگین عملکرد آن در استان لرستان ۲۱۳۸ کیلوگرم گزارش شده است (Mohammadi Noori *et al.*, 2023). از طرفی تحقیقات نشان داده‌اند که به دلیل شوری، تولید لوبیا در خاورمیانه به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد هدر می‌رود (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002a). بیشترین حساسیت گیاه لوبیا به تنش شوری، در مرحله جوانه‌زنی بذر و ابتدای رشد گیاهچه‌ای است (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002b). در آزمایشی اثر سطوح مختلف شوری (۲۰ تا ۱۸۰ میلی مولار) بر رشد و تجمع برخی عناصر روی لوبیا بررسی و معلوم شد که افزایش شوری موجب کاهش طول ریشه، وزن ریشه و اندام هوایی گردید (Narimani *et al.*, 2020). با توجه به سطح بالای کشت لوبیا در ایران و حساسیت بالای این گیاه به شوری، شناسایی ارقام لوبیای مقاوم و حساس به شوری کمک مهمی به حل کشت این گیاه در مناطق شور می‌نماید. لذا هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش شوری (غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار NaCl) بر شاخص‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مانند پارامترهای رشد (ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و زمینی)، میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، میزان پراکسیداسیون لیپیدها (MDA) و همچنین برخی اسمولیت‌ها (کربوهیدرات احیا و محلول، پرولین) و محتوا و نسبت K^+ و Na^+ ، در دو رقم لوبیا قرمز (افق و KS31285) مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی دو رقم لوبیا افق و KS31285 (خصوصیات زراعی لوبیا رقم افق: تیپ بوته: ایستاده، وزن صد دانه (گرم):

بتائین)، که با تنظیم اسمزی، پتانسیل اسمزی را تنظیم و فشار تورگر سلول را حفظ می‌کنند و همچنین با از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) که در نتیجه اختلالات سلولی تولید می‌شوند، تعادل اکسید-احیا سلولی را حفظ می‌کند (Kosar *et al.*, 2021).

تولید بیش از حد ROS از جمله سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، رادیکال هیدروکسیل (OH^{\bullet}) و اکسیژن یگانه (1O_2) در نتیجه اختلال مسیرهای متابولیکی در سلول‌ها یکی از مهمترین تغییرات بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب در سلول‌های گیاهی است (Hasanuzzaman *et al.*, 2020). بنابراین، می‌تواند باعث تخریب غشا، پراکسیداسیون لیپید، اکسیداسیون پروتئین‌ها و تغییر DNA شود، در نتیجه منجر به اختلالات متابولیکی و ساختاری غیرقابل برگشت و در نهایت مرگ سلولی می‌شود (Wang *et al.*, 2019).

برای کمک به مقابله با آسیب سلولی ناشی از تجمع ROS و حفظ تعادل اکسایش و احیا، گیاهان از تعدادی املاح سازگار مانند پرولین و گلیسین بتائین و سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی که متشکل از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (به‌عنوان مثال سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، گایاکول پراکسیداز (GPOX)، کاتالاز (CAT)، پلی‌فنول اکسیداز (PPO)، مونودئیدروآسکوربات ردوکتاز (MDAR)، دهیدروآسکوربات ردوکتاز (DHAR) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR)) و آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی (به‌عنوان مثال کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها، آسکوربیک اسید، گلوکاتایون و ترکیبات فنلی) استفاده می‌کنند (Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

لوبیا قرمز با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. متعلق به خانواده حبوبات (Fabaceae) می‌باشد، که می‌تواند به‌صورت یکساله در آب‌وهوای معتدل و یا چند ساله در آب‌وهوای گرمسیری رشد کند (Dirgantara Namangboling and Kesamai, 2023). لوبیا قرمز به دلیل ارزش غذایی بالا (دارای ۵۷ درصد کربوهیدرات، ۲۲ درصد پروتئین، ۳/۵ درصد مواد معدنی و ۱ درصد چربی)، از مهم‌ترین محصولات کشاورزی غذایی است (Smith *et al.*, 2019). سطح زیر کشت انواع لوبیا خشک در سراسر جهان حدود ۳۴/۸ میلیون هکتار بوده و

به مدت ۲۴ ساعت دیگر در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک (DW) به دست آمد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها، از روش لیختنتالر و ولبورن استفاده شد (Lichtenthaler and Wellburn, 1983). ابتدا (۰/۱ گرم) از بافت تازه برگ با ۱ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶ g) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) گردید، سپس میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80⁺، کشور انگلستان) در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۶۴ اندازه‌گیری شدند.

اندازه‌گیری میزان پرولین

جهت استخراج پرولین از روش بیتس و همکاران استفاده شد (Bates et al., 1973). نمونه‌های برگ و ریشه (۰/۰۵ گرم) را در محلول سولفوسالسیلیک اسید ۳٪ (w/v) ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شد. ابتدا معرف نین‌هیدرین (۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین با ۳۰ میلی‌لیتر اسیداستیک و ۲۰ میلی‌لیتر اسیدفسفریک ۶ نرمال) تهیه شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از معرف نین‌هیدرین با ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک و ۲ میلی‌لیتر عصاره گیاهی در یک لوله آزمایش ریخته شد و به مدت یک ساعت در بن‌ماری در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش پس از سرد شدن در حمام آب یخ، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید، پس از ورتکس (۳ تا ۵ دقیقه) لوله‌های آزمایش، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ nm اندازه‌گیری شد. محتوای پرولین با استفاده منحنی استاندارد گزارش گردید و نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان قند محلول و قند احیاءکننده

بافت‌های تازه برگ و ریشه (۰/۰۴ گرم) با ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ در هاون ساییده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شد. از مایع‌رویی برای اندازه‌گیری قند

۴۵، دوره رسیدگی (روز): ۸۵، درصد پروتئین دانه: ۲۳، عملکرد (کیلوگرم در هکتار): ۲۶۵۰. رقم KS31285. تیپ بیوت، ایستاده، وزن صد دانه (گرم): ۴۱/۸، دوره رسیدگی (روز): ۱۰۱، عملکرد (کیلوگرم در هکتار): ۲۸۰۸)) خریداری شده از مرکز تحقیقات کشاورزی خمین انجام گرفت. مطالعه حاضر در سال ۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه لرستان انجام شد. بذره‌های لوبیا (KS31285 و افق) جهت جوانه‌زنی سریع استریل سطحی (هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه) شده و در گلدان‌های ۱/۵ لیتری حاوی پرلیت به مدت دو هفته در اتاق کشت (دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دما ۵ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نور ۵۰ μmol m⁻² s⁻¹) نگهداری شدند (Kchaou et al., 2010). گلدان‌ها (دو گیاه در هر گلدان) تا حدود یک هفته آبیاری شدند و بعد از یک هفته تا روز چهاردهم به صورت یک روز در میان با محلول غذایی نیم هوگلد آبیاری شدند و سپس، تنش شوری در سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار اعمال شد. به منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تنش‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به صورت روزانه (برای غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار از روز یازدهم تا روز چهاردهم و برای غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از روز سیزدهم تا چهاردهم) و با فواصل ۵۰ میلی‌مولار اعمال گردیدند. تیمارهای نهایی از روز چهاردهم شروع و به مدت ده روز ادامه پیدا کرد (Karimi et al., 2007). پس از پایان این دوره زمانی از هر رقم سه تکرار جهت بررسی ریخت‌شناسی طول ساقه و ریشه، وزن تر ساقه و ریشه و وزن خشک ساقه و ریشه برداشت شدند و پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون (۶۰ درجه سانتی‌گراد) به وسیله ترازوی اندازه‌گیری وزن خشک انجام شد.

اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC)

محتوای آب نسبی برگ برحسب درصد و مطابق فرمول ۱ محاسبه شد (Barrs and Weatherley, 1962):

$$RWC (\%) = [(FW - DW)/(TW - DW)] \times 100 \quad (1)$$

ابتدا وزن تر (FW) نمونه برگ گرفته شد. سپس تمامی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق داخل آب مقطر قرار گرفتند، پس از آن برگ‌های آماس شده را با کاغذ صافی خشک نموده و وزن آماس شده (TW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. برگ‌ها

۱۰ میلی‌مولار با $\text{pH} = 7$ و ۱ میلی‌لیتر بافر یدید پتاسیم ۱ مولار در طول موج 390 nm خوانده شد (Alexieva et al., 2001). محتوای H_2O_2 با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد و بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه گزارش گردید.

اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم

برای تعیین میزان عناصر موجود در اندام‌های هوایی و زیرزمینی طبق روش تعیین شده توسط حمادا و العنانی، ابتدا ۰/۲ گرم از هر نمونه توزین و آسیاب شد. جهت تعیین میزان عناصر به هریک از نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر استیک‌اسید گلاسیال ۰/۱ نرمال اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتیگراد) نگهداری شد (Hamada and El-enany, 1994). پس از ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در بن‌ماری با دمای ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از بن‌ماری خارج و توسط کاغذ صافی صاف شده و پس از آن میزان سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (روش شعله‌سنجی) اندازه‌گیری شد.

تحلیل آماری

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. مقایسه میانگین حاصل از تیمارهای مختلف بر اساس آزمون دانکن ($P \leq 0.05$) و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر تنش شوری روی میزان شاخص‌های رشدی و محتوای نسبی آب برگ (RWC) در برگ و ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر تمام پارامترهای رشد و محتوای آب نسبی برگ، رقم تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه و اثر متقابل تنش شوری و رقم تأثیر معنی‌داری بر طول اندام هوایی، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر و خشک داشتند (جدول ۱). بر اساس نتایج، تحت تنش شوری طول ساقه، ریشه و وزن تر اندام هوایی، ریشه و وزن خشک اندام هوایی، ریشه و همچنین محتوای نسبی آب برگ در دو رقم لوبیا آزمایش شده به میزان معنی‌داری کاهش نشان دادند. طول اندام هوایی در رقم

محلول و قند احیاء‌کننده محلول استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان قند محلول از روش سولفوریک‌اسید استفاده شد. به این صورت، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی به ۳۰۰ میکرولیتر اسیدسولفوریک غلیظ اضافه شد پس از ورتکس و سرد شدن نمونه‌ها در حمام آب یخ، سپس جذب محلول در 315 nm خوانده شد (Albalasmeh et al., 2013).

میزان قند احیاء با استفاده از روش ۵،۳-دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید تعیین شد. به این صورت ابتدا معرف دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید (۱ گرم دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید با ۳۰ گرم سدیم پتاسیم تارتارات) تهیه شد. ۴۰۰ میکرولیتر از معرف دی‌نیتروسالسیلیک‌اسید به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج 540 nm خوانده شد (Saqib and Whitney, 2011).

اندازه‌گیری میزان مالون‌دی‌آلدئید

بافت‌های تازه برگ و ریشه (۰/۲ گرم) در تری‌کلرواستیک‌اسید ۱٪ (w/v) ساییده شدند و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شدند. مایع‌رویی (۲۵۰ میکرولیتر) به ۵ میلی‌لیتر تیوباریتوریک‌اسید ۰/۵ درصد حل شده در تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد اضافه شد. مخلوط بالا به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده، پس از سرد شدن به مدت ۱۰ دقیقه با دور (۱۰۰۰۰g) سانتریفیوژ شدند. جذب این محلول در طول موج 532 nm خوانده شد و سپس جذب بقیه مقادیر غیر اختصاصی در 600 nm تعیین و از این مقدار کسر گردید. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی $156 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ استفاده شد (Heath and Packer, 1968).

اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن

بافت‌های تازه برگ و ریشه (۰/۲ گرم) در تری‌کلرواستیک‌اسید ۱٪ (w/v) ساییده شدند و به مدت ۱۵ دقیقه با دور (۱۲۷۶۶g) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل Sigma Z-16KL، کشور آلمان) شدند. میزان H_2O_2 با استفاده از ۲۵۰ میکرولیتر عصاره، ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات

موجب تنش اسمزی و خشکی می‌شود که به کاهش جذب آب توسط بافت‌های گیاه سبب می‌گردد. این کاهش در محتوای آب منجر به کاهش رشد و نمو سلولی می‌شود که در نتیجه منجر به کاهش رشد ساقه و ریشه می‌گردد (Maghsoumi, Holasoo and Pourakbar, 2014).

کاهش رشد ناشی از تنش شوری در مطالعات مشابهی روی گیاهان مختلف انجام شده که از یافته‌های تحقیق حاضر حمایت می‌کنند (Rahnesan et al., 2018; Sahin et al., 2018). علاوه بر این، در بررسی اثر غلظت‌های نمک بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه مشخص گردید که در هر دو رقم، بیشترین کاهش در سطوح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار رخ داده است که نسبت به گروه شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار است، لیکن این پارامترها در رقم KS31285 نسبت به رقم افق به مراتب کاهش یافته است. مطالعات قبلی بیانگر اثرات کاهشی وزن تر و خشک ریشه و اندام‌های هوایی در گیاهان مختلف تحت تنش شوری می‌باشد (Shaheen et al., 2013; Kapoor and Pande, 2015). محققان مشخص کردند که ارقام حساس نسبت به ارقام متحمل گشنیز تحت تیمارهای مختلف NaCl کاهش بیشتری در وزن تر و خشک نشان می‌دهند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این کاهش در طول و وزن تر و خشک اندام هوایی و زمینی هر دو رقم می‌تواند به دلیل اثر منفی تیمار NaCl باشد (Meriem et al., 2014).

شوری باعث افزایش تنش اسمزی می‌شود که مانع از جذب و انتقال آب می‌شود. این مهار منجر به واکنش‌های متوالی القا شده به وسیله هورمون‌ها می‌شود که می‌تواند باز شدن روزنه، جذب CO₂ و سرعت فتوسنتز را کاهش دهد (Sarker and Oba, 2020). در بررسی حاضر، کاهش رشد بخش ساقه در رقم KS31285 محسوس‌تر از بخش ریشه بود و در بخش ریشه با افزایش میزان تنش شوری از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، کاهش کمتری نسبت به ساقه مشاهده گردید. این مطلب نشان‌دهنده اهمیت و نقش بسیار مهمی است که سیستم ریشه‌ای در جذب حداکثر رطوبت و همچنین تحمل تنش‌های مختلف مانند خشکی و شوری دارد (Bagheri and Sarmadnia, 2007). نتایج ما با تحقیقات دیگر محققان مطابقت دارد (Al-Karaki et al., 1998). آن‌ها نشان دادند که اضافه کردن غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن‌گلیکول به مراحل جوانه‌زنی بذر گندم و جو، با

افق در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۲۸ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد، در حالی که در رقم KS31285 طول ساقه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۷، ۳۲ و ۶۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۱-a). میزان کاهش طول ریشه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۵ و ۳۰ درصد برای رقم افق و برای غلظت‌های ۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۵ و ۴۴ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۱-b). میزان کاهش وزن تر اندام هوایی برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۹، ۱۵ و ۴۳ درصد کاهش یافت در حالی که برای رقم KS31285 در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۷، ۵۰ و ۷۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (شکل ۱-c). وزن تر ریشه برای رقم افق در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۲۳ درصد کاهش پیدا کرد و برای رقم KS31285 در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۶، ۵۰ و ۷۲ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۱-d). میزان کاهش وزن خشک اندام هوایی در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۹، ۱۲ و ۳۹ درصد برای رقم افق و ۴۵، ۴۶ و ۵۹ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۱-e). میزان کاهش وزن خشک ریشه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۵، ۲۲ و ۲۳ درصد برای رقم افق و ۴۶، ۲۰ و ۴۳ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۱-f). میزان RWC در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷، ۴ و ۱۵ درصد برای رقم افق و ۹، ۷ و ۲۵ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (شکل ۱-g).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش غلظت NaCl، رشد گیاه (طول ساقه و ریشه، وزن تر و خشک برگ و ریشه) در هر دو رقم لوبیا قرمز به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. البته میزان این کاهش در رقم KS31285 در مقایسه با رقم افق بارزتر بوده است، که نشان می‌دهد تنش شوری باعث سرکوب رشد گیاه می‌شود که این سرکوب می‌تواند به علت ممانعت از طویل شدن سلول باشد (Maghsoumi Holasoo and Pourakbar, 2014). تحقیقات نشان داده‌اند که تجمع نمک

شدن روزنه، انتقال مواد جذب شده و تغذیه معدنی به وضعیت آب سلول‌ها بستگی دارد، بنابراین، کاهش محتوای نسبی آب ممکن است تأثیر منفی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Ansari et al., 2019). در این مطالعه، میزان RWC برگ نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش میزان شوری، میزان RWC در هر دو رقم لوبیا کاهش می‌یابد و رقم افق دارای محتوای RWC برگ بالاتری نسبت به رقم KS31285 بوده است که این افزایش در RWC برگ رقم افق در شرایط تنش شوری ممکن است به دلیل تفاوت در الگوهای جذب یا استفاده از آب باشد (Omae et al., 2005). به نظر می‌رسد محتوای آب بیشتر در سلول‌ها، باعث رقیق شدن سدیم موجود در سیتوسل و دیواره سلولی شده و صدمات به آنها را کاهش می‌دهد. نتایج ما با مطالعاتی که برای بررسی واکنش ارقام فلفل به تنش شوری بود، مشابهت دارد (Okunlola et al., 2017). این یافته‌ها در مجموع نشان می‌دهند که RWC برگ می‌تواند به‌عنوان مارکر برای انتخاب گونه‌های گیاهی متحمل به شوری و یا مقاوم به شوری استفاده شود. با افزایش تنش شوری، انتقال یون و محتوای آن تغییر می‌کند (Taïbi et al., 2016).

کاهش پتانسیل آب ابتدا باعث افزایش طول ریشه و سپس کاهش آن می‌شود.

همچنین گزارش شد که افزایش وزن تر در گیاه به دلیل افزایش جذب یون، افزایش محتوای آب و در نتیجه افزایش تورژسانس و القای رشد می‌باشد. در غلظت‌های شوری بالاتر (۲۰۰ میلی‌مولار) اگرچه جذب یون وجود داشته است، ولی این افزایش یون به اثرات یونی خاص از جمله کاهش غلظت پتاسیم منجر شده که احتمالاً باعث محدود نمودن رشد در غلظت‌های بالاتر NaCl می‌شود (Silambarasan and Natarajan, 2014). افزایش وزن تر در هر دو رقم لوبیا در مطالعه ما در تطابق با این نتایج می‌باشد. در مطالعه‌های دیگر، روی گونه‌های سیاه شور، نشان داده شد که تنش ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت به تنش ۱۰۰ میلی‌مولار قدرت بیشتری در کاهش پارامترهای رشدی دارد که با نتایج مطالعه ما همخوانی داشت (Zhao et al., 1992).

محتوای نسبی آب برگ (RWC) یک مارکر کلیدی برای بررسی تحمل گیاه به شرایط شوری می‌باشد (Mohamed et al., 2020). تقریباً تمام فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سلول‌ها مانند بزرگ شدن سلول، تقسیم سلولی، فتوسنتز، باز

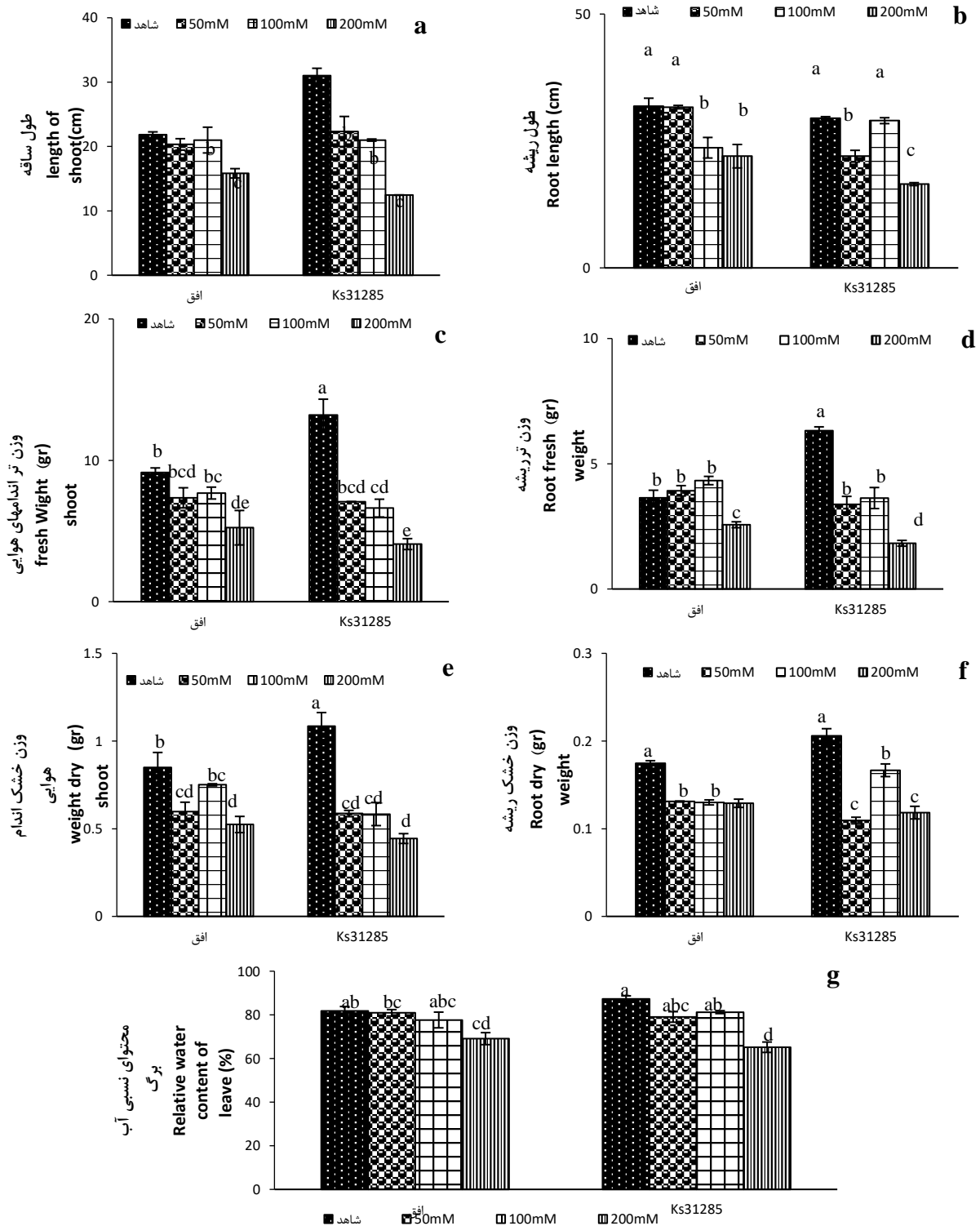
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر طول ساقه، طول ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، محتوای آب نسبی برگ

Table 1 - Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on shoot length, root length, fresh weight shoot, root fresh weight, weight dry shoot, root dry weight, relative water content

میانگین مربعات															
Mean square															
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	سطح معنی‌دار	طول ریشه	سطح معنی‌دار	وزن تر اندام هوایی	سطح معنی‌دار	وزن تر ریشه	سطح معنی‌دار	وزن خشک اندام هوایی	سطح معنی‌دار	وزن خشک ریشه	سطح معنی‌دار	محتوای آب نسبی برگ	سطح معنی‌دار
S.O.V	df	Length shoot	Sig	Root length	Sig	Fresh weight shoot	Sig	Root fresh weight	Sig	Weight dry shoot	Sig	Root dry weight	Sig	Relative water content of leave	Sig
رقم Cultivar	1	203.701	.38 ^{ns}	55.51	.005 [*]	.913	.452 ^{ns}	1.133	.11 ^{ns}	.00	.881 ^{ns}	.00	.72 ^{ns}	39.45	.266 ^{ns}
تنش شوری Salt	3	152.46	0.00 [*]	135.87	.00 [*]	433.53	.000 [*]	7.904	.000 [*]	0.258	.000 [*]	.06	.000 [*]	299.49	.000 [*]
رقم × تنش شوری Salt × Cultivar	3	41.851	.001 [*]	60.28	.000 [*]	9.213	.006 [*]	3.512	.000 [*]	0.45	0.11 ^{ns}	0.001	.000 [*]	31.75	.389 ^{ns}

* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

* and ns are significant at the level of 0.05 and non-significant, respectively



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی (a) طول ساقه (سانتی‌متر)، (b) طول ریشه (سانتی‌متر)، (c) وزن تر اندام هوایی (گرم)، (d) وزن تر ریشه (گرم)، (e) وزن خشک هوایی (گرم)، (f) وزن خشک ریشه (گرم)، (g) محتوای آب نسبی آب برگ (درصد) در دو رقم لوبیا قرمز (افق، Ks31285). مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه به‌طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد براساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 1- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on some morphological indicators a) Length of shoot (cm). b) Root length (cm). c) Fresh weight shoot (grams). d) Root fresh weight (gram). e) Weight dry shoot (gram). f) Root dry weight (gram). g) Relative water content of leaf (%) in two varieties of red bean (Ofogh, Ks31285). Mean values of three repetitions \pm SE. The comparison of the means in leaves and roots was done separately. Unsimilar letters in leaves and roots indicate a significant difference at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

اثر تنش شوری بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری روی رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید) تأثیر معنی‌داری داشت. در مورد رقم روی رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید) تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲).

براساس نتایج تنش شوری، میزان کاهش کلروفیل a در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۷، ۲۹ و ۳۱ درصد برای رقم افق و ۳۶، ۳۱ و ۳۱ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۲-a). میزان کاهش کلروفیل b در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ۳۴ و ۵۹ درصد برای رقم افق و ۴۲، ۳۸ و ۳۸ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۲-b). میزان کلروفیل کل در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ۲۹ و ۳۴ درصد برای رقم افق و ۳۸، ۳۳ و ۳۲ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۲-c). میزان کاروتنوئید برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۰، ۳۳، ۲۴ درصد در مقایسه با شاهد و برای رقم KS31285 به ترتیب ۲۸، ۳۵ و ۲۷ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۲-d).

غلظت بالای Na^+ در اندام‌های هوایی منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و مزوفیل می‌شود، درحالی‌که تجمع یون کلر، کلروفیل را از بین می‌برد و PSII را مختل می‌کند (Mbariki et al., 2018). کاهش وزن خشک برگ و ریشه گیاهان در

شرایط تنش شوری را می‌توان به کاهش تعداد رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین خشکی ناشی از تنش شوری نسبت داد که باعث کاهش پتانسیل اسمزی در محیط رشد می‌شود و در نهایت گیاه را مجبور به استفاده از ترکیبات یونی برای تنظیم اسمزی می‌کند (Narimani et al., 2020). در این تحقیق تنش شوری باعث کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها) در هر دو رقم لوبیا قرمز شد، که مطابق با مطالعات روی تربچه و لوبیا قرمز می‌باشد (Noreen and Ashraf, 2009; Turan et al., 2007). کاهش سطح کلروفیل در گیاهان تحت تنش شوری به‌عنوان یک علامت معمول تنش اکسیداتیو در نظر گرفته شده است (Smirnoff, 1996). به مهار سنتز کلروفیل همراه با فعال شدن تخریب آن توسط آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (Taïbi et al., 2016).

کاروتنوئیدها گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپرنوئید و رنگدانه‌های کلیدی سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان هستند و نقش مهمی در حفاظت نوری به‌خصوص در شرایط تنش دارند (Taïbi et al., 2016). کاهش مقدار کاروتنوئیدها در شرایط تنش می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت این ترکیبات به‌دلیل ایفای نقش حفاظتی آن‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان باشد. از طرفی دیگر، در طی ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در شرایط تنش، فرایند تجزیه شدن این ترکیبات نسبت به بیوسنتز آن‌ها بیشتر انجام گرفته است. این داده‌ها با نتایج به‌دست آمده در *P. vulgaris* L. و نتایج ژنوتیپ‌های ذرت و گندم هم‌خوانی دارد (Gadallah et al., 1999; Singh et al., 2008).

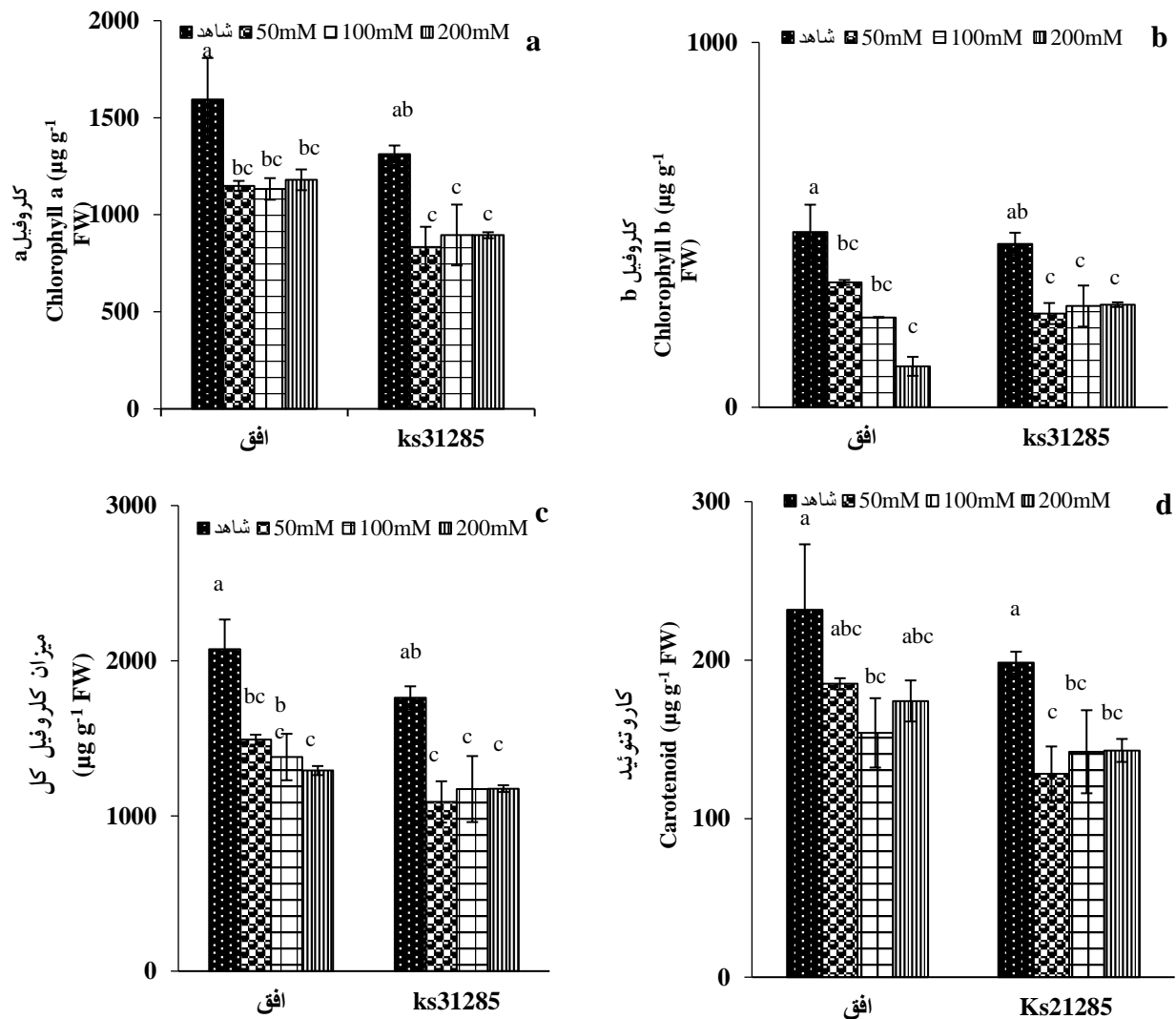
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید

Table 2 - Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid in leaves and roots

میانگین مربعات									
Mean square									
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	سطح معنی‌دار	کلروفیل b	سطح معنی‌دار	کلروفیل کل	سطح معنی‌دار	کاروتنوئید	سطح معنی‌دار
S.O.V	df	chlorophyll a	Chlorophyll Sig	Chlorophyll b	Sig	total chlorophyll	Sig	Carotenoid	Sig
رقم	1	435198	.002 *	4191	.399 ns	524793	.003 *	6630	.038 *
Cultivar									
تنش شوری	3	295765	.001 *	52510	.001 *	589276	.000 *	5634	.020 *
Salt									
رقم × تنش شوری	3	2437	.973 ns	4566	.503 ns	13446	.818 ns	505	.762 ns
Salt × Cultivar									

* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

* and ns are significant at the level of 0.05 and non-significant, respectively



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر میزان (a) کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تر)، (b) کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تر)، (c) کلروفیل کل (میکروگرم بر گرم وزن تر)، (d) کاروتنوئید (میکروگرم بر گرم وزن تر). در دو رقم لوبیا قرمز (افق، KS31285). مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 2- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on the amount of a) Chlorophyll a ($\mu\text{g/g}$ fresh weight). b) Chlorophyll b ($\mu\text{g/g}$ fresh weight). c) total chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{fresh weight}$). d) Carotenoid (micrograms per gram fresh weight). in two bean cultivars (Ofogh, KS31285). Mean values of three repetitions \pm SE. The comparison of the averages was done separately in the leaf. Dissimilar letters in the leaf indicate a significant difference at the 5% level based on Duncan's test between the treatments.

افزایش نشان داد (شکل ۳-۱). در ریشه، میزان پروتئین در افق و KS31285 در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تغییر نکرد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۱۷ و ۱۷۶ در مقایسه با شاهد می‌باشد (شکل ۳-۲).

نتایج ما در این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت نمک در این آزمایش غلظت پروتئین برگ و ریشه در هر دو رقم افزایش یافت، البته میزان این افزایش در رقم KS31285 بیشتر بود. این امر می‌تواند به دلیل حساسیت بیشتر رقم KS31285

اثر تنش شوری روی میزان پروتئین در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر سطح پروتئین برگ و ریشه و اثر متقابل رقم و تنش شوری تأثیر معنی داری بر پروتئین ریشه داشتند (جدول ۳).

در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، میزان پروتئین برگ به ترتیب ۲۰ و ۴۵ درصد در رقم افق افزایش پیدا کرد و میزانش در رقم KS31285 تحت تنش شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۱۵، ۳۵ و ۵۴ درصد، در مقایسه با شاهد

تأثیر تنش شوری روی میزان کربوهیدرات کل در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر سطح کربوهیدرات کل برگ و ریشه داشت (جدول ۳). میزان کربوهیدرات کل برگ در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۲، ۴۵ و ۱۵۰ درصد افزایش را در مقایسه با شاهد نشان داد و میزانش در رقم KS31285 در ۲۰۰ میلی‌مولار ۱۱۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داشت (شکل ۳-۳)، میزان کربوهیدرات کل ریشه در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۸، ۴۴ و ۸۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد در حالی که در رقم KS31285، میزانش در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی داری با شاهد نشان نداد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۷۹ در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۳-۳).

اثر تنش شوری روی میزان کربوهیدرات احیاءکننده در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی داری بر سطح کربوهیدرات احیاءکننده برگ و ریشه و رقم تأثیر معنی داری بر سطح کربوهیدرات احیاءکننده ریشه داشتند (جدول ۳).

به تنش شوری باشد. پرولین جزء متابولیت‌های محافظ که کاهش پتانسیل آب سلول از سمیت مضر تنش شوری جلوگیری می‌کند و بدین ترتیب سبب افزایش پایداری غشا سلول می‌شود (Benhassaini et al., 2012). مطالعات نشان دادند که پرولین در ارقام حساس به تنش شوری، افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد و تجمع آن باعث القای مقاومت در برابر شوری می‌شود (El kholly et al., 2021).

محققان نشان دادند که انباشت پرولین در گندم، جو و سورگوم نشان‌دهنده حساسیت نسبی این ارقام در مقابل تنش است (Tavakoli et al., 2016).

بنابراین، احتمالاً تفاوت در مقاومت به شوری بین گونه‌ها و ارقام ممکن است به دلیل تفاوت در سنتز اسمولیت‌های سازگاری مانند پرولین باشد (Maighany and Ebrahimzadeh, 2002).

با توجه به نتایج حاضر از لحاظ متابولیسم پرولین می‌توان به مقاوم و سازش پذیر بودن رقم افق در مقایسه با رقم KS31285 تاکید نمود. این افزایش پرولین در ریشه و برگ هر دو رقم لوبیا قرمز می‌تواند در پاسخ به کاهش RWC برگ ناشی از تنش شوری باشد. یافته‌ها نشان می‌دهد که گیاهان لوبیا این پاسخ‌ها را برای مقاومت در برابر اتلاف آب ناشی از تنش شوری ایجاد می‌کنند (Narimani et al., 2020).

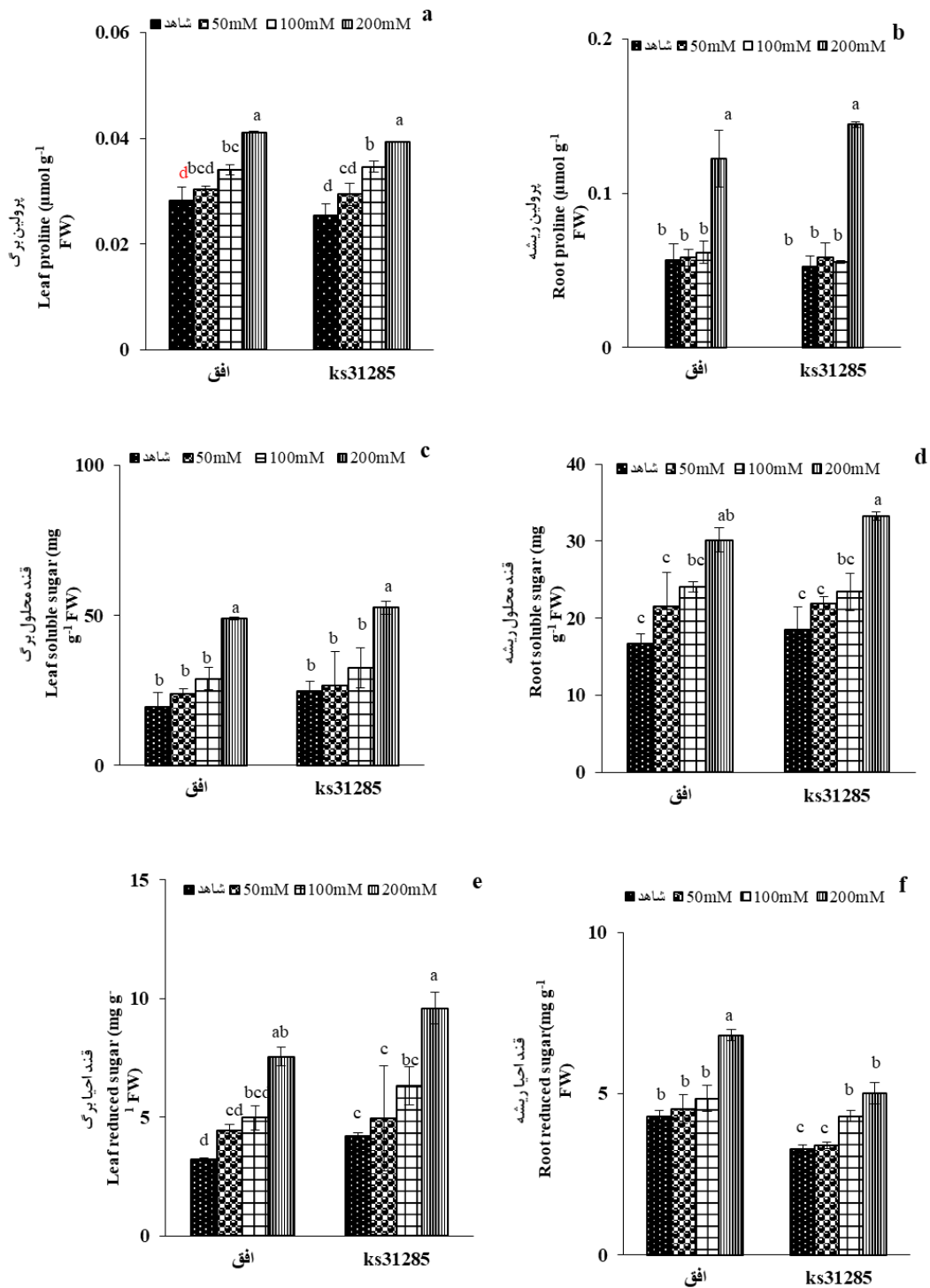
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر پرولین، قند کل، قند احیا برگ و ریشه

Table 3 - Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on proline, soluble sugar, reduced sugar in leaves and roots

Mean square میانگین مربعات													
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پرولین برگ	سطح معنی‌دار	پرولین ریشه	سطح معنی‌دار	قند کل برگ	سطح معنی‌دار	قند کل ریشه	سطح معنی‌دار	قند احیا برگ	سطح معنی‌دار	قند احیا ریشه	سطح معنی‌دار
		Leaf proline	Sig	Root proline	Sig	Leaf soluble sugar	Sig	Root soluble sugar	Sig	Leaf reduced sugar	Sig	Root reduced sugar	Sig
رقم Cultivar	1	8.10	.273 ns	5.132	.659 ns	86.002	.336 ns	7.541	.489 ns	8.981	.073 *	7.540	.000 *
تنش شوری Salt	3	.000	.000 *	.009	.000 *	990.930	.000 *	209.525	.000 *	26.355	.000 *	5.596	.000 *
رقم × تنش شوری Salt × Cultivar	3	3.160	.717 ns	.000	.422 ns	1.721	.996 ns	4.028	.847 ns	.609	.861 ns	.398	.202 ns

* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

* and ns are significant at the level of 0.05 and non-significant, respectively



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) بر میزان (a) پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)، (b) پرولین ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر)، (c) قند محلول برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)، (d) قند محلول ریشه (میلی گرم بر گرم وزن تر)، (e) قند احیا برگ (میلی گرم بر گرم وزن تر)، (f) قند احیا ریشه (میلی گرم بر گرم وزن تر) در دو رقم لوبیا (افق، KS31285). مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 3- The effect of different treatments of salinity stress (50, 0, 100 and 200 mM) on the amount of a) Leaf proline (micromol per gram of fresh weight), b) Root proline (micromol/g fresh weight), c) Leaf soluble sugar (mg/g fresh weight), d) Root soluble sugar (mg/gram of fresh weight), e) Leaf reduced sugar (mg/gram of fresh weight), f) Root reduced sugar (mg/gram of fresh weight) in two bean cultivars (Ofogh, KS31285). Mean values of three repetitions \pm SE. The comparison of the averages in leaves and roots was done separately. Dissimilar letters in leaves and roots indicate a significant difference at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

به قند است که به عنوان یک شاخص مطلوب در شناسایی ارقام متحمل به تنش استفاده می‌شود (Alavi and Abbaspour, 2020). ارقام مقاوم از طریق انباشت محلول‌های آلی مانند کربوهیدرات‌ها و اسیدآمین‌ها تنظیم اسمزی را در سلول‌های خود انجام می‌دهند (Reisi et al., 2021). تنظیم اسمزی منجر به تغییر در ارتباط بین تورژسانس و محتوای آب نسبی می‌شود. در شرایط تنش شوری، به دلیل افزایش اسمولاریت‌ها برای تنظیم اسمزی، فشار تورژسانس تغییر نمی‌کند، اما از آنجا که انباشت این اسمولیت‌ها سبب جذب آب بیشتر و افزایش وزن آماس برگ می‌شود، میزان آب نسبی کاهش می‌یابد. محتوای آب نسبی برگ، به دلیل سهولت اندازه‌گیری و هزینه کم، آن را به عنوان یک شاخص مطلوب در انتخاب گونه یا رقم متحمل به تنش شوری پیشنهاد می‌کنند (Alzahrani et al., 2019; Shafeiee and Ehsanzadeh, 2019).

تأثیر تنش شوری روی میزان پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین رقم از لحاظ همه صفات به استثنای پراکسید هیدروژن ریشه معنی‌دار می‌باشد، تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر همه صفات و اثر متقابل رقم و تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر پراکسید هیدروژن برگ داشتند (جدول ۴).

میزان کربوهیدرات‌های احیاء‌کننده برگ در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳۷، ۵۴ و ۱۳۵ درصد افزایش پیدا کرد و میزانش برای رقم KS31285 در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۰ و ۱۲۷ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۳-e). در حالی که میزان کربوهیدرات‌های احیاء‌کننده ریشه در رقم افق در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار شوری ۵۸ درصد افزایش یافت و میزانش در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری در رقم KS31285 به ترتیب ۳۲ و ۵۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داشت (شکل ۳-f).

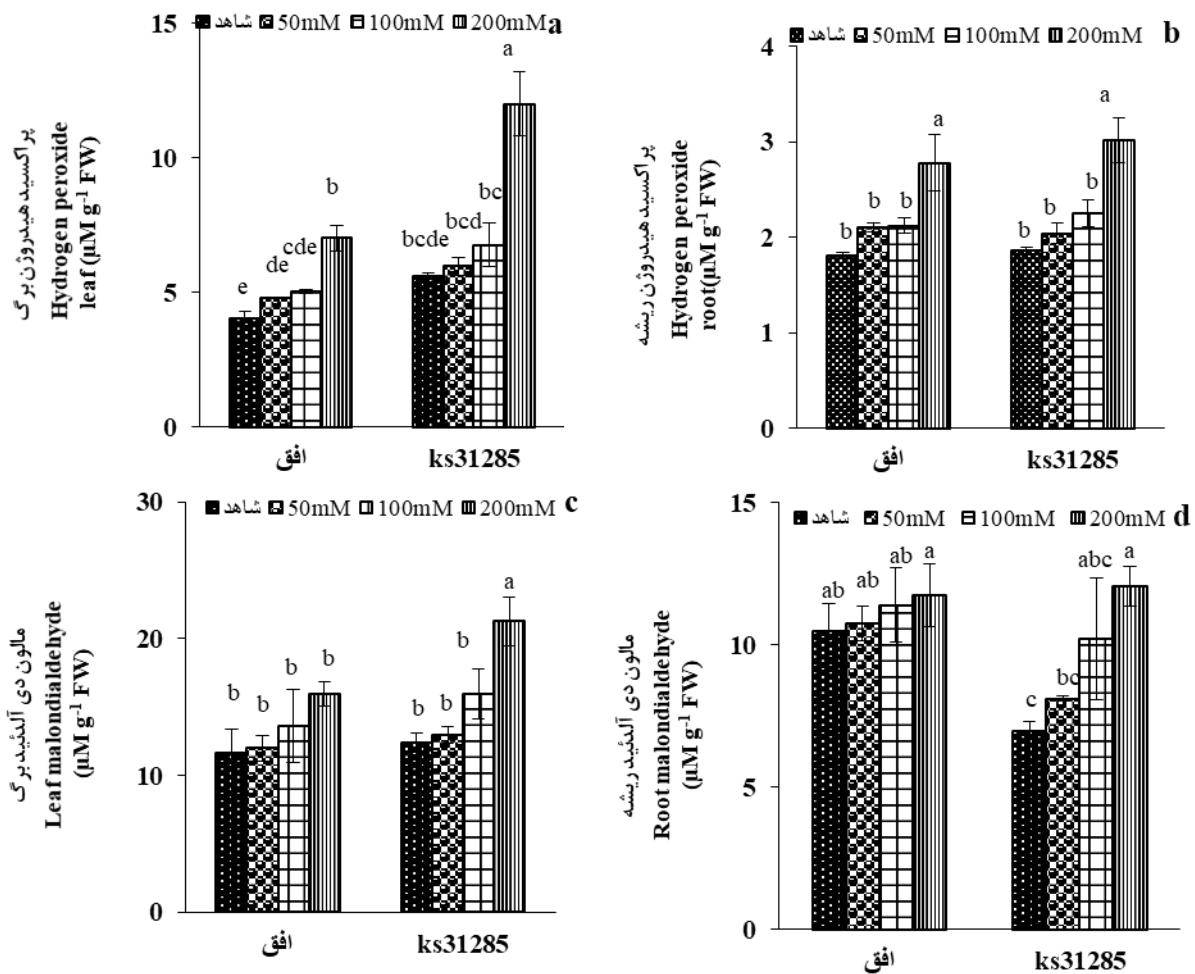
نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که بر اثر تنش شوری میزان قندهای احیاء و محلول در دو رقم افزایش می‌یابد. محتوای قندهای احیاء‌کننده و کل در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار در اندام‌های هوایی و زمینی رقم حساس KS31285 به مراتب کمتر از میزان قندهای موجود در لندام‌هایی هوایی و زمینی رقم افق بوده است. هم‌راستا با نتایج ما بسیاری از محققان گزارش کردند که تنش شوری باعث تحریک تجمع قندهای احیاء‌کننده و کربوهیدرات‌های محلول در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند جو، سورگوم و بادمجان شد (Saad-Allah, 2015). افزایش قندهای محلول در پاسخ به شوری ممکن است باعث جابه‌جایی کمتر آنها از برگ‌ها شود. مصرف کمتر کربوهیدرات در برگ‌ها ناشی از کاهش رشد و تغییرات دیگری مانند هیدرولیز نشاسته

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید برگ و ریشه

میانگین مربعات									
Mean square									
منابع تغییرات	درجه آزادی	پراکسید هیدروژن برگ	سطح معنی‌دار	پراکسید هیدروژن ریشه	سطح معنی‌دار	مالون دی‌آلدئید برگ	سطح معنی‌دار	مالون دی‌آلدئید ریشه	سطح معنی‌دار
S.O.V	df	Hydrogen peroxide leaf	Sig	Hydrogen peroxide root	Sig	Leaf Malondialdehyde	Sig	Root malondialdehyde	Sig
رقم	1	33.705	.000 *	.048	.418 ns	32.736	.049 *	18.438	.035 *
Cultivar									
تنش شوری	3	26.742	.000 *	1.261	.000 *	54.431	.002 *	11.961	.044 *
Salt									
رقم × تنش شوری	3	4.661	.013 *	.25	.789 ns	6.685	.450 ns	4.252	.339 ns
Salt × Cultivar									

* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار است.

* and ns are significant at the level of 0.05 and non-significant, respectively



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر میزان (a) پراکسید هیدروژن برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)، (b) پراکسید هیدروژن ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر)، (c) مالون دی آلدئید برگ (میکرومول بر گرم وزن تر)، (d) مالون دی آلدئید ریشه (میکرومول بر گرم وزن تر) در دو رقم لوبیا (افق، KS31285). مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 4- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on the amount of a) Hydrogen peroxide leaf (micromoles per gram of fresh weight), b) Hydrogen peroxide root (micromol/g fresh weight), c) Leaf Malondialdehyde (micromol/g fresh weight), d) Root malondialdehyde (micromol/g fresh weight) in two bean cultivars (Ofogh, KS31285). Mean values of three repetitions \pm SE. The comparison of the averages in leaves and roots was done separately. Dissimilar letters in leaves and roots indicate a significant difference at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

۲۰۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان نداد، و این میزان برای رقم KS31285 به ترتیب ۳، ۳۶ و ۷۱ درصد، در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۴- c). در ریشه، میزان مالون‌دی‌آلدئید در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۳، ۹ و ۱۲ برای رقم افق و ۱۷، ۴۶ و ۷۲ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۴- d). بدیهی است، گیاهانی که از سمیت NaCl رنج می‌برند اغلب علائم مرتبط با تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدی غشایی را نشان می‌دهند که می‌تواند منجر به تجمع H_2O_2 و

میزان پراکسید هیدروژن برگ برای رقم افق در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۳ و ۷۲ درصد و میزان آن برای رقم KS31285 در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۱۱۳ درصد در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۴- a). در رقم افق، میزان پراکسید هیدروژن ریشه در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ۵۳ درصد افزایش یافت و این میزان در رقم KS31285 در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۰ و ۶۳ درصد، در مقایسه با شاهد، بود (شکل ۴- b). در حالی که میزان مالون‌دی‌آلدئید برگ برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و

معنی داری روی فاکتورهای (سدیم برگ و ریشه، پتاسیم برگ و ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم برگ و ریشه) و رقم، اثر متقابل رقم و تنش شوری تأثیر معنی داری روی فاکتورهای (سدیم ریشه، پتاسیم ریشه و نسبت سدیم به پتاسیم ریشه) داشتند (جدول ۵).

میزان سدیم برگ در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۱، ۳۴ و ۲۰۵۵ درصد برای رقم افق و ۵۴، ۱۲۴ و ۳۲۷۲ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل a-۵). میزان افزایش سدیم ریشه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۹۷۹، ۱۰۳۲ و ۱۰۱۹ درصد برای رقم افق و ۲۰۹، ۱۲۱ و ۱۸۳ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد بود (شکل b-۵). در حالی که میزان پتاسیم برگ در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار برای رقم KS31285 تفاوت معنی داری با شاهد را نشان نداد، میزان آن در رقم افق در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار، ۵۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل c-۲). میزان پتاسیم ریشه در رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۷۵، ۸۳ و ۸۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد و میزانش در رقم KS31285 در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۵۲ و ۸۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کرد (شکل d-۵).

MDA شود (Abdelrhim et al., 2021). در این مطالعه، شوری بالا باعث تولید بیش از حد H_2O_2 و تجمع MDA در اندام‌هایی هوایی و زمینی هر دو رقم لوبیا شد. با این حال، افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در رقم KS31285 ملموس‌تر و سریع‌تر از رقم افق بوده است. در هر دو رقم، ۱۰ روز پس از اعمال تنش، بیشترین افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید و همچنین پراکسید هیدروژن در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. گزارش‌های متعددی در مورد افزایش MDA در آفتابگردان و کلزا وجود دارد (Ramaswamy and Seeta, 2018; Hasanuzzaman et al., 2014). در ذرت، تنش شوری طولانی مدت محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ را کاهش و محتوای MDA و H_2O_2 را افزایش داد (Morsali Aghajari et al., 2020). در این تحقیق رقم KS31285 میزان MDA و H_2O_2 بیشتری نسبت به رقم افق در برگ و ریشه خود داشته است. این امر دلالت بر این دارد که میزان MDA و H_2O_2 بیشتر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر به تنش اکسایشی است. کمتر بودن میزان MDA و H_2O_2 در رقم افق می‌تواند به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه باشد.

تأثیر تنش شوری روی میزان سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم برگ و ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری تأثیر

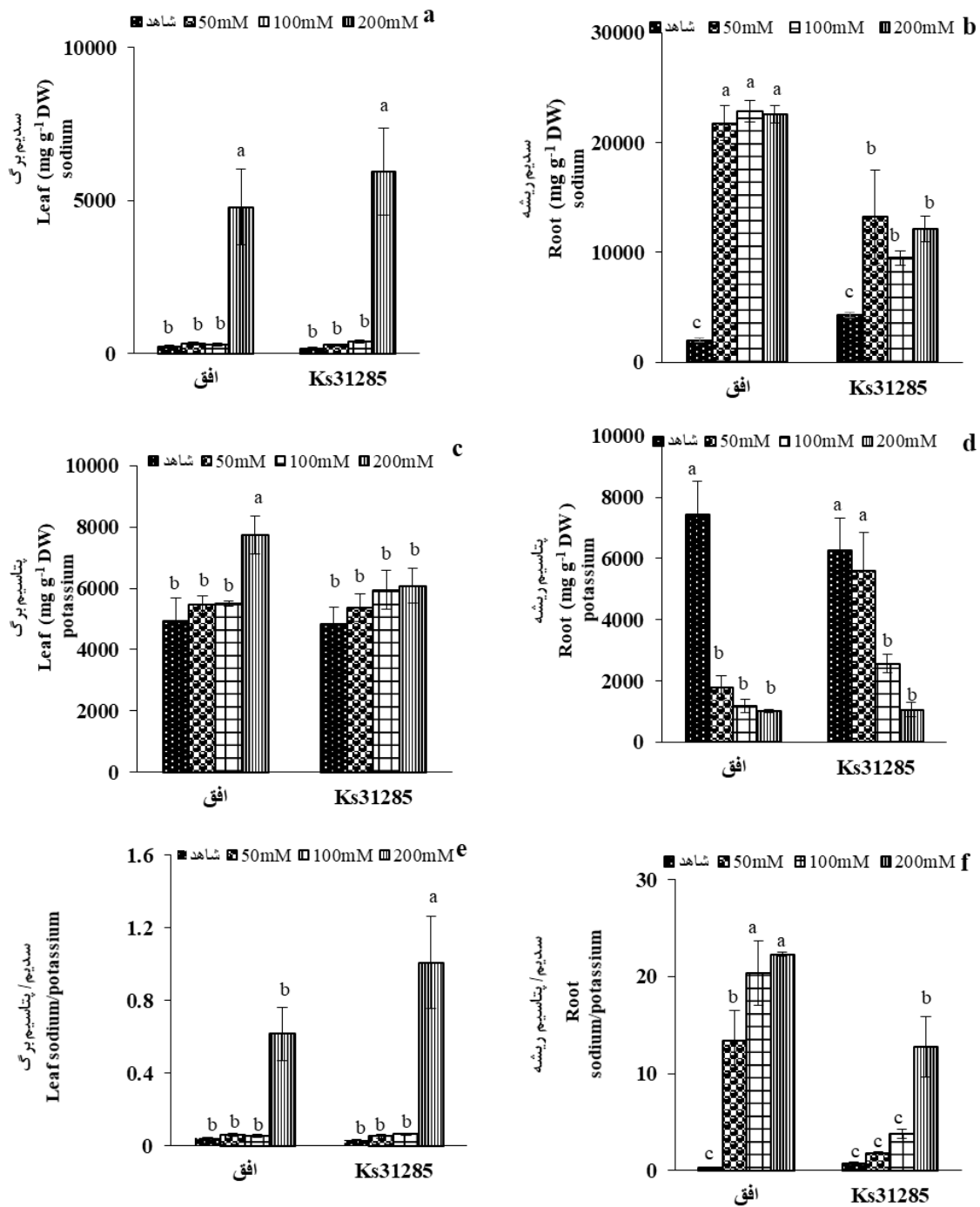
جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر رقم و تنش شوری بر سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم و پتاسیم برگ و ریشه

Table 5- Variance analysis (mean square) effect of cultivar and salinity stress on sodium, potassium and ratio of sodium and potassium in leaves and roots

میانگین مربعات													
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سدیم برگ Leaf sodium	سطح معنی دار Sig	سدیم ریشه Root sodium	سطح معنی دار Sig	پتاسیم برگ Leaf potassium	سطح معنی دار Sig	پتاسیم ریشه Root potassium	سطح معنی دار Sig	برگ/پتاسیم برگ Ratio of sodium to potassium leaves	سطح معنی دار Sig	ریشه/پتاسیم ریشه Ratio of sodium to potassium root	سطح معنی دار Sig
رقم Cultivar	1	510406	.545 ^{ns}	3.400	000 [*]	727275	.370 ^{ns}	1.401	.018 [*]	.560	.206 ^{ns}	519.280	.000 [*]
تنش شوری Salt	3	3.890	.000 [*]	2.908	000 [*]	4387090	.011 [*]	4.245	.000 [*]	.868	.000 [*]	311.301	.000 [*]
رقم × تنش شوری Salt × Cultivar	3	522616	.761 ^{ns}	6.982	.002 [*]	1236698	.266 ^{ns}	1.412	.003 [*]	.058	.189 ^{ns}	76.143	.004 [*]

* و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۰/۰۵ و غیر معنی دار است.

* and ns are significant at the level of 0.05 and non-significant, respectively



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر میزان (a) سدیم برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (b) سدیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (c) پتاسیم برگ (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (d) پتاسیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، (e) نسبت سدیم به پتاسیم برگ، (f) نسبت سدیم به پتاسیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). در دو رقم لوبیا (افقی، Ks31285)، مقادیر میانگین سه تکرار \pm SE. مقایسه میانگین‌ها در برگ و ریشه به طور مجزا انجام گرفت. حروف غیرمشابه در برگ و ریشه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است.

Figure 5- The effect of different treatments of salinity stress (0, 50, 100 and 200 mM) on the amount of a) Leaf sodium (mg/g dry weight), b) Root sodium (mg/g dry weight), c) Leaf potassium (mg/g dry weight), (d) Root potassium (mg/gram dry weight), (e) Ratio of sodium to potassium leaves, f) Ratio of sodium to potassium root in two bean cultivars (Ofogh, Ks31285). The mean values of three replicates \pm SE. The comparison of means in leaves and roots was done separately. Different letters in leaves and roots indicate significant differences at the 5% level between treatments based on Duncan's test.

یافته‌ها در مجموع نشان می‌دهند که مقاومت به شوری به‌طور منفی با غلظت سدیم و به‌طور مثبت با غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ همبستگی دارد و این همبستگی به اندازه‌ای است که می‌توان از آن به‌عنوان یک معیار انتخابی برای اصلاح ارقام مقاوم به تنش شوری استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به سطح بالای کشت لوبیا در ایران و حساسیت بالای این گیاه به شوری، شناسایی ارقام لوبیای مقاوم و حساس به شوری کمک مهمی به حل کشت این گیاه در مناطق شور می‌نماید، لذا در این مطالعه، تأثیر سطوح مختلف تنش شوری در دو رقم لوبیا قرمز (افق و KS31285) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، با افزایش غلظت سدیم کلرید، شاخص‌های بیوشیمیایی مانند میزان مالون‌دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن، کربوهیدرات احیاء و محلول، پرولین و غلظت سدیم و پتاسیم افزایش یافت و پارامترهای فیزیولوژیک مانند میزان کلروفیل، کاروتنوئیدها، محتوای آب نسبی برگ و شاخص‌های رشد کاهش پیدا کردند، اگرچه هر دو رقم لوبیا واکنش منفی زیادی به شوری نشان داده‌اند، اما در کل واکنش رقم افق نسبت به رقم KS31285 ملایم‌تر بوده است. احتمالاً مقاومت بهتر رقم افق نسبت به رقم KS31285 ناشی از غلظت کمتر سدیم و غلظت بیشتر پتاسیم در برگ‌ها، تجمع بالاتر فندهای احیاء‌کننده و کل و کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در برگ و ریشه است که منجر به کاهش تخریب غشای سلولی می‌گردد. مجموع این عوامل منجر به بیشتر بودن شاخص‌های رشد (ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و زمینی) و RWC رقم افق در مقایسه با رقم KS31285 در تمام سطوح شوری گردید. در این آزمایش نیز افزایش غلظت پرولین در رقم حساس KS31285 تحت تنش شوری را می‌توان به تجزیه بیشتر پروتئین‌ها نسبت داد و حساسیت این رقم را به شوری تفسیر کرد.

نسبت سدیم به پتاسیم برگ در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۲۳، ۳۹ و ۱۲۹۷ درصد برای رقم افق و ۴۸، ۸۷ و ۲۷۰۸ درصد برای رقم KS31285 در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۵-e). در ریشه، نسبت سدیم به پتاسیم ریشه برای رقم افق در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب ۴۴۸۸، ۶۸۸۶ و ۷۵۵۸ درصد برای رقم و ۴۲۸، ۱۴۸ و ۱۶۸۰ درصد برای رقم KS31285، در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد (شکل ۵-f).

گیاهان مختلف از استراتژی‌های مختلفی برای مقابله با سمیت سدیم استفاده می‌کنند. برخی از گیاهان سدیم را به برگ‌ها منتقل می‌کنند و آن را در واکنش انباشته می‌کنند، در حالی که برخی دیگر سدیم را در سطح ریشه بیرون می‌دهند (Tejera et al., 2006). افزایش جذب پتاسیم نیز یک استراتژی شناخته شده برای مقابله با ورود سدیم است (Serrano et al., 1999). در تحقیق حاضر، افزایش غلظت NaCl باعث تجمع میزان سدیم در اندام هوایی و ریشه هر دو رقم شد و همچنین این افزایش غلظت در هر دو رقم سبب کاهش میزان یون پتاسیم در ریشه گردید، که با نتایج دیگر محققان مطابقت داشت (Narimani et al., 2020). Na^+ یک اثر بازدارنده رقابتی بر روی مکان‌های جذب K^+ ارائه می‌دهد که باعث می‌شود گیاهان تحت تنش شوری از آسیب Na^+ و K^+ ناکافی رنج ببرند (Ran et al., 2022). بنابراین، محتوای K^+ در ریشه گیاهان با تشدید تنش شوری کاهش یافت. رقم حساس KS31285 تحت شرایط تنش شوری میزان یون سدیم بیشتری را نسبت به رقم مقاوم افق در اندام‌های هوایی خود ذخیره کرده که سبب بروز خسارت اسمزی، سمیت یونی بیشتر در این رقم گردیده است، این امر می‌تواند دلیلی برای کاهش بیشتر وزن خشک KS31285 نسبت به افق باشد. علاوه بر این در سطوح مختلف شوری، نسبت Na^+/K^+ ریشه به‌طور کلی بیشتر از برگ بود. این نشان می‌دهد که هر دو رقم لوبیا می‌توانند با تنظیم انتخاب و انتقال یون، آسیب تنش شوری به بافت‌های بالای زمین را کاهش دهند (Ran et al., 2022). این

References

- Abdelrhim, A.S., Mazrou, Y.S., Nehela, Y., Atallah, O.O., El-Ashmony, R.M. and Dawood, M.F., 2021. Silicon dioxide nanoparticles induce innate immune responses and activate antioxidant machinery in wheat against *Rhizoctonia solani*. *Plants*, 10, 2758. <https://doi.org/10.3390/plants10122758>

- Alavi, S.L. and Abbaspour, N., 2020. Evaluation of salt (NaCl) tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3, pp.53–66. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2020.2738.1084>
- Albalasmeh, A.A., Berhe, A.A. and Ghezzehei, T.A., 2013. A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydrate Polymers*, 97, pp.253–261. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.072>
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. and Karanov, E., 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24, pp.1337–1344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- Al-Karaki, G.N., 1998. Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181, pp.229–235. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.1998.tb00422.x>
- Alzahrani, S.M., Alaraidh, I.A., Migdadi, H., Alghamdi, S., Khan, M.A. and Ahmad, P., 2019. Physiological, biochemical, and antioxidant properties of two genotypes of *Vicia faba* grown under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 51, pp.786–798. [https://doi.org/10.30848/pjb2019-3\(3\)](https://doi.org/10.30848/pjb2019-3(3))
- Ansari, M., Shekari, F., Mohammadi, M., Végvári, G. and Biró, B., 2019. Effect of irrigation with saline water on ion homeostasis and forage dry yield in alfalfa ecotypes. *Desert*, 24, pp.1–12. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2019.72430>
- Bagheri, K.A. and Sarmadnia, G., 2007. Studying ability to use polyethylene glycol 6000 to study dryness in (*Onobrychis viciifolia*). *Agriculture Resources and Science Magazine*, 5(1), pp.1–9.
- Barrs, H. and Weatherley, P., 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, pp.413–428. <https://doi.org/10.1071/bi9620413>
- Bates, L., Waldren, R.A. and Teare, I., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, pp.205–207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Craig, R. and Lynch, J.P., 2002b. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Science*, 42, pp.1584–1594. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1584>
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Debouck, D.G. and Lynch, J.P., 2002a. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Science*, 42, pp.2184–2192. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.2184>
- Benhassaini, H., Fetati, A., Hocine, A.K. and Belkhodja, M., 2012. Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(2), pp.159–165.
- Dirgantara Namangboling, A. and Kesamai, N., 2023. The effect of red bean soup (*Phaseolus vulgaris* L.) on hemoglobin levels of female students. *International Journal of Nutrition Sciences*, 8, pp.71–73. <https://doi.org/10.30476/ijns.2023.98307.1231>

- El Kholy, R.I., Sayed, A., El-Shaer, H. and Hanafy, M.S., 2021. Impact of sea salt stress on growth and some physiological attributes of two soybean cultivars. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 46, pp.88–100. <https://doi.org/10.21608/ajar.2021.245619>
- Gadallah, M., 1999. Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. *Biologia Plantarum*, 42, 249–257. <https://doi.org/10.1023/a:1002164719609>
- Hamada, A. and El-Enany, A., 1994. Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral contents of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, pp.75–81. <https://doi.org/10.1007/BF02921273>
- Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., Nahar, K., Ahamed, K.U. and Fujita, M., 2014. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress-induced oxidative damage in *Brassica napus*. *Australian Journal of Crop Science*, 8, pp.631–639.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Mahmud, J.A., Fujita, M. and Fotopoulos, V., 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, 9, 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, pp.189–198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Islam, F., Wang, J., Farooq, M.A., Yang, C., Jan, M., Mwamba, T.M., Hannan, F., Xu, L. and Zhou, W., 2019. Rice responses and tolerance to salt stress. In *Advances in rice research for abiotic stress tolerance* (pp.791–819). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814332-2.00040-x>
- Kapoor, N. and Pande, V., 2015. Effect of salt stress on growth parameters, moisture content, relative water content and photosynthetic pigments of fenugreek cultivar RMt-1. *Journal of Plant Sciences*, 10, pp.210–221. <https://doi.org/10.3923/jps.2015.210.221>
- Karimi, G., Ghorbanli, M. L., Heidari, H. and Asareh, M., 2007. Investigation of salt tolerance mechanisms in range species of *Atriplex verrucifera*. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 19(3), pp.42–48. [In Persian].
- Kchaou, H., Larbi, A., Gargouri, K., Chaieb, M., Morales, F. and Msallem, M., 2010. Assessment of tolerance to NaCl salinity of five olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 124, pp.306–315. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.007>
- Kosar, F., Akram, N.A., Ashraf, M., Ahmad, A., Alyemeni, M.N. and Ahmad, P., 2021. Impact of exogenously applied trehalose on sunflower under drought stress. *Physiologia Plantarum*, 172, pp.317–333. <https://doi.org/10.1111/ppl.13155>
- Kumar, S., Li, G., Yang, J., Huang, X., Ji, Q., Liu, Z., Ke, W. and Hou, H., 2021. Effect of salt stress on growth and physiology of water dropwort. *Frontiers in Plant Science*, 12, 660409. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.660409>
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls. *Biochemical Society Transactions*, 11, pp.591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Maghsoumi Holasoo, S. and Pourakbar, L., 2014. Effects of salinity stress on wheat seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6, pp.31–42. [In Persian].

- Maighany, F. and Ebrahimzadeh, H., 2002. Effect of salinity stress on proline metabolism in wheat. *Rostaniha*, 3, pp.87–94.
- Mbarki, S., Sytar, O., Cerda, A., Zivcak, M., Rastogi, A., He, X., Zoghalmi, A., Abdelly, C. and Brestic, M., 2018. Strategies to mitigate salt stress effects on photosynthesis. In *Salinity responses and tolerance in plants* (Vol. 1, pp.85–136). https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4_4
- Meriem, B.F., Kaouther, Z., Chérif, H., Tijani, M. and André, B., 2014. Effect of priming on coriander under salt stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10, pp.84–109.
- Mohamed, I.A., Shalby, N., Bai, C., Qin, M., Agami, R.A., Jie, K., Wang, B. and Zhou, G., 2020. Sodium chloride tolerance of *Brassica napus*. *Plants*, 9, 62. <https://doi.org/10.3390/plants9010062>
- Mohammadi Noori, H., Jafari, S. and Mirab-balou, M., 2023. Population fluctuation of thrips in bean farms. *Taxonomy and Biosystematics*, 14, pp.77–92. [In Persian].
- Morsali Aghajari, F., Darvishzadeh, R. and Razi, M., 2020. Sodium chloride stress in sunflower genotypes. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 8, 10–20.
- Narimani, T., Toorchi, M., Tarinejad, A., Mohammadi, S. and Mohammadi, H., 2020. Evaluation of barley under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22, pp.1009–1021.
- Noreen, Z. and Ashraf, M., 2009. Changes in antioxidant enzymes and some key metabolites in some genetically diverse cultivars of radish (*Raphanus sativus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 67, pp.395–402. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.05.011>
- Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A. and Adelusi, A.A., 2017. Pepper response to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 224, pp.198–205. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020>
- Omae, H., Kumar, A., Egawa, Y., Kashiwaba, K. and Shono, M., 2005. Leaf water content and drought tolerance in snap bean. *Plant Production Science*, 8, pp.465–467. <https://doi.org/10.1626/ppls.8.465>
- Rahneshan, Z., Nasibi, F. and Moghadam, A.A., 2018. Salinity stress in pistachio rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13, pp.73–82. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1424355>
- Ramaswamy, A. and Seeta, R., 2018. Salinity stress on sunflower seedlings. *International Journal of Biological Research*, 3, pp.70–75.
- Ran, X., Wang, X., Huang, X., Ma, C., Liang, H. and Liu, B., 2022. Ion absorption in *Salix matsudana* under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 860111. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.860111>
- Reisi, R., Abooei Mehrizi, F. and Poustini, K., 2021. Bread wheat cultivars under salt stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52, pp.229–240. [In Persian].
- Saad-Allah, K.M., 2015. Sea salt stress in soybean cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 6, pp.1559–1571.
- Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S. and Yildirim, E., 2018. Salinity and drought effects on cabbage. *Scientia Horticulturae*, 240, pp.196–204. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.016>
- Saqib, A.A.N. and Whitney, P.J., 2011. DNS reagent behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 35, pp.4748–4750. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.09.013>

- Sarker, U. and Oba, S., 2020. Nutritional constituents of *Amaranthus hypochondriacus*. *Scientific Reports*, 10, pp.1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71714-3>
- Serrano, R., Mulet, J.M., Rios, G., Marquez, J.A., De Larrinoa, I.F., Leube, M.P., Mendizabal, I., Pascual-Ahuir, A., Proft, M. and Ros, R., 1999. Mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *Journal of Experimental Botany*, pp.1023–1036. https://doi.org/10.1093/jxb/50.special_issue.1023
- Shafeiee, M. and Ehsanzadeh, P., 2019. Salinity tolerance in fennel genotypes. *Industrial Crops and Products*, 132, pp.311–318. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.042>
- Shaheen, S., Naseer, S., Ashraf, M. and Akram, N. A., 2013. Salt stress in eggplant. *Journal of Plant Interactions*, 8, pp.85–96.
- Silambarasan, N. and Natarajan, S., 2014. Growth of halophytes under salinity. *International Letters of Natural Sciences*, 5. <https://doi.org/10.56431/p-hj3dzr>
- Singh, A., Singh, R. and Kumar, S., 2008. Salinity in maize genotypes. *Indian Journal of Plant Physiology*, 13, pp.95–99.
- Smirnoff, N., 1996. Function of ascorbic acid in plants. *Annals of Botany*, 78, pp.661–669. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0175>
- Smith, M.R., Veneklaas, E., Polania, J., Rao, I.M., Beebe, S.E. and Merchant, A., 2019. Drought impact on common bean yield. *PLoS ONE*, 14, e0217099. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217099>
- Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L.A., Ennajah, A., Belkhodja, M. and Mulet, J.M., 2016. Salt stress in *Phaseolus vulgaris*. *South African Journal of Botany*, 105, pp.306–312. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011>
- Tavakoli, F., Vazan, S., Sorkheh, K. and Shakeri, E., 2016. Salinity stress in barley genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, 6, pp.191–202. [In Persian].
- Tejera, N., Soussi, M. and Lluch, C., 2006. Tolerance to salinity in chickpea. *Environmental and Experimental Botany*, 58, pp.17–24. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.007>
- Turan, M.A., Turkmen, N. and Taban, N., 2007. Effect of NaCl on lentil plants. *Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.3923/ja.2007.378.381>
- Uebersax, M.A., Cichy, K.A., Gomez, F.E., Porch, T.G., Heitholt, J., Osorno, J.M., Kamfwa, K., Snapp, S.S. and Bales, S., 2023. Dry beans as a vital component of sustainable agriculture. *Legume Science*, 5, e155. <https://doi.org/10.1002/leg3.155>
- Wang, X., Liu, H., Yu, F., Hu, B., Jia, Y., Sha, H. and Zhao, H., 2019. Antioxidant defence in rice under drought stress. *Scientific Reports*, 9, pp.1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44958-x>
- Zhao, K.F. and Harris, P., 1992. Effects of iso-osmotic salt and water stresses. *Journal of Plant Physiology*, 139, pp.761–763. [https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(11\)81725-6](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(11)81725-6)

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 541-560

The effect of combined application of mycorrhiza with vermicompost and chemical fertilizers on licorice root and seed production and agronomy efficiency of fertilization

Mohadeseh Shahdadnejad ^a, Gholamreza Khajoei-Nejad ^{*b, c}, Ghasem Mohammadi-Nejad ^{b, c}, Jalal Ghanbari ^{c, d}

^a M.Sc. Student in Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^b Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^c Research and Technology Institute of Plant Production, Afzalipour Research Institute, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

^d Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: khajoei@uk.ac.ir

Received: 17 October 2024

Accepted: 5 January 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.483807.1443

How to cite this article:

Shahdadnejad, M., Khajoei-Nejad, G., Mohammadi-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2025. The effect of combined application of mycorrhiza with vermicompost and chemical fertilizers on licorice root and seed production and agronomy efficiency of fertilization. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 541-560. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.483807.1443>

Abstract

Introduction: Soil microorganisms are crucial in mobilizing soil nutrients and nutrient uptake by plants. Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.), Fabaceae family, has been used as an important medicine since ancient times for numerous medicinal purposes. This plant is naturally found in arid and semi-arid areas around the world. In such environments, licorice roots are colonized by several types of microorganisms, including diverse rhizobia, other soil bacteria, such as *Pseudomonas*, actinomycetes, and Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF are amongst the most important beneficial soil microorganisms for plant growth due to the formation of symbiotic relationships with plant roots, improving nutrient uptake and use efficiency. In licorice, the improvement of root performance has been reported with the application of fertilizer resources and mycorrhizal inoculation. Integrated nutrient resources can lead to synergistic effects in improving plant production and increasing productivity. Nevertheless, increasing the agronomic efficiency of different fertilizers is one of the most important challenges of agriculture.

Dealing with the improvement of seed production as a by-product, in addition to improving productivity, provides a propagating material that can greatly reduce the pressure on natural resources. So far, the sustainable production of licorice seeds has not been studied. Most studies have focused on root production and its quality characteristics. Therefore, this study was conducted to improve licorice root and seed production, as well as improve the agronomic efficiency of vermicompost and chemical fertilizers.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Materials and Methods: The present study investigated the integrated effect of inoculation with mycorrhiza on the diminished quantities of chemical and organic fertilizers on root production and agronomic efficiency of chemical fertilizers and vermicompost, yield components and seed yield of licorice. The experiment was conducted during two cropping seasons of 2021-2022 and 2022-2023 based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. The evaluated treatments were included: 1) control (without fertilizer application and inoculation with mycorrhiza); 2) inoculation with mycorrhiza (AM); 3) Vermicompost (V_{100}): 100% recommended rate (8 t ha^{-1}); 4) 50% vermicompost (V_{50}); 5) 50% vermicompost + mycorrhiza (V_{50+AM}); 6) Chemical fertilizer (CF_{100}): 100% of recommended rate; 7) 50% chemical fertilizer (CF_{50}); 8) 50% chemical fertilizer + mycorrhiza (CF_{50+AM}).

Results and Discussion: The results showed that the highest root yield was obtained from 50% vermicompost and mycorrhiza inoculation (V_{50+AM}), which showed no significant difference with V_{100} , CF_{100} , and CF_{50} treatments. Meanwhile, the application of V_{50+AM} treatment improved the root yield up to 42.5% compared to the control and 40% compared to V_{50} . This led to an increase in the agronomic efficiency of the V_{50+AM} treatment compared to other treatments. Integrated AM-inoculation and chemical fertilizers (CF_{50+AM}) did not show a significant difference from CF_{50} . Also, the results showed that mycorrhizal inoculation alone (AM) did not show the efficiency to improve root yield compared to the control, and reduced the mycorrhizal inoculation effect compared to integrated application with fertilizer sources. The results also showed that the highest seed yield was obtained from the application of V_{100} , which showed a multifold increase in seed production compared to the control. This can be a result of a significant increase in the number of pods per unit area and finally, the number of seeds per unit area. Application of CF_{100} ranked next in terms of seed production per unit area and seed yield, despite less pod production. The application of reduced amounts of fertilizers led to a significant decrease in seed yield and its yield components. The results also showed that the AM-inoculation alone and in combination with fertilizer treatments did not show a significant effect on yield components and seed yield.

Conclusion: In conclusion, reduced amounts of vermicompost and mycorrhiza for root production and the application of high amounts of vermicompost for seed production may be a suitable nutritional management strategy for sustainable production of licorice.

Keywords: Input use efficiency, Integrated nutrient management, Mycorrhizal inoculation effect, Seed yield components

اثر کاربرد تلفیقی مایکوریزا با ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی بر تولید ریشه و بذر شیرین بیان و کارایی زراعی کوددهی

محدثه شهپاد نژاد^۱، غلامرضا خواجهی نژاد^{۲*}، قاسم محمدی نژاد^۲، جلال قنبری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

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

۴- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: khajoei@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.483807.1443

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

چکیده

اثر تلقیح با مایکوریزا در شرایط کاهش کاربرد کودهای شیمیایی و آلی بر تولید ریشه و کارایی زراعی کوددهی، اجزای عملکرد و عملکرد بذر شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱ و ۱۴۰۱-۲ بررسی شد. تیمارهای مورد ارزیابی شامل (۱) شاهد؛ (۲) تلقیح با مایکوریزا؛ (۳) ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (۸ تن در هکتار)؛ (۴) ۵۰ درصد ورمی کمپوست؛ (۵) ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا؛ (۶) ۱۰۰ درصد کود شیمیایی؛ (۷) ۵۰ درصد کود شیمیایی و (۸) ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ریشه از تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا حاصل شد که با تیمارهای ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود شیمیایی تفاوت معنی داری نشان نداد اما نسبت به شاهد ۴۲/۵ درصد و نسبت به تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست، ۴۰ درصد عملکرد ریشه را بهبود داد که منجر به افزایش کارایی زراعی این تیمار در مقایسه با سایر تیمارها شد. همچنین بیشترین عملکرد بذر از تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست حاصل شد که حاصل افزایش قابل توجه در تعداد غلاف و بذر در واحد سطح بود. کاهش کوددهی منجر به کاهش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد بذر شد. همچنین، تلقیح مایکوریزا به تنهایی، از کارایی لازم برای بهبود عملکرد ریشه و بذر برخوردار نبود. می توان این گونه نتیجه گرفت که برای تولید ریشه، تلقیح با مایکوریزا در شرایط ۵۰ درصد میزان کاربرد ورمی کمپوست (۴ تن در هکتار) و برای تولید بذر، کاربرد مقادیر بالای ورمی کمپوست (۸ تن در هکتار) ممکن است راهبردهای مناسبی برای مدیریت تغذیه شیرین بیان باشند.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد بذر، کارایی تلقیح مایکوریزا، کارایی مصرف نهاده، مدیریت تلفیقی تغذیه

مقدمه

مهمی در احیا و مدیریت خاک‌های تخریب شده دارد (Khaitov et al., 2022). افزایش تقاضای صنایع مختلف، منجر به برداشت بی‌رویه از عرصه‌های طبیعی شده است. به همین دلیل در طبیعت، گیاه شیرین بیان وحشی تقریباً در حال نابودی و در نتیجه آن، روند بیابان‌زایی در عرصه‌های رشد این گیاه، به سرعت در حال افزایش است (Liu et al., 2020). بنابراین، تأمین نیاز صنایع مرتبط با شیرین بیان باید با هدف ایجاد بستر پایدار برای پرورش شیرین بیان باشد که اثرات بوم‌شناختی مثبت را با تکیه بر رویکرد پایدار به همراه داشته باشد (Khaitov et al., 2022).

کشاورزی فشرده با استفاده از کودهای شیمیایی به دنبال

شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده بقولات^۱ است که ترکیبات مؤثره ریشه آن (گلیسیریزین^۲، گلابریدین^۳ و لیکویریتین^۴) طیف وسیعی از خواص زیستی از جمله فعالیت‌های ضد باکتری، ضد التهابی، ضد ویروسی، آنتی‌اکسیدانی و ضد دیابت را نشان می‌دهند (Hayashi and Sudo, 2009). این گیاه که به‌طور طبیعی در زیستگاه‌های وحشی و در شرایط سخت رشد می‌کند، نسبت به سایر گیاهان زراعی، کاملاً کم‌توقع است و دارای سیستم ریشه‌ای عمیق بوده که تا عمق ۱۷ متر گسترش پیدا می‌کند (Khaitov et al., 2022). به همین دلایل شیرین بیان نقش

³ Glabridin

⁴ Liciridin

¹ Fabaceae

² Glycyrrhizin

کارایی مصرف عناصر غذایی، می‌تواند مفید واقع شود (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). در کنار تمام مزایای ذکر شده برای میکروارگانیزم‌ها، در بسیاری از منابع علمی، اثر این میکروارگانیزم‌ها در افزایش کارایی مصرف منابع مختلف کودی و افزایش کارایی مصرف عناصر نیز گزارش شده است (Emmanuel and Babalola, 2020; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). نتایج مطالعه‌ای در همین رابطه نشان داد که تلقیح با مایکوریزا به همراه کاربرد کودهای شیمیایی و کمپوست به طور قابل توجهی باعث افزایش زیست‌توده، جذب و کارایی مصرف عناصر غذایی زعفران شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021). همچنین، کاربرد قارچ مایکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر (EMs)^۱ در سطوح مختلف کاربرد ورمی کمپوست منجر به افزایش عملکرد دانه در کنگد و بهبود کارایی مصرف ورمی کمپوست شدند. همچنین، با افزایش سطح کاربرد ورمی کمپوست در این مطالعه، کارایی تلقیح میکروبی نیز افزایش یافت (Saeidi et al., 2024). به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا علاوه بر بهبود شرایط رشد، در افزایش عملکرد، کارایی مصرف عناصر و بهبود کیفیت گیاه نیز می‌تواند مؤثر باشد (Ghanbari et al., 2019; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Saeidi et al., 2024).

تکثیر گیاه شیرین‌بیان به‌صورت غیر جنسی با استفاده از قلمه‌های ریشه و ریزوم و یا از طریق جنسی با استفاده از بذر انجام می‌شود. تکثیر از طریق ریزوم به‌دلیل تخریب بخش قابل توجهی از منابع ژنتیکی برای تولید گیاهان جدید، منجر به ادامه روند تخریب منابع ژنتیکی این گیاه خواهد شد. بنابراین تولید بذر برای تکثیر، می‌تواند تا حدی فشار را بر منابع طبیعی کاهش دهد. پرداختن به بهبود تولید بذر به‌عنوان یک محصول جانبی در فرایند تولید شیرین‌بیان، علاوه بر بهبود بهره‌وری، ماده تکثیری با کیفیتی را در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند تا حد زیادی فشار وارده بر عرصه‌های طبیعی جهت برداشت ریشه و ریزوم را کاهش دهد. تا کنون به موضوع تولید بذر شیرین‌بیان تحت تیمارهای تلفیقی با هدف توسعه تولید پایدار پرداخته نشده است و پژوهش‌ها، بیشتر بر تولید ریشه و خصوصیات کیفی آن متمرکز شده است. بنابراین، این پژوهش با هدف

به حداکثر رساندن تولید محصول بوده است. به‌طور کلی، به دنبال افزایش تقاضای غذا، تولید حدود نیمی از غذای جهان در سیستم‌های کشاورزی رایج با کاربرد کودهای سنتزی انجام می‌شود و ادامه این روند در طی سال‌های آینده، صعودی پیش‌بینی می‌شود (Bindraban et al., 2015). در این شرایط لازم است در جهت کاهش استفاده از کودهای شیمیایی به‌منظور تولید پایدار کشاورزی، روش‌های جدیدی برای تغذیه گیاهان ارائه شود (Zhang et al., 2015). در این زمینه، نیاز به ارائه رویکردهایی برای افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی در جهت افزایش کارایی کاربرد کودهای شیمیایی و همچنین به‌کارگیری منابع دیگر آلی و تلفیق آن‌ها با منابع زیستی است (Kraiser et al., 2011).

بهبود عملکرد ریشه با استفاده از منابع کودی و قارچ مایکوریزا در شیرین‌بیان گزارش شده است (Goudarzi et al., 2019; Liu et al., 2007; Xie et al., 2024). در مطالعه‌ای در همین رابطه گزارش شد که کاربرد مایکوریزا منجر به بالاترین وزن خشک ریزوم در مقایسه با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی به تنهایی شده است، در حالی که وزن خشک ریشه در کوددهی اوره در سال دوم رشد حداکثر بود (Goudarzi et al., 2024). همچنین، نتایج مطالعه دیگری نشان داد که گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا به طور کلی رشد و وضعیت فیزیولوژیکی بهتری از جمله هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده نشان دادند و از وزن خشک ریشه بالاتری برخوردار بودند (Xie et al., 2019).

به‌نظر می‌رسد که تلفیق منابع مختلف کودی با اثرات هم‌افزایی می‌تواند منجر به افزایش قابل توجه تولید در گیاه شده و افزایش بهره‌وری را به همراه داشته باشد. افزایش کارایی زراعی مصرف کودهای مختلف، یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی است. از طرف دیگر، نگرانی‌ها در مورد ازدست دادن مواد آلی خاک و کاهش ظرفیت تأمین عناصر غذایی خاک، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. در این شرایط، به‌کارگیری شیوه‌های تلفیقی کاربرد منابع مختلف کودی و منابع زیستی مانند میکروارگانیزم‌های مفید به‌عنوان روشی کارآمد برای به حداقل رساندن تلفات عناصر و بهبود

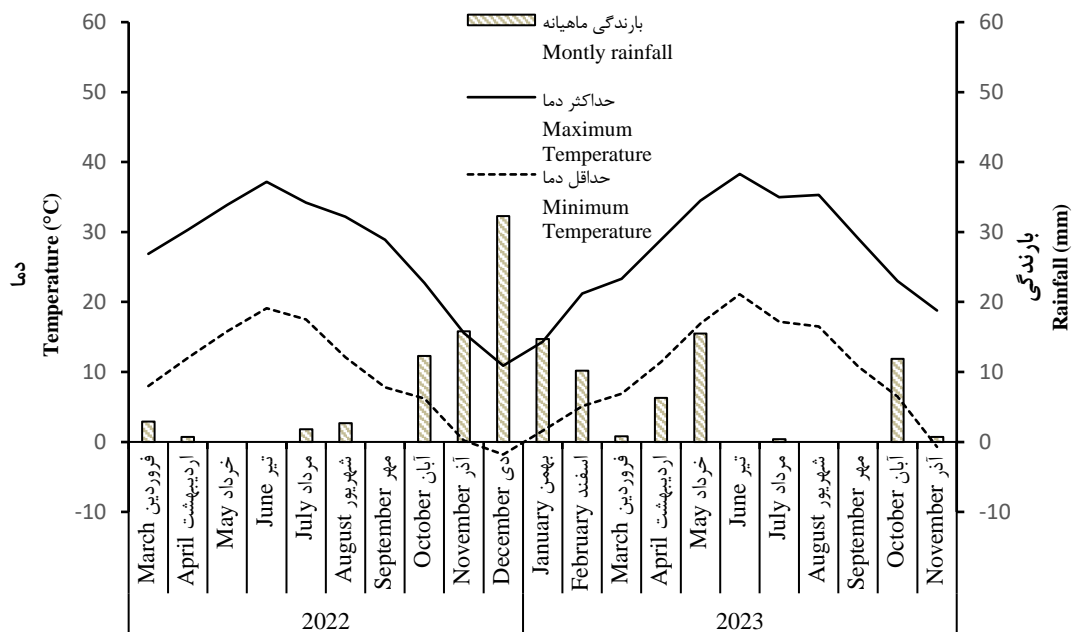
¹ Effective microorganisms (EMs)

کارایی زراعی کودهای آلی و شیمیایی، آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ و ۱۴۰۱-۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۷۷۳ متر) اجرا شد. اطلاعات هواشناسی مربوط به دوره اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است.

بررسی اثر تلفیق ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی با مایکوریزا بر تولید ریشه و بذر شیرین بیان و همچنین بهبود کارایی زراعی کاربرد منابع کودی مختلف انجام شده است.

مواد و روش‌ها

جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد بذر، عملکرد ریشه و



شکل ۱- مؤلفه‌های اقلیمی مختلف محل اجرای آزمایش طی فصل‌های رشد شیرین بیان

Figure 1- Different climatic parameters of the experimental site during the licorice growing seasons

مورد آزمایش قرار گرفت (Estefan et al., 2013). نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی، در جدول ۱ ارائه شده است.

قبل از اجرای آزمایش، از نقاط مختلف خاک مزرعه و از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری نمونه‌هایی جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش جمع‌آوری شد و پس از خشک کردن، مخلوط و همگن شده و

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

Table 1- Some physical and chemical characteristics of the soil of the experimental site

فسفر قابل جذب	نیترژن کل	ظرفیت تبادل کاتیونی	هدایت الکتریکی	کربن آلی	رس	سیلت	شن
K (mg kg ⁻¹)	N (%)	CEC (meq 100 g ⁻¹)	EC (mS cm ⁻¹)	Organic carbon (%)	Clay	Silt	Sand
405.8	0.052	4.85	7.11	0.57	27	35	38

مایکوریزا (V₅₀+AM)؛ (۶) ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (CF₁₀₀)؛ (۷) ۵۰ درصد کود شیمیایی (CF₅₀) و (۸) ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا (CF₅₀+AM) بودند.

براساس منابع محدود در دسترس، نیاز غذایی شیرین بیان سالانه ۴۰ کیلوگرم نیترژن (N) و ۴۰ کیلوگرم فسفر (P₂O₅)

طرح آزمایشی به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل (۱) شاهد (بدون اعمال کود و عدم تلقیح با مایکوریزا)؛ (۲) تلقیح با مایکوریزا (AM)؛ (۳) ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V₁₀₀)؛ (۴) ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V₅₀)؛ (۵) ۵۰ درصد ورمی کمپوست +

آبکشی با آب مقطر، در آون در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک و سپس وزن شد. جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد بذر، غلاف‌های هر کرت برداشت شده و تعداد خوشه و غلاف در متر مربع، وزن غلاف‌های برداشت شده (گرم)، تعداد بذر در غلاف، تعداد بذر در واحد سطح و وزن هزاردانه ارزیابی شد. سپس بذرها جهت تعیین عملکرد وزن شدند و براساس عملکرد در هکتار گزارش شد.

کارایی زراعی کود (AEF)^۱ برای ارزیابی کارایی مصرف کودهای مختلف براساس محتوای عناصر در هر منبع کودی از رابطه زیر محاسبه شد (Xu et al., 2012):

$$AEF (kg\ kg^{-1}) = \frac{Y_t - Y_0}{TN} \quad (1)$$

Y_t عملکرد ریشه یا بذر به ازای مقدار معین کاربرد کود (TN) در هر تیمار بر حسب کیلوگرم در هکتار و Y_0 عملکرد ریشه یا بذر (کیلوگرم در هکتار) لندازه‌گیری شده در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود و تلقیح با میکوریزا).

جهت ارزیابی کارایی میکوریزا در افزایش عملکرد تولیدی در شرایط کاربرد کودهای مختلف، اثربخشی تلقیح میکوریزا (MIE)^۲ براساس عملکرد ریشه یا بذر تولید شده در شرایط تلقیح (Y_i) و عدم تلقیح (Y_0) با میکوریزا از رابطه زیر محاسبه شد (Saeidi et al., 2024):

$$MIE = \frac{BY_i - BY_0}{BY_i} \times 100 \quad (2)$$

تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.0 انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$, LSD) مورد مقایسه قرار گرفت. برای کارایی زراعی کودهای مورد بررسی و همچنین کارایی تلقیح میکوریزا، با توجه به اینکه داده‌های مورد بررسی از اختلاف بین عملکرد در شرایط مختلف اعمال تیمار مربوطه با شاهد محاسبه شد، تعداد تعداد تیمارهای مورد بررسی (به دلیل حذف شاهد از مقایسه) و در نتیجه درجات آزادی منابع تغییر، متفاوت است. آنالیز همبستگی توسط نرم‌افزار IBM SPSS ver 22.0 انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد ریشه

و ۳۵ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) (Liu et al., 2020) بوده که برای دو سال آزمایش ۸۰، ۸۰ و ۷۰ کیلوگرم نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منابع اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم برای تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در نظر گرفته شد. ورمی‌کمپوست مورد استفاده حاوی ۱/۱ درصد نیتروژن کل، ۰/۸ درصد فسفر قابل دسترس و ۰/۷۶ درصد پتاسیم قابل دسترس بود. ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی فسفره در شروع دوره و قبل از کاشت اعمال شد و کود اوره به صورت سرک در چهار مرحله در شروع آزمایش و اوایل بهار در سال زراعی اول و در اوایل بهار و تابستان سال زراعی دوم اعمال شد.

پس از آماده‌سازی اولیه بستر کاشت، براساس تیمار مورد نظر، ورمی‌کمپوست، کودهای فسفره (از منبع سوپرفسفات تریپل)، پتاسیم (سولفات پتاسیم) و حدود یک چهارم کود اوره قبل از کاشت در سطح مزرعه در کرت‌های مربوط به هر تیمار پخش و با خاک مخلوط شد. مابقی کود اوره در تیمارهای حاوی کودهای شیمیایی، به صورت سرک در مراحل مختلف رشد اعمال شد. تکثیر گیاهان شیرین‌بیان از طریق ریزوم (تهیه شده از مناطق اطراف کرمان) انجام شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۴ متر مربع (به ابعاد ۲ متر × ۲ متر) آماده شد. در هر کرت، قطعات ریزوم با تراکم ۵ بوته در متر مربع در چهار ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر (Karkanis et al., 2016) در اوایل بهار سال ۱۴۰۱ کشت شدند. فاصله بین کرت‌ها سه متر و بین تکرارها چهار متر در نظر گرفته شد. تلقیح با میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) تهیه شده از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک، همدان) به میزان ۵ گرم به ازای هر بوته به صورت تلقیح ریزوم و اعمال در بستر کاشت ریزوم، انجام شد. آبیاری به صورت غرقابی پس از کاشت انجام و در ابتدای ظهور گیاهچه‌ها هر هفته یک‌بار و پس از استقرار کامل بوته‌ها، با توجه به رطوبت از دست رفته خاک و دمای هوا، فواصل آبیاری از هر ۲ هفته یکبار در تابستان تا یک ماه در اواسط پاییز تنظیم شد. وجین علف‌های هرز و سایر مراقبت‌های لازم نیز بر حسب نیاز انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد ریشه، پس از طی دوره رشد در انتهای سال دوم، برداشت از سطح یک متر مربع هر کرت در انتهای دوره آزمایش انجام شد. نمونه‌های ریشه پس از شستشوی سریع با آب و

² Mycorrhizal inoculation effect (MIE)

¹ Agronomy efficiency of fertilizer (AEF)

شیمیایی (CF₁₀₀) و ۵۰ درصد کود شیمیایی (CF₅₀) تفاوت معنی داری نشان نداد. کاربرد تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا (V₅₀+AM) نسبت به شاهد ۴۲/۵ درصد عملکرد ریشه را بهبود داد (جدول ۳).

نتایج نشان داد که عملکرد ریشه تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد ریشه در تیمار تلفیق ۵۰ درصد ورمی کمپوست و مایکوریزا (V₅₀+AM) حاصل شد که با تیمارهای ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V₁₀₀)، ۱۰۰ درصد کود

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر اجزای عملکرد، عملکرد بذر و ریشه شیرین بیان

Table 2- Analysis of variance of the effect of nutritional treatments on yield components, seed yield and root yield of licorice

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares							
		تعداد خوشه در متر مربع Clusters no/m ²	وزن غلاف Pod weight	تعداد غلاف Pod number	تعداد بذر در غلاف Seed no/pod	تعداد بذر در متر مربع Seed no/m ²	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد ریشه Root yield
تکرار Replication	2	54.5	28.8	2856	0.0028	312	4.78	1.21	3.34
تیمار Treatment	7	286.6*	57.0 ^{ns}	12649**	0.075**	6736**	4.64 ^{ns}	63.04**	11.39*
خطا Error	14	80.1	27.6	2176	0.0033	213	2.91	1.49	3.95
ضریب تغییرات CV (%)		29.5	33.0	24.1	19.5	25.7	15.4	19.3	15.6

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

** : significant at 0.01 probability level, * : significant at 0.05 probability level, and ^{ns} : not significant

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد بذر و عملکرد ریشه شیرین بیان تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای

Table 3- Mean comparison of seed yield and yield components and root yield of licorice affected by nutritional treatments

تیمار Treatment	تعداد خوشه در متر مربع Cluster no/m ²	وزن غلاف Pod weight (g m ⁻²)	تعداد غلاف Pod no/m ²	تعداد بذر در غلاف Seed no/pod	تعداد بذر در متر مربع Seed no/m ²	وزن هزاردانه Thousand seed weight (g)	عملکرد بذر Seed yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد ریشه Root yield (t ha ⁻¹)
شاهد Control	32.3 ^{bc}	19.6	178 ^c	0.230 ^{cde}	39.6 ^{bc}	10.5	4.21 ^{cd}	11.3 ^c
تلقیح با مایکوریزا Mycorrhiza inoculation (AM)	49.8 ^a	19.8	199 ^{bc}	0.205 ^{de}	40.6 ^{bc}	11.0	4.39 ^{cd}	10.3 ^c
CF ₅₀	22.3 ^{bc}	12.6	162 ^{cd}	0.312 ^{bc}	51.0 ^b	10.7	5.20 ^{bcd}	13.0 ^{abc}
CF ₅₀ +AM	16.7 ^c	10.9	95 ^d	0.383 ^b	36.3 ^{bc}	10.9	3.81 ^{cd}	11.8 ^{bc}
V ₅₀	30.6 ^{bc}	22.2	294 ^a	0.143 ^e	39.4 ^{bc}	10.0	5.29 ^{bc}	11.5 ^{bc}
V ₅₀ +AM	28.7 ^{bc}	11.9	162 ^{cd}	0.150 ^e	23.4 ^c	12.1	3.11 ^d	16.1 ^a
CF ₁₀₀	35.2 ^{ab}	12.8	183 ^c	0.287 ^{bcd}	52.7 ^b	13.7	7.33 ^b	13.4 ^{abc}
V ₁₀₀	27.5 ^{bc}	17.6	279 ^{ab}	0.626 ^a	172.0 ^a	9.9	17.23 ^a	14.9 ^{ab}

برای هر صفت مورد ارزیابی، حروف مشترک بین میانگین‌ها بیانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

CF: کودهای شیمیایی، V: ورمی کمپوست، AM: تلقیح با میکوریزا.

For each investigated trait, means with the common letters indicate no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

CF: chemical fertilizers, V: vermicompost, AM: Mycorrhizal inoculation.

گیاهان تلقیح نشده، در خاک استریل شده، تسهیل کرد (Yu et al., 2020). علاوه بر این، استفاده از کودهای آلی مخلوط با کود زیستی به حفظ رطوبت خاک و بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاهان کمک می کند، در نتیجه، تولید فرآورده های فتوسنتزی را افزایش می دهد، بنابراین از این طریق می تواند به افزایش عملکرد گیاه کمک کند (Barea et al., 2005; Ceritoğlu et al., 2018). همچنین، بهبود عملکرد در روش های تغذیه تلفیقی ممکن است به افزایش سطح فعالیت های میکروبی و آنزیمی نسبت داده شود (Rahimi et al., 2019). به طور مشابه، نتایج مطالعه ای نشان داد که عملکرد گیاه *Cephalaria syriaca* در شرایط تغذیه تلفیقی با کودهای زیستی و ارگانیک نسبت به کاربرد منفرد قارچ مایکوریزا یا تلفیق کودهای شیمیایی و مایکوریزا، بیشتر بود (Rahimi et al., 2019).

مشابه با نتایج این مطالعه، در مطالعه ای که به تازگی بر تولید ریشه و ریزوم در شیرین بیان تحت تأثیر تیمارهای زیستی و آلی و شیمیایی انجام شده، بالاترین تولید ریشه را از کاربرد ورمی کمپوست و اوره و بالاترین تولید ریزوم را از تلقیح با مایکوریزا گزارش کرده اند (Goudarzi et al., 2024). همچنین، افزایش تولید ریشه شیرین بیان در دیگر مطالعات نیز در تلقیح با مایکوریزا گزارش شده است (Liu et al., 2014; Liu et al., 2007; Oruji et al., 2013; Öztürk et al., 2017a; Xie et al., 2019; Xie et al., 2018; Yu et al., 2020). مثبت مایکوریزا در تلقیح با منابع کودی را می توان به این واقعیت نسبت داد که هیف های ریشه، منطقه جذب آب و عناصر غذایی را گسترش داده و گیاه میزبان را قادر می سازد آب و عناصر غذایی معدنی بیشتری دریافت کند (Xue et al., 2024). در گزارشی، کارایی بازیابی کود نیتروژن (FNRE)^۱، کارایی استفاده از نیتروژن (NUtE)^۲ و کارایی مصرف نیتروژن^۳ در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا نسبت به شاهد بالاتر بود که نشان دهنده مزیت تلقیح مایکوریزا برای رشد گندم است. بنابراین، استفاده از مایکوریزا به عنوان کود زیستی در شرایط مزرعه ممکن است یک فعالیت زراعی موثر برای تضمین تولید پایدار باشد (Xue et al., 2024).

کاربرد مایکوریزا به تنهایی تفاوت معنی داری در عملکرد ریشه نسبت به شاهد ایجاد نکرد. همچنین، تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا (CF₅₀+AM) نیز از کارایی لازم جهت افزایش عملکرد ریشه برخوردار نبود. اما تیمار مایکوریزا + ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V₅₀+AM)، ۴۰ درصد عملکرد ریشه را نسبت به شرایط کاربرد ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V₅₀)، بهبود داد (جدول ۳).

تأثیرات ورمی کمپوست از طرفی به دلیل اثر بر محتوای آلی خاک بوده که با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می تواند به رشد ریشه کمک کند. از طرف دیگر، با تأمین متعادل عناصر مورد نیاز برای رشد، می تواند منجر به افزایش رشد و تجمع ماده خشک در گیاه شود (Koskey et al., 2023; Manzoor et al., 2024). اثر قابل مشاهده ورمی کمپوست در مقابل کودهای شیمیایی در این پژوهش، به این دلیل است که در مقایسه با کودهای شیمیایی، اثر کودهای آلی علاوه بر آزادسازی تدریجی و متعادل عناصر، بر گیاهانی نظیر شیرین بیان، به دلیل اثر آن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اهمیت دوچندان دارد. خصوصیات فیزیکی بستر کاشت از مهم ترین عوامل موثر بر رشد اندام های زیرزمینی است که با کاربرد کودهای آلی بهبود یافته و منجر به بهبود معنی دار خصوصیات اندام های زیرزمینی گیاه می شود (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021).

کسب بهترین نتایج از کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و ورمی کمپوست از طرف دیگر نشان دهنده توانایی بالای کودهای آلی در تأمین نیازهای گیاه در سطح مطلوب است. میکروارگانیسیم های مفید، مانند ریزوباکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) و قارچ های مایکوریزا، می توانند رشد گیاه را به طور مستقیم با کمک به جذب مواد مغذی و آب یا تنظیم متابولیسم هورمون های گیاهی و همچنین با دفاع غیر مستقیم از گیاهان در برابر عوامل بیماری زا تسهیل کنند (Barea et al., 2005). هم زیستی مایکوریزا می تواند تغذیه معدنی گیاه، به ویژه فسفر را بهبود بخشد و بیوسنتز متابولیت های ثانویه را برای افزایش مقاومت گیاه تنظیم کند. در مطالعه ای دیگر، تلقیح مایکوریزا به طور قابل توجهی رشد گیاه شیرین بیان را بهبود بخشید و تجمع گلیسیریزین و لیکوپیریتین را در مقایسه با

³ Nitrogen use efficiency

¹ Fertilizer N recovery efficiency

² Nitrogen utilization efficiency

معنی دار تعداد بذر در واحد سطح نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی شد که می‌تواند علاوه بر تولید تعداد غلاف قابل توجه، حاصل بیشترین تعداد بذر در غلاف در این تیمار باشد که در نتیجه بیشترین عملکرد بذر در واحد سطح را موجب شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که بیشترین عملکرد بذر از کاربرد ۱۰۰ درصد مقدار ورمی کمپوست (V₁₀₀) حاصل شد که نسبت به شاهد افزایش چند برابری در تولید بذر را نشان داد. با توجه به نتایج تجزیه همبستگی بین صفات مورد بررسی (جدول ۴)، این موضوع، حاصل افزایش قابل توجه در تعداد غلاف در واحد سطح و تعداد بذر در واحد سطح بود. یافته‌های پژوهشی، قابلیت کمپوست و ورمی کمپوست را در بهبود ویژگی‌های رشد، نمو و عملکرد گیاه لوبیا نسبت به شاهد نشان داد که بهترین تیمار، کاربرد ورمی کمپوست بود. علاوه بر این، اختلاف آشکاری در مقادیر کاربرد آن وجود داشت. در بیشتر موارد برتری میزان مصرف بالاتر این دو کود به‌ویژه در مورد ورمی کمپوست (V₁₀₀) نشان داده شد. این تیمار بالاترین مقادیر را از نظر اجزای رویشی، ریشه و عملکرد ثبت کرد. این مطالعه نشان داد که افزودن ورمی کمپوست به میزان ۵۰ درصد تا ۱۰۰ درصد تأثیر قابل توجهی بر توسعه، رشد و بهره‌وری گیاه لوبیا دارد (Al-Tawarah et al., 2024). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست به‌تنهایی در مقایسه با شاهد و مایکوریزا به تنهایی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاهچه مؤثرتر بود. با این حال، کاربرد ترکیبی مایکوریزا و ورمی کمپوست تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی بر یکدیگر نشان داد. در نتیجه، ورمی کمپوست هم اثر بخشی قارچ‌های مایکوریزا را افزایش داد و هم باعث افزایش جذب مواد مغذی، تجمع ماده خشک و رشد گیاهچه در لوبیا چشم‌بلبلی شد (Atakli et al., 2022). همچنین کاربرد سطوح بالای ورمی کمپوست، ویژگی‌های رویشی، تعداد کپسول و تعداد دانه در کنجد را بهبود داد و منجر به افزایش عملکرد دانه این گیاه شد (Saeidi et al., 2024).

کاربرد ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF₁₀₀) با وجود تولید غلاف کمتر، با تولید تعداد قابل توجه بذر در غلاف، تعداد بذر در واحد سطح را افزایش داد که از نظر عملکرد بذر، در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۳). در مطالعه‌ای با کاربرد سطوح مختلف کودهای شیمیایی کامل (NPK)، شامل ۱۰۰ درصد

کاربرد کودهای شیمیایی نیز تا حد زیادی نتایج مشابه با ورمی کمپوست نشان داد. گفته می‌شود که شیرین بیان خاک‌های حاصل خیز را ترجیح می‌دهد و رشد و عملکرد آن در این شرایط بهینه است (Öztürk et al., 2017b). گزارش شده است که کاربرد مخلوطی از کودها، حاوی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (N)، ۴۴ کیلوگرم در هکتار فسفر (P) و ۱۶۶ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K) باعث افزایش عملکرد ریشه شد (Öztürk et al., 2017b). همچنین در پژوهشی دیگر، استفاده از کودهای معدنی به میزان ۷۰ کیلوگرم نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۱۱۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش عملکرد شیرین بیان شد (Urmanova et al., 2021).

پژوهشگران با مطالعه تولید شیرین بیان از طریق بذر، بالاترین عملکرد ریشه (۱۲/۶ تن در هکتار) را از کوددهی با ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۴۰ کیلوگرم فسفر و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم گزارش کردند که به‌طور قابل توجهی بالاتر از کاربرد سایر سطوح کودی بود (Khaïtov et al., 2022).

اجزای عملکرد و عملکرد بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفات تعداد خوشه و تعداد غلاف در متر مربع، تعداد بذر در غلاف، تعداد بذر در متر مربع و عملکرد بذر تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند در حالی که اثر معنی داری از تیمارهای مورد بررسی بر وزن غلاف و وزن هزاردانه مشاهده نشد (جدول ۲).

همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد، تلفیق با مایکوریزا منجر به تولید بیشترین خوشه در واحد سطح شد که با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی تفاوت معنی داری نشان نداد اما در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی، به‌طور معنی داری تعداد خوشه را افزایش داد. این در حالی بود که بیشترین تعداد غلاف در واحد سطح از تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست حاصل شد که با تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست تفاوت معنی داری نشان نداد اما در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایش به‌طور معنی داری این تفاوت مشاهده شد. کمترین تعداد خوشه و تعداد غلاف در واحد سطح از کاربرد تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کودهای شیمیایی + تلفیق با مایکوریزا حاصل شد (جدول ۳).

کاربرد مقدار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست منجر به افزایش

2022). نتایج مشابه از کاربرد تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست در شرایط تلقیح با مایکوریزا از نظر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دانه کنگد نیز گزارش شده است (Saeidi et al., 2024). نتایج مطالعه دیگری که به نقش تلقیح با باکتری‌های مختلف محرک رشد شامل (*Paenibacillus polymyxa* و *Funneliformis Pantoea agglomerans*) و قارچ مایکوریزا (*mosseae*) در کاهش دوز نیتروژن کاربردی به ۷۵ و ۵۰ درصد پرداخته بود، نشان داد که رشد، تولید زیست‌توده و عملکرد لوبیا در ۷۵ درصد اعمال کودها و تلقیح میکروبی بالاتر است و از نظر آماری با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی کامل تفاوتی نشان نداد (Chauhan and Bagyaraj, 2015). در شیرین بیان اثر معنی‌داری از کاربرد تلفیقی تیمارهای کودی با مایکوریزا بر صفات عملکرد بذر مشاهده نشد. تفاوت در مطالعات مختلف از نظر کارایی تیمارهای مورد بررسی را می‌توان به تفاوت در الگوی توزیع زیست‌توده در گیاهان مختلف دانست. در شیرین بیان مخزن نهایی برای تجمع زیست‌توده، اندام‌های زیرزمینی (ریشه و ریزوم‌های) گیاه است. بنابراین اولویت گیاه برای تخصیص مواد فتوسنتزی در ابتدا، به اندام‌های زیرزمینی است. تولید بذر در این گیاه به‌عنوان محصول جانبی در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، بهتر است تولید بذر در شیرین بیان در کنار تولید اندام‌های اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد.

با وجود اثر قابل توجه کاربرد ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست بر عملکرد بذر، تلفیق میزان کاهش‌یافته آن با مایکوریزا منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بذر در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی شد (جدول ۳). این می‌تواند تا حدی با اثر بهبوددهندگی این تیمار برای افزایش عملکرد قابل توجه ریشه مرتبط باشد (جدول ۳). بافت‌های مخزن واردکننده خالص مواد جذبی هستند و شامل اندام‌هایی مانند مریستم‌ها و برگ‌های نابالغ و بافت‌های ذخیره رویشی مانند غده‌ها، دانه‌ها یا ریشه‌ها بوده که به سرعت در حال رشد هستند. متابولیسم منبع و مخزن کاملاً با هم مرتبط هستند. اغلب واکنش‌های گیاه به تغییرات محیطی و کارایی استفاده از منابع، مانند کودها، از عوامل کلیدی تعیین‌کننده بهره‌وری گیاه به شمار می‌روند (Foyer and Paul, 2001). اعمال برخی تیمارها منجر به تغییر در تقسیم زیست‌توده از قسمت‌های غیر قابل برداشت به محصول اصلی

کاربرد، ۷۵ درصد NPK + قارچ مایکوریزا آربوسکولار، ۵۰ درصد NPK + قارچ مایکوریزا آربوسکولار، ۷۵ درصد NPK + میکروبین^۱ و ۵۰ درصد NPK + میکروبین در کشت مخلوط ذرت با لوبیا چشم‌بلبلی، گزارش شد که کاربرد ۷۵ درصد NPK + قارچ مایکوریزا آربوسکولار و ۱۰۰ درصد کاربرد NPK منجر به افزایش در صفات مورد بررسی لوبیا چشم‌بلبلی شد (Zen El-Dein et al., 2022).

با وجود مشاهده بیشترین تعداد غلاف در واحد سطح از تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V₅₀)، که با تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V₁₀₀) اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد، کاربرد این تیمار، منجر به کاهش ۷۷ درصدی تعداد بذر شد که می‌تواند به کاهش قابل توجه تعداد بذر در غلاف مرتبط باشد. همین تیمار می‌تواند با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد بذر با عملکرد بذر (جدول ۴)، منجر به کاهش ۶۹ درصدی عملکرد بذر در واحد سطح نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V₁₀₀) شود (جدول ۳).

با این حال، تیمار مایکوریزا قابلیت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد بذر را نداشت و در تیمارهای تلفیقی با کودهای آلی و شیمیایی عمدتاً به دلیل کاهش قابل توجه در تعداد غلاف در واحد سطح، حتی موجب کاهش در میزان عملکرد بذر شد (جدول ۳). نتایج مطالعات مرتبط نشان می‌دهد که تلفیق مایکوریزا با منابع کودی اثر قابل توجهی بر عملکرد بر جا گذاشته است. به‌عنوان مثال، در همین زمینه، مطالعه تلفیق مایکوریزا با کودهای شیمیایی و آلی بر گیاه پلمیر^۲ نشان داد که بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و درصد عملکرد روغن در گیاهان تیمارشده با مایکوریزا + ورمی کمپوست مشاهده شد، در حالی که بیشترین وزن هزاردانه از محلول مایکوریزا + کود دامی به‌دست آمد. همچنین، استفاده از مایکوریزا + ورمی کمپوست باعث افزایش کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و محتوای کاروتنوئید شد و نسبت به کاربرد آن به تنهایی، مزیت بیشتری نشان داد (Rahimi et al., 2019).

نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که تیمار ۷۵ درصد کودهای شیمیایی به همراه تلقیح با مایکوریزا ضمن بهبود تعداد دانه، تولید دانه در لوبیا چشم‌بلبلی را افزایش داد و تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد آن نشان نداد (Zen El-Dein et al., 2022).

² *Cephalaria syriaca* L.

¹ Mycrobein

شاهد کاهش یافته است (Graham and Abbott, 2000; Ryan *et al.*, 2005; Ryan and Angus, 2003). این می‌تواند به دلیل رقابت برای کربن بین هیفاها و ریشه‌های میزبان باشد که در دسترس بودن کربن برای اندام‌های دیگر را کاهش می‌دهد (Johnson *et al.*, 2008).

همبستگی بین صفات زراعی

نتایج تجزیه همبستگی بین صفات زراعی مورد مطالعه نشان داد که بین عملکرد بذر و ریشه با تعداد خوشه در متر مربع همبستگی منفی مشاهده شد (جدول ۴). همچنین وزن غلاف نیز همبستگی منفی با عملکرد ریشه نشان داد. از بین اجزای عملکرد بذر، تنها صفات تعداد بذر در غلاف و در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بذر نشان دادند. بین وزن هزاردانه و عملکرد بذر نیز همبستگی منفی مشاهده شد. این ارتباط منفی به همبستگی منفی بین تعداد بذر در غلاف و تعداد بذر در واحد سطح با وزن هزاردانه مرتبط است. تعداد بذر همچنین با تعداد خوشه در متر مربع همبستگی منفی نشان داد. علاوه بر این، وزن غلاف و تعداد غلاف نیز با وزن هزاردانه همبستگی منفی نشان دادند. تولید غلاف (شامل تعداد و وزن غلاف در متر مربع) نیز با عملکرد ریشه در واحد سطح همبستگی منفی نشان داد.

کارایی زراعی کودهای مورد استفاده

نتایج نشان داد که کارایی زراعی کودهای مورد استفاده از نظر محتوای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای عملکرد ریشه و بذر، تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها روند متفاوتی برای کارایی کاربرد کودها در تیمارهای مورد بررسی نشان داد (جدول ۶). برای عملکرد ریشه، تیمار تلفیق مایکوریزا با ۵۰ درصد ورمی کمپوست ($V_{50}+AM$) بیشترین کارایی زراعی را نشان داد و نسبت به کاربرد ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V_{50}) که کمترین کارایی را در عملکرد ریشه نشان داد، حدود ۲۰ برابر کارایی زراعی را بهبود داد. تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست + مایکوریزا ($V_{50}+AM$) نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V_{100})، کارایی زراعی را ۲/۷ برابر افزایش داد. در مقابل، تیمار مایکوریزا + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی ($CF_{50}+AM$)، کارایی

برداشت‌شده گیاهان شده است. گیاهان با قسمت‌های قابل برداشت اندام‌های زیرزمینی مانند شیرین بیان، تمایل برای سرمایه‌گذاری بیشتر در رشد اندام‌های زیرزمینی دارند که نشان‌دهنده مزیت رقابتی آن‌هاست (Veresoglou *et al.*, 2012). از طرف دیگر هم‌زیستی مایکوریزایی می‌تواند الگوی توزیع زیست‌توده را تغییر دهد. اثر تلقیح با مایکوریزا بر زیست‌توده گیاه، جذب نیتروژن (از کود و خاک)، توزیع و کارایی مصرف نیتروژن در دو رقم گندم با استفاده از ایزوتوپ ^{15}N در آزمایش‌های مزرعه‌ای و گلدانی بررسی شد. نتایج نشان داد که تلقیح مایکوریزا ضمن افزایش زیست‌توده گیاه و تجمع نیتروژن، الگوی توزیع نیتروژن را نیز در گندم تغییر داد. تلقیح مایکوریزا به‌طور معنی‌داری باعث افزایش غلظت نیتروژن ریشه و کاهش غلظت نیتروژن دلنه و برگ شد. کاهش نیتروژن دلنه توسط مایکوریزا عمدتاً به تغییرات در تجمع نیتروژن قبل از گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی و کاهش مقدار انتقال نیتروژن نسبت داده شد. مایکوریزا به‌طور قابل توجهی وزن خشک ریشه و جذب نیتروژن ریشه را افزایش داد. این نشان می‌دهد اولویت مایکوریزا در شرایط عدم دسترسی کافی به عناصر، توزیع عناصر در ریشه است. در مقابل، در صورت تأمین عناصر کافی توسط منابع کودی، انتقال عناصر را به بخش‌های هوایی و دانه نیز انجام می‌دهد (Xue *et al.*, 2024). بسته به گیاه مورد نظر، نشان داده شده است که مایکوریزا بر توزیع زیست‌توده بین اندام‌های هدف و اندام‌های رویشی تأثیرگذار است. بنابراین، گزارش شده است که مایکوریزا تأثیر مثبتی بر تولید گیاه دارد (Zaller *et al.*, 2011)، زیرا زیست‌توده بیشتری به اندام‌های هدف نسبت به اندام‌های دیگر در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا اختصاص داده شد (Miller *et al.*, 2002). در تایید این نتایج، گزارش شد که گیاهان گندم تلقیح‌شده با مایکوریزا نسبت به شاهد، درصد بالاتری از زیست‌توده را به ریشه اختصاص دادند (Xue *et al.*, 2024). در مطالعه حاضر نیز، کاربرد تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست با مایکوریزا با وجود تأثیر منفی بر عملکرد بذر، بالاترین مقدار تولید ریشه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). علاوه بر این، اثر مایکوریزا در بسیاری مطالعات مثبت گزارش شده است. با این وجود، برخی از محققان گزارش کردند که زیست‌توده کل گیاهان در تیمار با مایکوریزا در مقایسه با

زراعی را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF₅₀) و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی (CF₁₀₀) کاهش داد. این در حالی بود که کاهش میزان کاربرد کودهای شیمیایی به نصف مقدار، کارایی زراعی کود را در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF₁₀₀)، ۶۴ درصد افزایش داد (جدول ۴).

جدول ۴- همبستگی صفات زراعی با عملکرد بذر و ریشه شیرین‌بیان

Table 4- Correlation of agronomic traits with seed and root yield of licorice

	تعداد خوشه در متر مربع Clusters no/m ²	وزن غلاف Pods weight (g m ⁻²)	تعداد غلاف Pods no/m ²	تعداد بذر در غلاف Seeds no/pod	تعداد بذر در متر مربع Seeds no/m ²	وزن هزاردانه Thousand seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
تعداد خوشه در متر مربع Clusters no/m ²	1						
وزن غلاف Pods weight (g m ⁻²)	0.562	1					
تعداد غلاف Pods no/m ²	0.328	0.757*	1				
تعداد بذر در غلاف Seeds no/pod	-0.371	-0.179	0.126	1			
تعداد بذر در متر مربع Seeds no/m ²	-0.098	0.162	0.539	0.885**	1		
وزن هزاردانه Thousand seed weight (g)	0.189	-0.561	-0.405	-0.263	-0.343	1	
عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	-0.061	0.166	0.589	0.848**	0.989**	-0.246	1
عملکرد ریشه Root yield (t ha ⁻¹)	-0.356	-0.505	0.054	0.293	0.364	0.302	0.389

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** : significant at 0.01 probability level

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر عملکرد شیرین‌بیان و کارایی زراعی کودهای مورد استفاده از نظر محتوای عناصر پرمصرف هر منبع کودی

Table 5- Analysis of variance results of the effect of nutritional treatments licorice yield and agronomy efficiency of applied fertilizers in terms of the content of macro elements of each fertilizer resource

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	کارایی زراعی کود Agronomy efficiency of fertilizer (kg kg ⁻¹)					
		عملکرد بذر Seed yield			عملکرد ریشه Root yield		
		نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
تکرار Replication	2	236.1	256.4	377.0	10.4	80.1	11.5
تیمار Treatment	5	11161**	20982**	23098**	4159**	8321**	9014**
خطا Error	10	58.0	59.5	77.8	124.7	211.8	224.6
ضریب تغییرات CV (%)		22.7	18.1	19.3	28.4	29.7	28.4

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** : significant at 0.01 probability level

تفاوت معنی داری با این تیمار نشان نداد. کارایی زراعی کاربرد کود برای عملکرد بذر در تیمارهای تلفیقی با مایکوریزا منفی بود که نتیجه کاهش عملکرد بذر در این تیمارها نسبت به شاهد بود (جدول ۳). این نشان می‌دهد که کاربرد مایکوریزا علی‌رغم تأثیر قابل توجه در بهبود کارایی زراعی برای عملکرد ریشه شیرین بیان، با اثر منفی که بر عملکرد بذر دارد، کارایی زراعی را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از نظر عملکرد بذر، روند متفاوتی در بین تیمارهای مورد ارزیابی مشاهده شد (جدول ۶). بالاترین کارایی زراعی عملکرد بذر برای منابع کودی مختلف از کاربرد سطوح بالای کودها حاصل شد. کاربرد ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V₁₀₀) بیشترین مقدار کارایی کاربرد کود را برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان داد. تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (CF₁₀₀) در رتبه بعدی قرار گرفت که با وجود کارایی بالاتر برای نیتروژن نسبت به تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V₅₀) از نظر فسفر و پتاسیم

جدول ۶- مقایسه میانگین کارایی زراعی کودهای کاربردی از نظر محتوای عناصر پر مصرف تحت تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای

Table 6- Mean comparison of the agronomy efficiency of applied fertilizers in terms of the content of macro elements affected by nutritional treatments.

تیمار Treatment	کارایی زراعی کودها Agronomy efficiency of fertilizer (kg kg ⁻¹)					
	عملکرد بذر Seed yield			عملکرد ریشه Root yield		
	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
CF ₅₀	24.8 ^c	24.8 ^c	28.4 ^c	42.7 ^b	42.7 ^{bc}	48.8 ^{bc}
CF ₅₀ +AM	-10.0 ^d	-10.0 ^d	-11.4 ^d	11.9 ^{cd}	11.9 ^d	13.6 ^d
V ₅₀	24.6 ^c	33.8 ^{bc}	35.4 ^{bc}	5.6 ^d	7.6 ^d	8.0 ^d
V ₅₀ +AM	-25.0 ^e	-34.4 ^e	-36.1 ^e	109.0 ^a	149.8 ^a	157.2 ^a
CF ₁₀₀	38.9 ^b	38.9 ^b	44.5 ^b	26.1 ^{bc}	26.1 ^{cd}	29.8 ^{cd}
V ₁₀₀	147.9 ^a	203.4 ^a	213.4 ^a	40.8 ^b	56.0 ^b	58.8 ^b

برای هر صفت، حروف مشترک بین میانگین‌ها بیانگر عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. CF: کودهای شیمیایی، V: ورمی کمپوست، AM: تلفیق با مایکوریزا.

For each investigated trait, means with the common letters indicate no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

CF: chemical fertilizers, V: vermicompost, AM: Mycorrhizal inoculation.

قرار گیرد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022). گزارش شده است که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر افزایش کارایی مصرف عناصر، کاربرد قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا در بستر کشت زعفران به‌خصوص در تلفیق با تیمارهای کودی کمپوست و کودهای شیمیایی بود. دلیل این تأثیر، به نقش مهم مایکوریزا در افزایش جذب عناصر و در نتیجه رشد گیاه به‌ویژه در شرایط کاربرد تیمارهای کودی نسبت داده شد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022). دلیل دیگر برای بهبود کارایی مصرف عناصر منابع کودی این

اثر مشاهده‌شده از اعمال تیمار تلفیقی مایکوریزا و ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V50+AM) منجر به افزایش کارایی ورمی کمپوست از نظر بهبود کارایی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، برای تولید عملکرد ریشه نسبت به سایر تیمارهای کاربردی شد (جدول ۶). بهبود رشد و تغذیه گیاه با میکروارگانیسم‌های مختلف موجود در ریزوسفر نظیر قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا، با بهبود کارکردهای بوم‌نظام‌های کشاورزی از طریق پویایی عناصر خاک (Marschner, 2012)، به‌عنوان ابزاری مهم برای بهبود تغذیه گیاه و جذب و کارایی مصرف عناصر به‌خصوص فسفر و نیتروژن، می‌تواند مورد استفاده

کودی شیمیایی و آلی کاهش داد. بیشترین کارایی تلقیح زمانی مشاهده شد که تلقیح مایکوریزا در شرایط کاربرد ورمی کمپوست انجام شد (شکل ۲).

در مطالعه‌ای روی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی، عملکرد مایکوریزا به تنهایی در آزمایش رضایت‌بخش نبود. حدس زده می‌شود که دلیل عدم پاسخ مناسب به کاربرد مایکوریزا ناشی از مسیر فتوسنتزی گیاهان نیز باشد. در مطالعه مذکور، عنوان شد که حبوبات و لوبیا چشم‌بلبلی به دلیل مسیر فتوسنتزی C₃، نسبت به سایر گونه‌های گیاهان دارای مسیر C₄، پاسخ مناسبی به تلقیح مایکوریزا نمی‌دهند (Wilson and Hartnett, 1998). در نتیجه، کاربرد ورمی کمپوست یک سناریوی سازگار با محیط زیست و مؤثر برای جذب مواد مغذی و رشد گیاهچه در کشت لوبیا چشم‌بلبلی است و بیشتر، کاربرد ترکیبی ورمی کمپوست با مایکوریزا تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی بر یکدیگر دارد (Atakli et al., 2022). همچنین در مطالعه‌ای اثر تلقیح مایکوریزا به تنهایی و در شرایط اعمال کودهای مختلف بررسی و گزارش شد که کاربرد مایکوریزا به تنهایی، درصد کلونیزاسیون پایین‌تری با ریشه گیاه زعفران نشان داد و از کارایی لازم برای بهبود عملکرد برخوردار نبود (Ghanbari et al., 2019).

کارایی تلقیح مایکوریزا

نتایج تجزیه واریانس حاصل از بررسی کارایی تلقیح با مایکوریزا از نظر تأثیر بر عملکرد ریشه و بذر نشان داد که تیمارهای مختلف اثرات معنی‌داری بر کارایی تلقیح نشان دادند (جدول ۷).

نتایج کارایی تلقیح مایکوریزا نشان داد که کاربرد مایکوریزا به تنهایی برای افزایش عملکرد ریشه، کارایی منفی داشته است (شکل ۲-a). با این حال، تلفیق کودهای شیمیایی با مایکوریزا تا حدی اثر مثبت نشان داد و کارایی تلقیح را افزایش داد. بیشترین کارایی تلقیح مایکوریزا برای تولید ریشه، زمانی مشاهده شد که تلقیح مایکوریزا در شرایط کاربرد ورمی کمپوست انجام شد (شکل ۲-a).

در مقابل، نتایج برای عملکرد بذر نشان داد که تلفیق کودهای مختلف با مایکوریزا به دلیل اثر منفی بر عملکرد بذر، کارایی تلقیح را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و بالاترین کارایی از کاربرد مایکوریزا به تنهایی حاصل شد (شکل ۲-b).

آزمایش، می‌تواند کاربرد مقادیر متعادل و تقسیط مناسب تیمارهای کود شیمیایی حاوی عنصر نیتروژن در طول فصل رشد نیز باشد، همان‌طور که نتایج مشابه بر کارایی مصرف نیتروژن و فسفر کمپوست و کودهای شیمیایی، گزارش شده است (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022).

تلقیح بذر گل همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) با قارچ مایکوریزا و سویه‌های مختلف ازوتوباکتر، سودوموناس و آزوسپیریوم به‌طور قابل توجهی پارامترهای رشد، وزن خشک اندام هوایی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای عناصر درشت‌مغذی در برگ و ریشه را افزایش داد (Hosseinzadah et al., 2011). همچنین، مایکوریزا با مشارکت در جذب کربن و نیتروژن در طول رشد دلنه، منجر به افزایش کارایی بازیابی عناصر، کارایی مصرف عناصر و کارایی بهره‌وری عناصر در گندم شد. درصد کلونیزاسیون ریشه، وزن خشک دانه و جذب بالاتر نیتروژن از منابع کودی توسط گیاه در زمان رسیدگی، با کارایی مصرف نیتروژن، همبستگی مثبت داشت (Xue et al., 2024). با این وجود، تیمار تلقیح با مایکوریزا + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی (CF₅₀+AM) تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی (CF₅₀) نشان نداد و کارایی کود شیمیایی را با توجه به کاهش عملکرد به‌طور قابل توجهی نسبت به تیمار CF₅₀ کاهش داد (جدول ۶).

تیمار ۵۰ درصد ورمی کمپوست (V₅₀) با توجه به عملکرد غیر معنی‌دار در مقایسه با شاهد، کارایی زراعی را در این سطح کاربرد، نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی کمپوست (V₁₀₀) به‌طور قابل توجهی کاهش داد (جدول ۲).

در سایر مطالعات نیز در بیشتر موارد برتری میزان مصرف بالاتر کمپوست و ورمی کمپوست به‌ویژه در مورد ورمی کمپوست (V₁₀₀) نشان داده شده است. این تیمار بالاترین مقادیر را از نظر اجزای رویشی، ریشه و عملکرد لوبیا ثبت کرد و کاهش مقادیر در اکثر صفات، کارایی کاربرد و عملکرد را کاهش داد (AI-; Tawarah et al., 2024).

تلقیح مایکوریزا به تنهایی (AM) نیز از کارایی لازم برای بهبود عملکرد ریشه نسبت به شاهد برخوردار نبود (جدول ۶). همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، کاربرد مایکوریزا به تنهایی، کارایی تلقیح مایکوریزا را نسبت به کاربرد همزمان با منابع

مغذی لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که کاربرد ترکیبی مایکوریزا و ورمی کمپوست تأثیر هم‌افزایی قابل توجهی بر یکدیگر داشته است. در نتیجه، ورمی کمپوست هم اثر بخشی قارچ‌های مایکوریزا را افزایش داد و هم باعث افزایش جذب مواد مغذی، تجمع ماده خشک، رشد گیاهچه و افزایش کارایی مصرف عناصر در لوبیا چشم‌بلبلی شد (Atakli *et al.*, 2022).

همانطور که برای کارایی زراعی کودها مشاهده شد، تیمارهای تلفیقی مایکوریزا و کودها با اثر منفی بر عملکرد بذر، کارایی تلفیح را نیز به‌طور منفی تحت تأثیر قرار دادند.

ورمی کمپوست کارایی تلفیح مایکوریزا را برای تولید ریشه بهبود داد (شکل ۲-a). مطالعه‌ای به‌منظور مشاهده تأثیر ترکیبی تیمارهای مایکوریزا و ورمی کمپوست بر رشد گیاه و جذب مواد

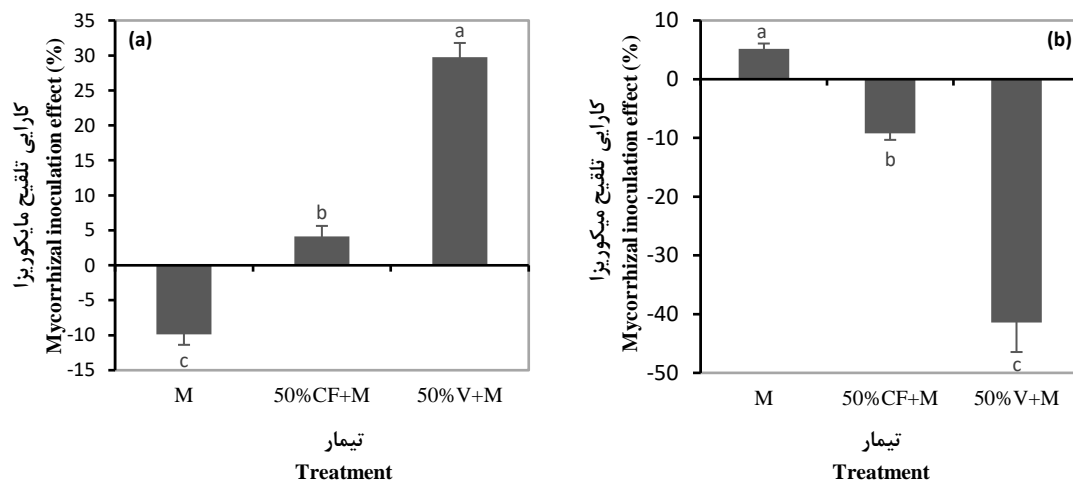
جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر کارایی تلفیح مایکوریزا از نظر عملکرد بذر و ریشه

Table 7- Analysis of variance results of the effect of nutritional treatments on the mycorrhizal inoculation effect in terms of seed and root yield

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی تلفیح مایکوریزا (عملکرد ریشه)	کارایی تلفیح مایکوریزا (عملکرد بذر)
Sources of variation	df	effect (Root yield) Mycorrhizal inoculation	effect (Seed yield) Mycorrhizal inoculation
تکرار	2	12.4	22.5
Replication			
تیمار	2	1211**	1708**
Treatment			
خطا	4	6.8	29.6
Error			
ضریب تغییرات			
CV (%)		32.5	-35.9

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** : significant at 0.01 probability level



شکل ۲- مقایسه میانگین کارایی تلفیح مایکوریزا از نظر تولید ریشه (a) و بذر (b) بین تیمارهای تغذیه‌ای مختلف

Figure 2- Mean comparison of mycorrhizal inoculation effect in terms of root (a) and seed (b) production among different nutritional treatments

culinaris L. در سال ۲۰۲۰، در مقایسه با شاهد شد (Koskey *et al.*, 2023). اثر مثبت عصاره ورمی کمپوست توسط داده‌های هم‌زیستی ریشه با مایکوریزا در یافته‌های تحقیقی دیگر نیز تایید شده است، که افزایش هم‌زیستی قارچ‌های مایکوریزا را در گیاه *Physalis ixocarpa* Brot.

گزارش شده که پتانسیل تلفیح مایکوریزی خاک در طول فصل رشد افزایش یافت و کاربرد عصاره ورمی کمپوست باعث افزایش فعالیت مایکوریزا در مزارع کشت‌شده با آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) در هر دو سال و در عدس (*Lens*

توزیع عناصر در ریشه است. در مقابل، در صورت وجود عناصر کافی تأمین شده توسط منابع کودی، انتقال عناصر را به بخش‌های هوایی و دانه نیز انجام می‌دهد (Xue et al., 2024).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که بهترین تیمار برای تولید بذر در شیرین بیان، کاربرد مقدار مورد نیاز از منبع ورمی کمپوست بود. همچنین، کاربرد ورمی کمپوست بهترین شرایط را برای تولید ریشه شیرین بیان فراهم کرد. کاهش مقادیر کاربرد کودهای شیمیایی و آلی عملکرد بذر را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار داد و منجر به کاهش آن شد. در حالی که، بهترین تیمار برای تولید ریشه، کاربرد ۵۰ درصد مقدار ورمی کمپوست در تلفیق با مایکوریزا بود که ضمن بهبود قابل توجه عملکرد، کارایی زراعی کود را بر مبنای تولید ریشه افزایش داد، در حالی که با اثر منفی بر تولید بذر، کارایی زراعی را به‌شدت کاهش داد. در مقابل، کاربرد مایکوریزا به تنهایی یا در تلفیق با کودهای شیمیایی بر تولید ریشه موثر نبود و کارایی زراعی کودهای شیمیایی از نظر تولید ریشه را کاهش داد. تلفیق تیمارهای کودی، کاهش کارایی تلفیق مایکوریزا را برای تولید بذر به‌همراه داشت، در حالی که، تلفیق با ورمی کمپوست، کارایی تلفیق مایکوریزا را برای تولید ریشه بهبود داد. به‌نظر می‌رسد اثر تلفیق با مایکوریزا در گیاهان مختلف با توجه به روابط مبدا و مخزن تعیین شود. بنابراین، برای توصیه کودی ضروری است اثر مایکوریزا در تلفیق با سایر منابع هم‌زمان در اندام‌های زیرزمینی و تولید بذر این گیاه مد نظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این پژوهش از محل طرح شماره ۷۴۱۴/۰۱ مصوب پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، پژوهشگاه افضلی‌پور، دانشگاه شهید باهنر کرمان تأمین شده است که به این وسیله قدردانی به عمل می‌آید.

تعارض منافع

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

تیمارشده با عصاره ورمی کمپوست گزارش کردند (Cruz- Koizumi et al., 2018). اثرات مثبت کاربرد ورمی کمپوست بر کارایی تلفیق مایکوریزا را می‌توان به اثرات به‌دست آمده از مطالعات گروهی از پژوهشگران مرتبط کرد که دریافتند افزودن ورمی کمپوست به بستر شن + ورمی کولیت باعث جوانه‌زنی هاگ، رشد هیف و رشد میسلیم گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا می‌شود (Coelho et al., 2014). به همین ترتیب، در تحقیقی، افزایش کلونیزاسیون ریشه با مایکوریزا را در مقایسه با عدم تلفیق در گیاه *Capsicum assamicum* L. تیمارشده با ورمی کمپوست مشاهده کردند که این امر را به اثر بر میکروبیوتای خاک به واسطه اسید هیومیک در ورمی کمپوست نسبت دادند که منجر به بهبود کیفیت خاک و زیست‌توده میکروبی نیز شد (Khan et al., 2014).

همچنین گزارش شده است که تلفیق با مایکوریزا به تنهایی هیچ اثر معنی‌داری بر وزن بنه زعفران و کارایی زراعی مصرف نیتروژن و فسفر در کرت‌های کوددهی نشده نداشت که عمدتاً به دلیل کاهش اثر تلفیق مایکوریزا (MIE) بود. تجزیه و تحلیل مقادیر MIE تأیید کرد که کارایی تلفیق مایکوریزا به‌طور قابل توجهی در طول زمان در کرت‌های کوددهی نشده کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد کارایی بهینه مایکوریزا می‌تواند تحت‌تأثیر سیستم تأمین عناصر غذایی قرار گیرد (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022).

علاوه بر این، نتایج پژوهشی نشان داد که نسبت توزیع نیتروژن در ریشه گندم افزایش یافت، اما در دانه کاهش یافته است. علاوه بر این، مایکوریزا به‌طور قابل توجهی جذب گیاه را از کود با ^{15}N ۱۷/۸-۱۵ درصد افزایش داد. بیشتر نیتروژن جذب‌شده از مایکوریزا از منبع کود بود و درصد پایینی از نیتروژن خاک را جذب کرد. راندمان بازیابی کود نیتروژن (FNRE)، راندمان استفاده از نیتروژن (NUE) و کارایی مصرف نیتروژن در گیاهان تلفیق‌شده با مایکوریزا نسبت به شاهد بالاتر بود که نشان‌دهنده مزایای قابل توجه تلفیق مایکوریزا بر رشد گندم است. بنابراین، استفاده از مایکوریزا به عنوان کود زیستی در شرایط مزرعه ممکن است یک عمل زراعی مؤثر برای تضمین تولید پایدار باشد که نشان می‌دهد اولویت مایکوریزا در شرایط عدم دسترسی کافی به عناصر،

References

- Al-Tawarah, B., Alasasfa, M.A. and Mahadeen, A.Y., 2024. Efficacy of compost and vermicompost on growth, yield and nutrient content of common beans crop (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Ecological Engineering*, 25(2), pp.215–226. <https://doi.org/10.12911/22998993/176862>
- Atakli, S.B., Sahin, S., Ceritoglu, M. and Cagatay, H.F., 2022. Vermicompost enhances the effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi, cowpea development and nutrient uptake. *Legume Research – An International Journal*, 45(11), pp.1406–1413. <https://doi.org/10.18805/lrf-698>
- Barea, J.M., Werner, D., Azcón-Guilar, C. and Azcón, R., 2005. Interactions of arbuscular mycorrhiza and nitrogen-fixing symbiosis in sustainable agriculture. In *Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment* (pp., 199–222). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3544-6_10
- Bindraban, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A. and Rabbinge, R., 2015. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*, 51(8), pp.897–911. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7>
- Ceritoğlu, M., Şahin, S. and Erman, M., 2018. Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(3), pp.607–615. <https://doi.org/10.15316/sjafs.2018.143>
- Chauhan, H. and Bagyaraj, D.J., 2015. Inoculation with selected microbial consortia not only enhances growth and yield of French bean but also reduces fertilizer application under field condition. *Scientia Horticulturae*, 197, pp.441–446. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.001>
- Coelho, I.R., Pedone-Bonfim, M.V.L., Silva, F.S.B. and Maia, L.C., 2014. Optimization of the production of mycorrhizal inoculum on substrate with organic fertilizer. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45, pp.1173–1178. <https://doi.org/10.1590/s1517-83822014000400007>
- Cruz-Koizumi, Y.P., Alayón-Gamboa, J.A., Morón-Ríos, A., Castellanos-Albores, J., Aguilar-Chama, A. and Guevara, R., 2018. Effects of organic and chemical agriculture systems on arbuscular mycorrhizal fungi and green tomato production in Calakmul, Mexico. *Agricultural Sciences*, 9(9), pp.1145–1167. <https://doi.org/10.4236/as.2018.99080>
- Emmanuel, O.C. and Babalola, O.O., 2020. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. *Microbiological Research*, 239, 126569. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126569>
- Estefan, G., Sommer, R. and Ryan, J., 2013. *Methods of soil, plant, and water analysis: A manual for the West Asia and North Africa region* (pp.170–176).
- Foyer, C.H. and Paul, M.J., 2001. Source–sink relationships. *eLS*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001304>
- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2022. Relationships between growth indices, dry matter production, and nutrient use efficiency in saffron: Integrative effect of mycorrhizal inoculation and nutrient resources. *Journal of Plant Nutrition*, 45(14), pp.2077–2095. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2063138>

- Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2021. Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops and Products*, 166, 113447. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113447>
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., van Ruth, S.M. and Aghighi, S., 2019. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, pp.301–310. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064>
- Goudarzi, T., Tabrizi, L., Nazeri, V. and Etemadi, M., 2024. Nutrient distribution in various tissues of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) and the influence of soil fertility on the levels of its bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 209, 118073. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118073>
- Graham, J.H. and Abbott, L.K., 2000. Wheat responses to aggressive and non-aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 220(1), pp.207–218. <https://doi.org/10.1023/A:1004709209009>
- Hayashi, H. and Sudo, H., 2009. Economic importance of licorice. *Plant Biotechnology*, 26(1), pp.101–104. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.26.101>
- Hosseinzadah, F., Satei, A. and Ramezanzpour, M.R., 2011. Effects of mycorrhiza and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrients uptake and physiological characteristics in *Calendula officinalis* L. *Middle East Journal of Scientific Research*, 8(5), pp.947–953.
- Johnson, N.C., Rowland, D.L., Corkidi, L. and Allen, E.B., 2008. Plant winners and losers during grassland N-eutrophication differ in biomass allocation and mycorrhizas. *Ecology*, 89(10), pp.2868–2878. <https://doi.org/10.1890/07-1394.1>
- Karkanis, A., Martins, N., Petropoulos, S.A. and Ferreira, I.C.F.R., 2016. Phytochemical composition, health effects, and crop management of liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.): A medicinal plant. *Food Reviews International*, 34(2), pp.182–203. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261300>
- Khaitov, B., Karimov, A., Khaitbaeva, J., Sindarov, O., Karimov, A. and Li, Y., 2022. Perspectives of licorice production in harsh environments of the Aral Sea regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11770. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811770>
- Khan, M.H., Meghvansi, M.K., Gupta, R., Veer, V., Singh, L. and Kalita, M.C., 2014. Foliar spray with vermiwash modifies the arbuscular mycorrhizal dependency and nutrient stoichiometry of bhut jolokia (*Capsicum assamicum*). *PLoS ONE*, 9(3), e92318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092318>
- Koskey, G., Avio, L., Turrini, A., Sbrana, C. and Bàrberi, P., 2023. Biostimulatory effect of vermicompost extract enhances soil mycorrhizal activity and selectively improves crop productivity. *Plant and Soil*, 484(1), pp.183–199. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05783-w>
- Kraiser, T., Gras, D.E., Gutiérrez, A.G., Gonzalez, B. and Gutiérrez, R.A., 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(4), pp.1455–1466. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq425>

- Liu, H., Tan, Y., Nell, M., Zitter-Eglseer, K., Wawscrah, C., Kopp, B., Wang, S. and Novak, J., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization of *Glycyrrhiza glabra* roots enhances plant biomass, phosphorus uptake and concentration of root secondary metabolites. *Journal of Arid Land*, 6(2), pp.186–194. <https://doi.org/10.1007/s40333-013-0208-5>
- Liu, J., Wu, L., Wei, S., Xiao, X., Su, C., Jiang, P., Song, Z., Wang, T. and Yu, Z., 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation*, 52(1), pp.29–39. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9174-2>
- Liu, Y., Li, Y., Luo, W., Liu, S., Chen, W., Chen, C., Jiao, S. and Wei, G., 2020. Soil potassium is correlated with root secondary metabolites and root-associated core bacteria in licorice of different ages. *Plant and Soil*, 456(1), pp.61–79. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04692-0>
- Manzoor, A., Naveed, M.S., Ali, R.M.A., Naseer, M.A., Ul-Hussan, M., Saqib, M., Hussain, S. and Farooq, M., 2024. Vermicompost: A potential organic fertilizer for sustainable vegetable cultivation. *Scientia Horticulturae*, 336, 113443. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113443>
- Marschner, P., 2012. Chapter 15 - Rhizosphere Biology. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed., pp.369–388). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384905-2.00015-7>
- Miller, R.M., Miller, S.P., Jastrow, J.D. and Rivetta, C.B., 2002. Mycorrhizal mediated feedbacks influence net carbon gain and nutrient uptake in *Andropogon gerardii*. *New Phytologist*, 155(1), pp.149–162. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00429.x>
- Orujei, Y., Shabani, L. and Sharifi-Tehrani, M., 2013. Induction of glycyrrhizin and total phenolic compound production in licorice by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60(6), pp.855–860. <https://doi.org/10.1134/s1021443713050129>
- Öztürk, M., Altay, V., Hakeem, K.R. and Akçiçek, E., 2017a. Liquorice-Mycorrhiza interactions. In M. Öztürk, V. Altay, K. R. Hakeem, & E. Akçiçek (Eds.), *Liquorice: From Botany to Phytochemistry* (pp.31–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74240-3_5
- Öztürk, M., Altay, V., Hakeem, K.R. and Akçiçek, E., 2017b. Cultivation. In M. Öztürk, V. Altay, K.R. Hakeem, & E. Akçiçek (Eds.), *Liquorice: From Botany to Phytochemistry* (pp.127–132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74240-3_9
- Rahimi, A., Siavash Moghaddam, S., Ghiyasi, M., Heydarzadeh, S., Ghazizadeh, K. and Popović-Djordjević, J., 2019. The influence of chemical, organic and biological fertilizers on agrobiological and antioxidant properties of Syrian *Cephalaria* (*Cephalaria syriaca* L.). *Agriculture*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture9060122>
- Ryan, M.H. and Angus, J.F., 2003. Arbuscular mycorrhizae in wheat and field pea crops on a low P soil: increased Zn-uptake but no increase in P-uptake or yield. *Plant and Soil*, 250(2), pp.225–239. <https://doi.org/10.1023/a:1022839930134>
- Ryan, M.H., van Herwaarden, A.F., Angus, J.F. and Kirkegaard, J.A., 2005. Reduced growth of autumn-sown wheat in a low-P soil is associated with high colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 270(1), pp.275–286. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1611-7>

- Saeidi, M., Khajoei-Nejad, G., Tohidi-Nejad, E. and Ghanbari, J., 2024. Influence of mycorrhiza, vermicompost, and effective microorganisms (EMs) on nutrient use efficiency and yield of sesame. *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(1), pp.169–185. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.379518.1308>
- Urmanova, M., Kuziev, A., Burkhanova, D., Kadirova, D., Namozov, N. and Shadieva, N., 2021. Influence of soil treatment methods and standards of mineral fertilizers on growth and development of malt and soil fertility. *E3S Web of Conferences*, 240, 2036. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124402036>
- Veresoglou, S.D., Menexes, G. and Rillig, M.C., 2012. Do arbuscular mycorrhizal fungi affect the allometric partition of host plant biomass to shoots and roots? A meta-analysis of studies from 1990 to 2010. *Mycorrhiza*, 22(3), pp.227–235. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0398-7>
- Wilson, G.W.T. and Hartnett, D.C., 1998. Interspecific variation in plant responses to mycorrhizal colonization in tallgrass prairie. *American Journal of Botany*, 85(12), pp.1732–1738. <https://doi.org/10.2307/2446507>
- Xie, W., Hao, Z., Yu, M., Wu, Z., Zhao, A., Li, J., Zhang, X. and Chen, B., 2019. Improved phosphorus nutrition by arbuscular mycorrhizal symbiosis as a key factor facilitating glycyrrhizin and liquiritin accumulation in *Glycyrrhiza uralensis*. *Plant and Soil*, 439(1), pp.243–257. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3861-9>
- Xie, W., Hao, Z., Zhou, X., Jiang, X., Xu, L., Wu, S., Zhao, A., Zhang, X. and Chen, B., 2018. Arbuscular mycorrhiza facilitates the accumulation of glycyrrhizin and liquiritin in *Glycyrrhiza uralensis* under drought stress. *Mycorrhiza*, 28(3), pp.285–300. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0827-y>
- Xu, G., Fan, X. and Miller, A.J., 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>
- Xue, J., Guo, L., Li, L., Zhang, Z., Huang, M., Cai, J., Wang, X., Zhong, Y., Dai, T., Jiang, D. and Zhou, Q., 2024. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake, partitioning and use efficiency of nitrogen in wheat. *Field Crops Research*, 306, 109244. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109244>
- Yu, M., Xie, W., Zhang, X., Zhang, S., Wang, Y., Hao, Z. and Chen, B., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi can compensate for the loss of indigenous microbial communities to support the growth of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.). *Plants*, 9(1), pp.7. <https://doi.org/10.3390/plants9010007>
- Zaller, J.G., Saccani, F. and Frank, T., 2011. Effects of earthworms and mycorrhizal fungi on the growth of the medicinal herb *Calendula officinalis* (Asteraceae). *Plant, Soil and Environment*, 57(11), pp.499–504. <https://doi.org/10.17221/189/2011-pse>
- Zen El-Dein, A.A.M., Koriem, M.H.M., Alsubeie, M.S., Alsalmi, R.A., Masrahi, A.S., Al-Harbi, N.A., Al-Qahtani, S.M., Awad-Allah, M.M.A. and Hefny, Y.A.A., 2022. Effect of mycorrhiza fungi, preceding crops, mineral and bio fertilizers on maize intercropping with cowpea. *Agriculture*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture12111934>
- Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Searchinger, T.D., Dumas, P. and Shen, Y., 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528(7580), pp.51–59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 561-573

The effect of zeolite on reducing of groundwater salinity and the growth of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz) in arid areas

Shahram Riahinia ^{*a}, Zahra Ramezani ^b, Zahra Danaeipour ^c

^a Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

^b M.Sc Graduate, Faculty of Agriculture, Zanzan University of Agriculture, Zanzan, Iran

^c Ph.D Graduate, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

*Corresponding Author: riahinia@pnu.ac.ir

Received: 19 July 2024

Accepted: 16 February 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.426948.1380

How to cite this article:

Riahinia, Sh., Ramezani, Z. and Danaeipour, Z., 2025. The effect of zeolite on reducing of groundwater salinity and the growth of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz) in arid areas *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 561-573.
<https://doi.org/10.22034/csrar.2025.426948.1380>

Abstract

Introduction: Soil salinity and limited natural water resources are some of the most important challenges for food production in arid and semi-arid areas. Substantial management strategies, such as using agronomic methods, including water purification of low-quality sources for irrigation purposes and identifying new salinity-resistant plants, can increase food production. The lack of natural water resources and rapid population growth have a negative effect on irrigated lands in the dry regions of the world, which causes an increase in soil salinity and a decrease in the growth and development of plants. In Iran, due to the fact that about 12.5% of the soil is composed of saline and alkaline soils, the phenomenon of soil salinity is a serious problem, and its importance is increasing day by day. One of the potential approaches for water purification of low-quality irrigation sources is to use natural zeolite as a depth filter. Natural zeolite is a relatively cheap and readily available cation exchanger. Another important management strategy in food production is the cultivation and domestication of salt-resistant species, which can be used to reduce the expansion of land exposed to salinity. Halophytes are plants that have naturally adapted to saline environments.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of zeolite desalination on well water and the performance of antidote millet, a factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design in three replications. For this purpose, pots with a diameter of 20 cm and a height of 25 cm were used. In order to achieve the same soil density in all samples, five kilograms of soil were transferred into the pots considering the zeolite treatment (zero, 10, and 5% of the pot soil weight). This study employed blue panic grass halophyte (*Panicum antidotale* Retz) as an alternative forage in areas encountering water deficiency. Then, the compatibility of the blue panic grass was investigated by irrigation with the four groundwater sources located in Qom province (Varjan, Khavah, Qom, and control), as well as three levels of zeolite treatment (0, 5, and 10 %) for desalination.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Results and Discussion: The results showed that the growth measurements of the shoot decreased significantly with increasing salinity levels compared with the control in this plant, At the same time, an increasing trend was observed with the application of zeolite. Root characteristics subjected to zeolite and salinity did not show a similar trend. The reason for this was the effect of salinity and zeolite on soil properties. The increasing salinity levels significantly affected the biochemical indices, such that the proline content increased to 341 mg/g FW and carotenoids to 59.6 μ g/g FW, while the concentrations of chlorophyll a and b decreased to 29.10 and 88.7 mg/g FW, respectively. In the presence of zeolite, the contents of carotenoids and chlorophyll a and b increased by 30.5%, 24.6%, and 7.4%, respectively. The findings of this study provide helpful insight into the management of the use of zeolite for the treatment of saline groundwater and the culture of salinity-tolerant plants in arid regions.

Conclusion: In conclusion, this experiment revealed that applying zeolite at 5% and 10% of the soil weight increased the growth indices of the shoot, reduced the degradation of chlorophylls a and b, and reduced proline. Therefore, with the cultivation of anti-toxic millet as a coastal plant and the use of zeolite for desalination and irrigation water management, as well as improving the soil structure, it is possible to improve the area under cultivation of fodder plants in dry areas.

Keywords: Proline, Salinity stress, Halophyte, Forage, Water management

تأثیر زئولیت بر کاهش شوری آب چاه و رشد گیاه ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) در مناطق خشک

شهرام ریاحی^{۱*}، زهرا رضانی^۲، زهرا دانایی پور^۳

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

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی زنجان، زنجان، ایران

۳- دانش آموخته دکتری بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

* مسئول مکاتبه: riahinia@pnu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.426948.1380

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۹

چکیده

شوری خاک و کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مهم‌ترین موانع تولید مواد غذایی هستند؛ راهکارهای مدیریتی مانند تصفیه آب‌های کم‌کیفیت برای آبیاری و معرفی گیاهان مقاوم به شوری می‌تواند به بهبود تولید کمک کند. در این مطالعه از گیاه هالوفیت ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) به‌عنوان یک علفه جایگزین در مناطقی که با کمبود آب مواجه‌اند، استفاده شد. سپس به بررسی میزان تطابق گیاه ارزن پادزهری با آب چهار چاه مستقر در استان قم (چاه‌های ورجان، خاوه، قم و شاهد) در حضور سه سطح زئولیت (صفر، پنج و ۱۰ درصد وزنی زئولیت) به‌منظور نمک‌زدایی پرداخته شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های رشدی اندام هوایی گیاه ارزن پادزهری با افزایش سطوح شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافتند، درحالی‌که با کاربرد زئولیت روند افزایشی مشاهده شد. خصوصیات ریشه تحت تأثیر درصد وزنی زئولیت و شوری روند مشخصی نشان ندادند. علت این موضوع تأثیر شوری و زئولیت بر خواص خاک ارزیابی شد. افزایش سطح شوری به‌طور محسوسی شاخص‌های بیوشیمیایی را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که مقادیر پرولین تا 341 mg/g FW و کاروتنوئید تا $6/59 \mu\text{g/g FW}$ افزایش یافته اما غلظت کلروفیل a و b به‌ترتیب تا $10/29$ و $7/88$ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کاهش نشان داده است. در حضور زئولیت مقادیر کاروتنوئید و کلروفیل a و b به‌ترتیب $5/30$ ، $6/24$ و $4/07$ درصد افزایش نشان دادند. یافته‌های این مطالعه بینش ارزشمندی در مورد مدیریت استفاده از زئولیت برای تصفیه آب‌های زیرزمینی شور و کاشت گیاهان مقاوم به شوری در مناطق خشک ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش شوری، گیاهان شورپسند، گیاهان علفه‌ای، مدیریت آب

مقدمه

در ایران با توجه به اینکه حدود $12/5$ درصد خاک‌ها را خاک‌های شور و قلیا تشکیل داده است، پدیده شوری خاک به‌عنوان مشکلی جدی مطرح است و روزبه‌روز بر وسعت و اهمیت آن افزوده می‌شود (Mirdavodi and Zahedipour, 2005). در مناطقی مانند استان قم، کمبود آب همراه با منابع آب لب‌شور و شور زیرزمینی و مقادیر ناکافی بارندگی موجب زوال بیش‌تر خاک‌ها شده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبیاری یک جنبه کلیدی تولید محصول است. با این حال، آب آبیاری نباید حاوی نمک‌های محلول در غلظت‌هایی باشد که برای گیاهان مضر است یا بر خواص خاک تأثیر منفی می‌گذارد (Mkilima et al., 2022). بنابراین، راهکارهای مهم مدیریتی در تولید مواد غذایی، استفاده از روش‌های به‌زراعی نظیر تکنیک‌های کم‌آبیاری، تصفیه آب منابع آبیاری (شور و لب‌شور)

کمبود منابع آب طبیعی و رشد سریع جمعیت بر زمین‌های آبی در مناطق خشک جهان تأثیر منفی می‌گذارد که سبب افزایش شوری خاک و کاهش رشد و نمو گیاهان می‌گردد (Aiad et al., 2021). با گرم‌شدن زمین وقوع رخداد‌های شدید آب‌وهوایی افزایش می‌یابد. از این‌رو پیش‌بینی می‌شود که افزایش شوری اثرات مخرب بیشتری در سراسر جهان به‌وجود آورد و آب شور حداقل 70 درصد از سطح زمین را پوشش دهد (Babaousmail et al., 2022). از طرفی دیگر بیش از 7 درصد کل زمین‌های جهان شور می‌باشند که بخش قابل‌توجهی از این نواحی شور متعلق به زمین‌های زراعی است و منجر به خروج تقریباً 45 میلیون هکتار از سطح کشت می‌گردد (Hrynkiewicz et al., 2019).

غذایی، علوفه، چوب، دارو، سوخت زیستی و مواد خام صنعتی و برای احیای زمین و اهداف زینتی به‌خوبی شناخته شده است (Abideen *et al.*, 2012). گیاه هالوفیت ارزن پادزهری یا *Panicum antidotale* Retz دارای پتانسیل کشاورزی قابل‌توجهی است. این گیاه بومی مناطق معتدل و گرمسیری آسیا می‌باشد و در تپه‌های شنی و بستر رودخانه‌های خشک شمال‌غربی پاکستان، افغانستان و ایران رشد می‌کند. همچنین در چراگاه‌های طبیعی شمال‌غربی هند نیز یافت می‌شود (Eshghizadeh *et al.*, 2011). *P. antidotale* از تحمل بالایی به خشکی و شرایط کمبود رطوبت در مراتع مناطق بیابانی برخوردار است و به‌سرعت به تغییرات ناگهانی پیش‌آمده در طول تابستان پاسخ می‌دهد. بنابراین می‌توان آن را با آبیاری آب شور زمین‌های شور و یا بایر کشت کرد. این گیاه حدود ۶۰ تن در سال زیست‌توده تازه در خاک‌های شور با آبیاری آب شور تولید می‌کند و به‌دلیل پروتئین بالا می‌تواند برای جایگزینی ذرت به‌عنوان خوراک دام استفاده شود (Khan *et al.*, 2009). با این حال، آبیاری با آب شور نیاز به‌دقت دارد و دانش دقیق در مورد شرایط رشد پایدار باید تضمین شود (Hussain *et al.*, 2015). زمانی که آب شور باشد، شوری هیپراسموتیک رشد گیاه را عمدتاً با دسترسی کم آب و غلظت نمک بالا محدود می‌کند (Munns and Tester, 2008). کمبود آب، انبساط سلولی برگ و هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد و اغلب با کاهش تثبیت CO₂ همراه است که در نهایت ممکن است منجر به استرس اکسیداتیو شود (Koyro, *et al.*, 2013). هالوفیت‌ها با جذب سدیم و انتقال به واکوئل‌ها پتانسیل اسمزی سلول را کاهش داده و از سمیت سلولی جلوگیری می‌کنند (Islam *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای که روی ارزن پادزهری تحت تنش شوری انجام شد، مشاهده شد که امکان تثبیت عملکرد ارزن پادزهری به‌عنوان یک محصول خوراکی مهم در مصر می‌باشد که با آب شور آبیاری می‌شود و می‌تواند منابع خوراک دام را بدون کاهش دسترسی آب شیرین فراهم کند (Farrag *et al.*, 2021).

در این پژوهش تاثیر سطوح مختلف زئولیت (صفر، پنج و ۱۰ درصد وزنی) تحت چهار سطح تیمار آبی (آب چاه‌های ورجان، خاوه، قم و شاهد) بر خصوصیات رشدی گیاه ارزن پادزهری مورد بررسی قرار گرفت تا علاوه بر پاسخ گیاه ارزن پادزهری به‌میزان شوری، کارآمدترین راهکار مدیریتی در مناطق

با کیفیت پایین برای اهداف آبیاری و شناسایی و معرفی گیاهان جدید مقاوم به شوری از اهمیت بالایی برخوردار است (Mkilima *et al.*, 2022; Riahiinia and Danaeipour, 2022).

یکی از رویکردهای بالقوه برای تصفیه آب منابع آبیاری (شور و لب‌شور) با کیفیت پایین، استفاده از زئولیت طبیعی به‌عنوان فیلتر عمق است. زئولیت طبیعی یک مبدل کاتیونی است که نسبتاً ارزان و به آسانی در دسترس است (Inglezakis *et al.*, 2020). زئولیت از آلومینوسیلیکات‌های بلورینی شامل واحدهای تتراهدرال AlO₄ و SiO₄ تشکیل شده و اکسیژن عامل اتصال این واحدها است (Babel and Kurniawan, 2003). کاتیون‌های آب مانند سدیم، کلسیم و پتاسیم در حفرهای ساختمان زئولیت نفوذ کرده و به‌دلیل بار منفی در سطح آن جذب شوند (Pal, 2017). در مطالعاتی مشاهده شده است که زئولیت در زمینه‌های مختلف دیگر تصفیه آب از جمله حذف فلزات سنگین از آب آلوده نیز استفاده می‌شود (Rahimi and Mahmoudi, 2020; Taamneh and Sharadqah, 2017). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که کاربرد زئولیت ممکن است رشد گیاه را بهبود بخشد (Zahedi *et al.*, 2009). همچنین مطالعه‌ای زئولیت به‌طور موثر تنش شوری را بهبود بخشید و با تاثیر بر عناصر غذایی خاک، رشد گیاه جو پس از آبیاری با آب شور را افزایش داد (Al-Busaidi *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای اثر چهار نوع زئولیت را بر عملکرد و اجزای عملکرد *P. miliaceum* L. بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که انواع مختلف زئولیت و افزایش آن سبب افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد *P. miliaceum* شد و تا حدودی از اثرات تنش خشکی بر گیاهان کاسته گردید، لذا زئولیت برای استفاده در مناطق خشک توصیه می‌گردد (Rezaei *et al.*, 2023).

راهکار مهم مدیریتی دیگر در تولید مواد غذایی، کشت و اهلی‌سازی گونه‌های مقاوم به شوری است که با استفاده از آن می‌توان روند گسترش اراضی در معرض شوری را کاهش داد. هالوفیت‌ها گیاهانی هستند که به‌طور طبیعی با محیط‌های شور سازگار شده‌اند. جایی که آن‌ها از مقدار فراوان نمک در محیط رشد خود سود می‌برند. آن‌ها در بین گیاهان بسیار، دارای تحمل ذاتی به شوری می‌باشند (Koyro *et al.*, 2011). استفاده از این گیاهان مقاوم به نمک به‌عنوان منابع جایگزین غیرمتمعارف

خشک برای تولید غذا به دست آید.

پیام نور قم انجام شد. برای این منظور از گلدان‌های با قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. به منظور رسیدن به تراکم خاک یکسان در تمامی نمونه‌ها پنج کیلوگرم خاک با در نظر گرفتن تیمار زئولیت (صفر، ۱۰ و ۵٪ وزنی در هر کیلوگرم خاک) به داخل گلدان‌ها انتقال داده شد (جدول ۱).

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر نمک‌زدایی زئولیت بر آب چاه و عملکرد ارزن پادزهری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه

جدول ۱- ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده

Table 1- Characteristics of the soils used

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC(ds/m)	رس (%) Clay	سیلت (%) Silt	شن (%) Sand
6.7	4.29	39.79	37.24	22.97

استفاده از چهار نوع آب که از چاه‌های ورجان، خاوه، قم و شاهد تهیه شده و دارای شوری‌های مختلف بودند، در مرحله چهار برگی آغاز شد (جدول ۲).

برای یکنواخت شدن شوری خاک تمام گلدان‌ها دو مرتبه با آب مقطر آبیاری شدند و پس از رسیدن رطوبت خاک به حد زراعی، عملیات کشت صورت گرفت. اعمال تیمار شوری با

جدول ۲- ویژگی‌های آب چاه‌های مورد استفاده

Table 2- Water characteristics of the groundwater used

	نسبت جذب سدیم SAR	هدایت الکتریکی EC(ds/m)	اسیدیته pH
شاهد			
Control	0.40	0.29	7.82
خاوه			
Khav	5.60	4.39	8.35
ورجان			
Verjan	7.72	5.65	8.25
قم			
Qom	8.52	6.97	8.36

روش استاندارد استخراج کلروفیل استفاده شد (Arnon, 1949). به این صورت که استخراج کلروفیل از برگ‌ها با استفاده از استون ۸۰ درصد انجام گرفت. مقدار ۰/۲ گرم از بافت تر برگ هر تیمار وزن شد و برگ‌ها با استون به تدریج ساییده شدند تا محلولی سبزرنگ به دست آید. سپس حجم این محلول با استون به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. محلول آماده‌شده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ، جذب محلول رویی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت برای محاسبه کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها از معادلات ۱ تا ۳ استفاده گردید:

$$\text{Chl.a} = (12.25 \times A_{663} - 2.97 \times A_{647}) \quad (1)$$

آبیاری برحسب ظرفیت زراعی خاک انجام شد. میزان آب مصرفی ۲۰ درصد بیش‌تر از ظرفیت اشباع خاک گلدان‌ها در نظر گرفته شد. با این روش از تجمع نمک در محیط رشد جلوگیری شده و میزان شوری در محیط رشد در حدود آب آبیاری نگهداری شد. نمونه‌برداری ۴۲ روز پس از کاشت انجام گرفت و نمونه‌های گیاهی جهت سنجش خصوصیات رویشی به آزمایشگاه منتقل شدند. خصوصیات رویشی از قبیل ارتفاع گیاه (SL)، طول ریشه (RL)، وزن تر لندام هوایی (SFW) و وزن خشک لندام هوایی (SDW) و وزن تر ریشه (RFW)، وزن خشک ریشه (RDW) و نسبت شاخساره اندازه‌گیری شد. نسبت شاخساره از تقسیم وزن خشک ریشه به وزن خشک بوته به دست آمد. برای استخراج کلروفیل برگ‌ها در آزمایشگاه از

نتایج و بحث

شاخص‌های رشدی

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، زئولیت تأثیر معناداری بر طول اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی، نسبت شاخساره ($P \leq 0.01$) و بر وزن تر ریشه ($P \leq 0.05$) داشت. شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه، طول ریشه ($P \leq 0.05$) و سایر ویژگی‌های رویشی ($P \leq 0.01$) داشت. اثرات متقابل شوری و زئولیت بر تمامی صفات رویشی به‌غیر از وزن خشک ریشه معنی‌دار ارزیابی شد (جدول ۳).

$$\text{Chl.b} = (21.51 \times A647 - 5.10 \times A663) \quad (2)$$

$$\text{C}_{x+c} = [(100 \times A470) - (1.8 \times \text{Chl.a}) - (85.02 \times \text{Chl.b})] / 198 \quad (3)$$

که در آن C_a غلظت کلروفیل a، C_b غلظت کلروفیل b و C_{x+c} غلظت کاروتنوئیدهای کل می باشد.

غلظت پرولین در بافت برگ با استفاده از روش استاندارد و اندازه‌گیری در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Bates et al., 1973). تجزیه واریانس داده‌ها و نیز بررسی همبستگی صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس شاخص‌های رشدی در گیاه ارزن پادزهری

Table 3- Summary of variance analysis of growth characteristics in blue panic grass

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات Mean of Squares						نسبت شاخساره R.D.W/S.D.W
		طول اندام هوایی S.L	طول ریشه R.L	وزن تر اندام هوایی S.F.W	وزن تر ریشه R.F.W	وزن خشک اندام هوایی S.D.W	وزن خشک ریشه R.D.W	
زئولیت Zeolite	2	**118.18	0.49 ^{ns}	**0.08	*0.01	**0.004	0.001 ^{ns}	**0.90
شوری Salinity	3	**370.32	*21.27	**1.13	**0.06	**0.04	*0.003	**0.84
شوری × زئولیت Zeolite × Salinity	6	*10.66	**24.33	*0.01	**0.02	*0.001	0.001 ^{ns}	**0.64
خطا Error	24	3.64	6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.1

میانگین‌های خصوصیات ریشه مثل طول و وزن خشک و تر الگوی منظمی نشان ندادند. علت این موضوع می‌تواند به تأثیرات غیرمستقیم شوری بر ویژگی‌های خاک از جمله میزان نفوذپذیری و انتشار ذرات رس، مرتبط باشد. همچنین خصوصیتی از اندام هوایی مانند طول و وزن تر و خشک بوته دارای رابطه معنی‌دار و مثبتی با زئولیت بود. به‌طوری‌که در مورد طول بوته با افزایش درصد زئولیت، میانگین ارتفاع بوته (۴۲/۴ سانتی‌متر) با اختلاف معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). اما در سطح پنج و ۱۰ درصد زئولیت اختلاف معنی‌داری در وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه مشاهده نشد. نسبت شاخساره دارای روند کاهشی نسبت به زئولیت بود. اما فاقد روند منظمی نسبت به افزایش سطوح شوری بود. خصوصیات ریشه نیز تحت

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح شوری ویژگی‌های رویشی اندام هوایی ارزن پادزهری از قبیل ارتفاع (۳۱/۰۱ سانتی‌متر)، وزن تر (۰/۳۱) و خشک (۰/۰۶) بوته به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (جدول ۴). ارتفاع بوته به‌شدت به محیط رشد وابسته است. در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز به‌دلیل کاهش فشار تورژسانس سلول‌های در حال رشد و اثر بر طول سلول‌ها، کاهش ارتفاع رخ می‌دهد (Munns and Tester, 2008). در شرایط شوری یکی از سازوکارهای گیاهان شورپسند برای تعدیل اثرات تنش، ذخیره آب می‌باشد که این امر موجب متورم و گوشتی شدن برگ‌ها شده و درنهایت درصد زیادی از وزن بوته را آب تشکیل می‌دهد (Khan et al., 2007). در این پژوهش تحت تاثیر تنش شوری مقایسه

کمی در مورد مکانیسم عمل زئولیت در کنترل شوری در مزرعه وجود دارد (Wen et al., 2018). در پژوهشی افزایش قابل توجه زیست‌توده گیاهی جو با تنش شوری در تیمارهای اصلاح‌شده با زئولیت مشاهده شد. کاربرد زئولیت ظرفیت نگهداری آب و نمک خاک را افزایش داد و سبب کاهش تجمع برخی عناصر از قبیل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم در لایه بالایی خاک شد. همچنین با افزایش غلظت کلسیم و عناصر کم مصرف آهن و منگنز تعادل مواد مغذی را در یک خاک شنی بهبود بخشید (Al-Busaidi et al., 2008).

در مطالعه‌ای نشان داده شد که افزودن زئولیت به خاک می‌تواند به‌طور بالقوه ذخایر کربن معدنی را افزایش دهد، اسیدی شدن خاک را تعدیل کند و ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک را بهبود بخشد (Pratt et al., 2025). کاربرد انواع مختلف زئولیت و افزایش کاربرد زئولیت از پنج به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی و دانه و کارایی مصرف آب گیاه ارزن معمولی شد. بنابراین با کاربرد بهینه این کود تا حدودی از اثرات تنش خشکی بر گیاهان در مناطق خشک کاسته شد (Rezaei et al., 2023).

تأثیر درصد وزنی زئولیت روند مشخصی نداشتند. با توجه به جداول ۱ و ۲ که خاک مورد استفاده در این پژوهش جزء خاک‌های شور و آب چاه قم دارای بیش‌ترین شوری است. آب مورد استفاده از چاه خاوه اگرچه دارای شوری کم‌تر است (۴/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر) اما احتمالاً به‌دلیل فراوانی بالاتر عناصر قلیایی نظیر سدیم دارای pH بالاتری می‌باشد. در چنین شرایطی میزان آب مصرفی مهم‌ترین فاکتور از جمله سطح شوری و محتوای آب در خاک، بافت خاک و روش‌های مصرف آب و غیره است (Belliturk et al., 2023). یکی از علل استفاده از زئولیت در تولیدات کشاورزی و بهره‌وری خاک، خاصیت نگهداری رطوبت برای مدت طولانی و همچنین جذب کاتیون‌های محلول است (Mirzakhani and Maleki, 2015). زئولیت با تأثیر بر ساختار خاک و نمک‌زدایی آب چاه‌ها ممکن است اثرات شوری را کاهش داده، لذا سبب افزایش رشد اندام هوایی گیاه شود (Mkilima et al., 2022). به‌طور کلی، عواملی مانند خواص ژئوشیمیایی زئولیت، pH، آنیون‌های همجوار، غلظت، ظرفیت، بار سطحی، مساحت سطح و نوع خاک مزرعه فرآیند تبادل یونی را کنترل می‌کنند. با این حال، مقالات

جدول ۴- اثر سطوح مختلف زئولیت و شوری بر شاخص‌های رشدی گیاه ارزن پادزهری

Table 4- The effect of different levels of zeolite and salinity treatment on the growth characteristics in blue panic grass

تیمار Treatment	طول اندام هوایی S.L	طول ریشه R.L	وزن تر اندام هوایی S.F.W	وزن تر ریشه R.F.W	وزن خشک اندام هوایی S.D.W	وزن خشک ریشه R.D.W	نسبت شاخساره R.D.W/S.D.W	
زئولیت Zeolite	٪0	36.21 ^c	17.62 ^a	0.66 ^b	0.34 ^a	0.12 ^b	0.07 ^a	0.94 ^a
	٪5	40.18 ^b	17.89 ^a	0.80 ^a	0.29 ^{ab}	0.15 ^a	0.07 ^a	0.47 ^b
	٪10	42.40 ^a	18.02 ^a	0.81 ^a	0.28 ^b	0.16 ^a	0.06 ^a	0.43 ^b
شوری Salinity	شاهد Control	45.07 ^a	16.32 ^b	1.11 ^a	0.32 ^a	0.21 ^a	0.08 ^{ab}	0.37 ^b
	خاوه Khav	43.96 ^a	19.73 ^a	0.96 ^b	0.38 ^a	0.17 ^b	0.09 ^a	0.48 ^b
	ورجان Verjan	38.28 ^b	16.91 ^{ab}	0.65 ^c	0.32 ^a	0.11 ^c	0.07 ^{ab}	0.57 ^b
	قم Qom	31.01 ^c	18.43 ^{ab}	0.31 ^d	0.20 ^b	0.06 ^d	0.04 ^b	1.07 ^a

b در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار ارزیابی شد. اثرات متقابل شوری و زئولیت نیز بر میزان کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار نشان داد.

شاخص‌های بیوشیمیایی

براساس جدول ۵ تمام ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه ارزن پادزهری به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر زئولیت قرار گرفتند. همچنین تأثیر شوری بر میزان کاروتنوئید، پروتئین، کلروفیل a و

جدول ۵- خلاصه تجزیه واریانس ویژگی‌های بیوشیمیایی در گیاه ارزن پادزهری

Table 5- Summary of variance analysis of biochemical characteristics in blue panic grass

میانگین مربعات					
Mean of Squares					
منابع تغییرات	درجه آزادی	پروترین	کلروفیل b	کلروفیل a	کاروتنوئید
S.O.V	D.F	Proline (mg/ g FW)	Chlorophyll b (mg/ g FW)	Chlorophyll a (mg/ g FW)	Carotenoid (μ g/g FW)
زئولیت	2	190**	0.49**	3.72**	0.66*
Zeolite					
شوری	3	193302**	100.84**	174.23**	76.16**
Salinity					
شوری × زئولیت	6	31 ^{ns}	**3.10	**2.19	0.26 ^{ns}
Zeolite × Salinity					
خطا	24	26	0.07	0.36	0.15
Error					

شوری باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a و کلروفیل b و کلروفیل کل می‌شود، ولی میزان کاروتنوئید افزایش می‌یابد (Kaymakanova et al., 2008).

با افزایش شوری مقادیر کاروتنوئید به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد و مقادیر کلروفیل a و b به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). مطالعه تاثیر تنش شوری روی میزان غلظت کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید نشان داده که

جدول ۶- اثر سطوح مختلف زئولیت و شوری بر شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه ارزن پادزهری

Table 6- The effect of different levels of zeolite and salinity treatment on the growth characteristics in blue panic grass

تیمار	پروترین	کلروفیل b	کلروفیل a	کاروتنوئید
Treatment	(mg/ g FW) Proline	(mg/ g FW) Chlorophyll b	(mg/ g FW) Chlorophyll a	Carotenoid (μ g/g FW)
زئولیت ٪0	310.70 ^b	7.61 ^b	16.02 ^b	8.30 ^b
Zeolite ٪5	317.20 ^a	7.55 ^b	16.95 ^a	8.66 ^{ab}
Zeolite ٪10	318.0 ^a	7.92 ^a	17.02 ^a	8.74 ^a
شاهد				
Control	152.0 ^d	12.02 ^a	22.06 ^a	5.93 ^d
خواه				
شوری	253.80 ^c	8.30 ^b	17.99 ^b	6.92 ^c
Khav				
شوری	361.60 ^b	6.31 ^c	14.86 ^c	8.89 ^b
Verjan				
قم	493.80 ^a	4.14 ^d	11.77 ^d	12.52 ^a
Qom				

افزایش سطوح زئولیت روند افزایشی معنی‌داری در مقادیر کاروتنوئید مشاهده شد. همچنین تاثیر افزایشی معنی‌دار زئولیت بر مقادیر کلروفیل a و b می‌تواند بیانگر تاثیر مثبت زئولیت بر کاهش اثرات منفی شوری در این تحقیق باشد.

با توجه به جدول ۶، مقادیر پروترین با افزایش سطوح شوری روند افزایشی نشان داد. این نتیجه به خوبی با مطالعات قبلی مرتبط است که در آن تنش شوری (غلظت ۱۰۰ میلی مولار نمک طعام) به طور قابل توجهی پروترین برگ و محتوای قند محلول را افزایش داد (Babaousmail et al., 2022; Hnilickova et

روند کاهشی مشاهده شده در مقادیر کلروفیل a و b نشان می‌دهد که تنش شوری سبب کاهش غلظت کلروفیل a و b و کلروفیل کل نسبت به شاهد شده و این روند با نتایج مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد (Omran and Moharramnejad, 2018). یکی از مهمترین دلایل کاهش غلظت کلروفیل‌ها، تخریب توسط گونه‌های اکسیژن فعال طی تنش اکسیداتیو، می‌باشد (Ashraf, 2009). کاروتنوئیدها به عنوان اجزای اصلی کلروپلاست شناخته می‌شوند که در مهار اکسیژن منفرد ناشی از تنش اکسیداتیو دخالت دارند (Abogadallah, 2010). با

کاهو افزایش داد و محتوی پرولین را کاهش داد (Babaoumail *et al.*, 2022).

همبستگی بین شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی

در بررسی همبستگی ساده بین شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی، شاخص‌های رشدی از قبیل طول بوته، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه رابطه معکوس معنی‌داری با شاخص‌های بیوشیمیایی کاروتنوئید و پرولین نشان داد. درحالی‌که در بررسی همبستگی صفات طول و وزن خشک بوته با میزان کلروفیل a و b رابطه مستقیم معنی‌دار مشاهده شد.

(*al.*, 2021). در زمان تنش شوری که همراه با افزایش تنش اسمزی است، گیاهان مواد اسمزی آلی مانند پرولین، بتائین، پلی‌ال‌ها، الکل‌های قند و قندهای محلول را انباشت می‌کنند تا تنش اسمزی را با تنظیم فشار اسمزی تحمل کنند. افزایش این مواد اسمزی به حفظ تورگو، سم‌زدایی از گونه‌های فعال اکسیژن و تثبیت ساختار چهارم پروتئین‌ها کمک می‌کند (Munir *et al.*, 2022). در بررسی مقایسه میانگین سطوح زئولیت مشاهده شد که با افزایش سطح زئولیت مقدار پرولین افزایش یافت، که می‌تواند بیانگر کاهش اثرات شوری توسط زئولیت باشد. مطابق با این نتایج کاربرد زئولیت تحمل به تنش شوری را در گیاه

جدول ۷- بررسی همبستگی ساده بین صفات گیاه

Table 7- Evaluating the simple correlation between traits in blue panic grass

	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	پرویلین Proline	طول اندام هوایی S.L	نسبت شاخساره R.D.W /S.D.W	وزن خشک ریشه R.D.W	طول ریشه R.L	وزن خشک اندام هوایی S.D.W
کاروتنوئید Carotenoid	1								
کلروفیل b Chlorophyll b	-0.88**	1							
کلروفیل a Chlorophyll a	-0.88**	0.93**	1						
پرویلین Proline	0.96**	-0.95**	-0.96**	1					
طول اندام هوایی S.L	-0.82**	0.79**	0.82**	-0.83**	1				
نسبت شاخساره R.D.W /S.D.W	0.46**	-0.47**	-0.45**	0.45**	**0.58	1			
وزن خشک ریشه R.D.W	-0.50**	0.40*	0.37*	**0.8	**0.48	0.12 ^{ns}	1		
طول ریشه R.L	0.10 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.32 ^{ns}	*0.41	1	
وزن خشک اندام هوایی S.D.W	-0.86**	*0.86	0.89**	-0.90**	0.89**	-0.60**	**0.46	-0.07 ^{ns}	1

در بررسی همبستگی ساده بین شاخص‌های بیوشیمیایی، پرولین و کاروتنوئید همبستگی همسو و معنی‌داری با یکدیگر داشتند. این دو ویژگی دارای رابطه عکس معنی‌دار با کلروفیل a و b بودند. همچنین رابطه بین کلروفیل a و b هم رابطه مستقیم و معنی‌داری ارزیابی شد.

در مطالعات صورت گرفته، گزارش شده است که زئولیت به دو صورت بر افزایش رشد گیاهان تحت تنش شوری اثر

در بررسی همبستگی ساده بین شاخص‌های رشدی، طول ریشه با هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی به‌غیر از وزن خشک ریشه رابطه معنی‌داری نداشت. طول بوته با نسبت شاخساره رابطه عکس معنی‌داری نشان داد. وزن خشک اندام هوایی با طول ریشه رابطه معنی‌داری نداشت ولی با وزن خشک ریشه و طول بوته رابطه مستقیم معنی‌داری برقرار کرد. ارتفاع بوته نیز دارای رابطه مستقیم معنی‌داری با وزن خشک ریشه بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که شوری تأثیر قابل توجهی بر شاخص‌های رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه ارزن پادزهری دارد. با افزایش سطح شوری، شاخص‌های رشدی مانند وزن خشک و تر اندام هوایی و شاخص‌های بیوشیمیایی نظیر غلظت کلروفیل‌های a و b به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. درمقابل، میزان تجمع پرولین و کاروتنوئیدها به‌عنوان مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش شوری، به شکل قابل توجهی افزایش پیدا کرد. استفاده از ژئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک نقش مهمی در کاهش اثرات مخرب شوری ایفا کرد. نتایج نشان داد که ژئولیت با بهبود شرایط خاک و کاهش تأثیر شوری، موجب افزایش شاخص‌های رشدی اندام هوایی، حفظ و جلوگیری از تخریب کلروفیل‌های a و b در گیاه شد. براساس این یافته‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که کشت گیاه ارزن پادزهری، به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری، همراه با کاربرد ژئولیت به‌منظور نمک‌زدایی و بهبود مدیریت آب آبیاری، نه تنها می‌تواند تأثیر شوری را کاهش دهد، بلکه بهبود ساختار خاک و افزایش سطح زیر کشت گیاهان علوفه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک را نیز تسهیل می‌کند. به نظر می‌رسد این راهکار می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی پایدار برای تولید علوفه در مناطق دارای محدودیت منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Abideen, Z., Ansari, R., Gul, B. and Khan, M.A., 2012. The place of halophytes in Pakistan's biofuel industry. *Biofuels*, 3(2), pp.211–220. <https://doi.org/10.4155/bfs.11.158>
- Abogadallah, G.M., 2010. Antioxidative defense under salt stress. *Plant Signaling & Behavior*, 5, pp.369–374. <https://doi.org/10.4161/psb.5.4.10873>
- Aiad, M. A., Amer, M.M., Khalifa, T.H.H., Shabana, M.M.A. and Zoghdan, M.G., 2021. Combined application of compost, zeolite and a raised bed planting method alleviate salinity stress and improve cereal crop productivity in arid regions. *Agronomy*, 11(12), 2495. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122495>
- Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A.E. and Mori, Y., 2008. Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*, 31(7), pp.1159–1173. <https://doi.org/10.1080/01904160802134434>
- Arnon, D.L., 1949. A copper enzyme is isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), pp.1–15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>

می‌گذارد. اول اینکه به‌طور قابل توجهی دسترس‌ی نیتروژن به گیاهان را افزایش می‌دهد و در نتیجه سنتز کلروفیل، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سایر اجزای ساختاری گیاه را افزایش می‌دهد. دوم، قابلیت حفظ آب ژئولیت به‌طور قابل توجهی محتوای آب نسبی گیاهان تحت تنش شوری را با افزایش دسترس‌ی به آب و جذب آن توسط ریشه افزایش می‌دهد (Bybordi *et al.*, 2018). همچنین گزارش شده است که کاربرد ژئولیت از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ و کاهش تخریب آن، پیری برگ را در گیاهان خاکشیر تحت تنش شوری کاهش می‌دهد (Kong *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای روی گیاه سیب‌زمینی مشاهده شد که خصوصیات فتوسنتزی اثر هم‌افزایی مفید در استفاده از نانوذرات ترکیبی روی، سیلیکون، بور و ژئولیت دارد (Mahmoud *et al.*, 2019).

احتمالاً ژئولیت به‌طور غیرمستقیم نرخ فتوسنتز گیاهان تحت تنش نمک را با بهبود در دسترس بودن آب و مواد مغذی به‌دلیل ظرفیت جذب بالای آن افزایش می‌دهد. مجدداً، نتایج مشابهی در گیاهان کانولا و پیاز تحت تنش شوری گزارش شد، در این مطالعات کاربرد ترکیبی ژئولیت، سلنیوم و سیلیکون منجر به افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش عرضه آب و نیتروژن و در نتیجه، بهبود سرعت فتوسنتز گیاهان تحت تنش شوری اصلاح‌شده، شد (Bybordi *et al.*, 2016; Bybordi *et al.*, 2018).

- Ashraf, M., 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 27(1), pp.84–93. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.003>
- Babaousmail, M., Nili, M. S., Brik, R., Saadouni, M. and Yousif, S.K.M., 2022. Improving the tolerance to salinity stress in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) using exogenous application of salicylic acid, yeast, and zeolite. *Life*, 12(10), pp.1538. <https://doi.org/10.3390/life12101538>
- Babel, S. and Kurniawan, T.A., 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 97(1), pp.219–243. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(02)00263-7)
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), pp.205–207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Belliturk, K., Çelik, A., Kilic, M., Hanedar, A. and Tanik, A., 2023. *Climate change and soil-plant-environment interactions*. Iksad Publications.
- Bybordi, A., 2016. Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(7), pp.832–850. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146898>
- Bybordi, A., Saadat, S. and Zargaripour, P., 2018. The effect of zeolite, selenium and silicon on qualitative and quantitative traits of onion grown under salinity conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(4), pp.520–530. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1373278>
- Eshghizadeh, H., Kafi, M., Nezami, A. and Khoshgoftarmanesh, A., 2011. Effect of water irrigation salinity on some morphological characters, yield and water use efficiency of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz.). *Agronomy Journal*, 101, pp.180–191. [In Persian].
- Farrag, K., Abdelhakim, S.G., Abd El-Tawab, A.R. and Abdelrahman, H., 2021. Growth response of blue panic grass (*Panicum antidotale*) to saline water irrigation and compost applications. *Water Science*, 35(1), pp.31–38. <https://doi.org/10.1080/11104929.2020.1860277>
- Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P. and Hnilicka, F., 2021. Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10(5), pp.845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
- Hryniewicz, K., Patz, S. and Ruppel, S., 2019. *Salicornia europaea* L. as an underutilized saline-tolerant plant inhabited by endophytic diazotrophs. *Journal of Advanced Research*, 19, pp.49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.05.002>
- Hussain, T., Koyro, H.W., Huchzermeyer, B. and Khan, M.A., 2015. Eco-physiological adaptations of *Panicum antidotale* to hyperosmotic salinity: Water and ion relations and antioxidant feedback. *Flora*, 212, pp.30–37. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.02.006>
- Inglezakis, V.J., Satayeva, A., Yagofarova, A., Tauanov, Z. and Meiramkulova, K., 2020. Surface interactions and mechanisms study on the removal of iodide from water by use of natural zeolite-based silver nanocomposites. *Nanomaterials*, 10(6), 1156. <https://doi.org/10.3390/nano10061156>

- Islam, M.S., Haque, K.A., Jahan, N., Atikullah, M. and Uddin, M.N., 2022. Soil salinity mitigation by naturally grown halophytes in seawater affected coastal Bangladesh. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(11), pp.11013–11022. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-03912-7>
- Kaymakanova, M., Stoeva, N. and Mincheva, T., 2008. Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 9(4), pp.749–755. <https://doi.org/10.5513/jcea.v9i4.731>
- Khan, M.A., Ansari, R., Ali, H., Gul, B. and Nielsen, B.L., 2009. *Panicum turgidum*, a potentially sustainable cattle feed alternative to maize for saline areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(4), pp.542–546. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.014>
- Khan, M.A., Ansari, R., Gul, B. and Qadir, M., 2007. Crop diversification through halophyte production on salt-prone land resources. *CABI Reviews*, 48, pp.1–8. <https://doi.org/10.1079/pavsnr20061048>
- Kong, L., Wang, M. and Bi, D., 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. *Plant Growth Regulation*, 45(2), pp.155–163. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-1893-7>
- Koyro, H.W., Hussain, T., Huchzermeyer, B. and Khan, M.A., 2013. Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass *Panicum turgidum* to increasing NaCl concentrations. *Environmental and Experimental Botany*, 91, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.02.007>
- Koyro, H.W., Khan, M.A. and Lieth, H., 2011. Halophytic crops: A resource for the future to reduce the water crisis? *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23(1), pp.1–16. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v23i1.5308>
- Mahmoud, A.W.M., Abdeldaym, E.A., Abdelaziz, S.M., El-Sawy, M.B.I. and Mottaleb, S.A., 2019. Synergetic effects of zinc, boron, silicon, and zeolite nanoparticles on confer tolerance in potato plants subjected to salinity. *Agronomy*, 10(1), pp.19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010019>
- Mirdavodi, H.R. and Zahedipour, H.E., 2005. Effect of soil salt types on three halophytes species. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 4(11), pp.425–448. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119944>
- Mirzakhani, M. and Maleki, G. R., 2015. Evaluation of some physiological characteristics of wheat under water stress and zeolite application. *Applied Field Crops Research*, 28(107), pp.58–66. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2015.105687>
- Mkilima, T., Devrishov, D., Assel, K., Ubaidulayeva, N. and Tleukulov, A., 2022. Natural zeolite for the purification of saline groundwater and irrigation potential analysis. *Molecules*, 27(22), pp.7729. <https://doi.org/10.3390/molecules27227729>
- Munir, N., Hasnain, M., Roessner, U. and Abideen, Z., 2022. Strategies in improving plant salinity resistance and use of salinity resistant plants for economic sustainability. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(12), pp.2150–2196. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1877033>
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), pp.651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

- Omrani, B. and Moharramnejad, S., 2018. Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays* L.) hybrids at seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 9(24), pp.79–86. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.24.79>
- Pal, P., 2017. *Industrial water treatment process technology*. Butterworth-Heinemann.
- Pratt, C., Mahdi, Z., Chen, C., El Hanandeh, A., Vogrin, J. and Zardo, P., 2025. Manufactured zeolite application to soil can rapidly increase pH and enhance inorganic carbon sequestration. *Soil and Tillage Research*, 254, 106736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106736>
- Rahimi, M. and Mahmoudi, J., 2020. Heavy metals removal from aqueous solution by modified natural zeolites using central composite design. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(1), pp.106–115. <https://doi.org/10.3311/ppch.13093>
- Rezaei, Z., Behdani, M.A., Siuki, A.K. and Samadzadeh, A., 2023. The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceum* L.). *Journal of Agroecology*, 15(2), pp.223–238. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/agry.2022.70664.1046>
- Riaihinia, S. and Danaeipour, Z., 2022. Evaluation of the effect of nano and chelated iron fertilizer in *Salicornia* under salinity stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(1), pp.174–188. <https://doi.org/10.1001.1.23832592.1401.35.1.11.5>
- Taamneh, Y. and Sharadqah, S., 2017. The removal of heavy metals from aqueous solution using natural Jordanian zeolite. *Applied Water Science*, 7(4), pp.2021–2028. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0382-7>
- Wen, J., Dong, H. and Zeng, G., 2018. Application of zeolite in removing salinity/sodicity from wastewater: A review of mechanisms, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 197, pp.1435–1446. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.270>
- Zahedi, H., Noormohammadi, G., Rad, A.H.S., Habibi, D. and Boojar, M.M.A., 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth, yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 7(2), pp.255–262. <https://doi.org/10.15835/nsb113500>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 575-591

Investigating the possibility of determining the appropriate date of sugar beet harvest using some quantitative and qualitative root traits in the field

Mohammad Ali Javaheri ^{*a}

^a Agricultural and Horticultural Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

*Corresponding Author: javaheri310@yahoo.com

Received: 9 October 2024

Accepted: 10 March 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.410824.1367

How to cite this article:

Javaheri, M.A., 2025. Investigating the possibility of determining the appropriate date of sugar beet harvest using some quantitative and qualitative root traits in the field. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 575-591. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.410824.1367>

Abstract

Introduction: Like cereals, sugar beet does not have a certain physiological maturation and maturity, and the best time to harvest it is when the sugar percentage and root performance are at their optimum. Considering that it is difficult to determine this date, it is better to use farm invoices. The aim of this study is to investigate the traits that may be estimated based on their measurement in the field, the optimal agricultural and technological ripening time of sugar beet. For this purpose, the effect of planting date on the trend of some agronomic and laboratory traits was carried out in the research farm of the agricultural research station of Kerman province in Bardsir region on the sweet commercial variety of sugar beet.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of planting date on the trend of some agricultural and laboratory traits, an experiment was carried out on the commercial sweet sugar beet variety in the research farm of Kerman Agricultural Research Station in the Bardsir region. The experiment was performed on two planting dates. The first planting date was on the 21st of April and the second planting date was on the 5th of June. The studied traits include white sugar yield, mark value, shoot dry weight, root length, root diameter, and the number of live and dead leaves per plant, changes in purity, leaf chlorophyll, and petiole nitrate, and root fresh and dry weight traits and the trend of changes in their amount during four months (nine harvests) was measured.

Results and Discussion: The trend of harvesting sugar beet for root fresh and dry yield traits showed that the cultivation of sugar beet on the first planting date (21st April) causes the amount of yield traits to be higher than on the second planting date. Although the amount of root dry weight is almost constant in the last harvests. The amount of white sugar yield in both planting dates increased with the high harvesting time. The highest amount of white sugar yield was observed in the last four harvests for the first planting date and in the last two harvests for the second planting date. The results showed that on the first planting date, the dry weight of aerial parts, root length, root diameter, number of dead leaves (dried), and degree of purity were higher than on the second planting date. The amount of petiole nitrogen for both planting dates had a decreasing trend. The trend of changes in the degree of purity between the two planting dates in the first harvests differed, but they approached each other from the fourth harvest onwards. The first planting date with a maximum purity of 80% was superior



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

to the second planting date with a maximum purity of 76%. The amount of marks in all harvest dates was higher on the second planting date than on the first planting date. This state can be related to the smallness of the roots on the date of the second planting. The trend of leaf chlorophyll is almost similar for both planting dates and the amount of leaf chlorophyll has decreased sharply after an increasing trend. The decrease in the amount of chlorophyll in the last two harvests can be attributed to the cold weather at the end of the season. Considering that the plant regularly produces new leaves during the season and leaf number 5 is always young, therefore, instead of measuring this index, it is suggested in the next of research to use the color change obtained in the field by using the appropriate method, including accurate and standard photography.

Conclusion: In general, the results of this study showed that the trend changes of traits in sugar beet are different based on the date of different crops. In the Bardsir region, the cultivation of sugar beet on the sowing 21th April can finally produce more yield for the farmers. Also, the harvest date of 6th November is the best harvest time for sugar beet in this region. It is possible to use the indicators of root dry weight, root length, and degree of purity for the agricultural and technological maturity of sugar beet.

Keywords: Degree of purity, Dry root weight, Number of dead leaves, Root length

بررسی امکان تعیین تاریخ مناسب برداشت چغندر قند با استفاده از برخی صفات کمی و کیفی

ریشه در مزرعه

محمدعلی جواهری*^۱

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

* مسئول مکاتبه: javaheri310@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.410824.1367

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

چکیده

چغندر قند مانند غلات رسیدگی و بلوغ فیزیولوژیکی مشخص نداشته و بهترین زمان برداشت آن زمانی است که درصد قند و عملکرد ریشه در مقدار بهینه خود باشند. بنابراین در این تحقیق پس از تعیین روند تغییرات عملکرد شکر سفید در هکتار، منحنی روند تغییر سایر پارامترها را با این عامل بررسی کرده تا مشخص گردد بر اساس کدام فاکتور مزرعه‌ای می‌توان تاریخ برداشت مناسب چغندر قند را تخمین زد. به این منظور پروژه تحقیقاتی دوساله در ایستگاه تحقیقات کشاورزی استان کرمان در منطقه بردسیر و در دو تاریخ کاشت اول اردیبهشت‌ماه و تاریخ کاشت ۱۵ خردادماه انجام گرفت. روند تغییرات صفات مورد مطالعه در طی چهار ماه (۹ برداشت) اندازه‌گیری گردید. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد شکر سفید، مقدار مارک، وزن خشک اندام هوایی، طول و قطر ریشه و تعداد برگ‌های مرده در هر بوته، تغییرات درجه خلوص، کلروفیل برگ و نیتروژن دمبرگ و وزن تر و خشک ریشه بود. نتایج نشان داد در تاریخ کاشت اول عملکرد شکر سفید، وزن تر و خشک ریشه، قطر و طول ریشه برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به تاریخ کاشت دوم داشته و مقدار نیتروژن دمبرگ با تاخیر در برداشت برای هر دو تاریخ کاشت دارای روند کاهشی است. همچنین نتایج نشان داد که می‌توان از روند تغییرات وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، قطر ریشه و درجه خلوص شربت خام به عنوان شاخص‌هایی جهت تخمین زمان رسیدگی زراعی و تکنولوژیکی چغندر قند در هر دو تاریخ کاشت استفاده نمود. از طرفی برخی از شاخص‌ها نمی‌تواند شاخص‌های مناسبی برای تخمین تعیین زمان برداشت باشند.

واژه‌های کلیدی: تعداد برگ مرده، درجه خلوص، طول ریشه، وزن خشک ریشه

مقدمه

این ویژگی‌های منحصربه‌فرد، سبب تولید بیش از ۴/۲ میلیون تن چغندر قند در سال در کشور شده‌اند (Anonymus, 2020). در ایران حدود ۷۰ درصد تولید داخلی شکر از چغندر قند می‌باشد که اهمیت اقتصادی این محصول را به‌خوبی نشان می‌دهد. یکی از موثرترین عوامل بر مقدار عملکرد و سایر صفات گیاهی چغندر قند تاریخ کاشت بهینه می‌باشد (Gobarah et al., 2019). تاریخ برداشت چغندر بر اساس مرحله‌ای از بلوغ فیزیولوژیکی تعریف نمی‌شود، بلکه این محصول زمانی برداشت می‌شود که تولید قند آن بهینه باشد (Rasovsky et al., 2022). علی‌رغم اهمیت اقتصادی این محصول استراتژیک ولی اطلاعات کافی در رابطه با روند خصوصیات زراعی و آزمایشگاهی برای مشخص کردن تاثیر تاریخ کاشت و برداشت بهینه در این گیاه وجود ندارد (Rasovsky et al., 2022).

امروزه با ظهور کشاورزی مدرن، شناخت عوامل مختلف مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان از قبیل عوامل محیطی و

چغندر قند با نام علمی *Beta vulgaris* یکی از محصولات زراعی عمده و راهبردی در صنعت کشاورزی است که تقریباً ۲۰ درصد از تولید جهانی شکر را تأمین می‌کند (Puglisi et al., 2020). چغندر قند گیاهی است دو ساله از تیره اسفنجیان که در حرفه زراعت، به‌صورت گیاهی یک ساله کشت می‌شود (Karimi, 2020). فرآیند تولید شکر در سال اول انجام می‌شود. در این مدت ذخایر قند به حداکثر می‌رسد و قند تولید شده در برگ در اثر فتوسنتز به شکل ساکارز در ریشه ذخیره می‌گردد (Alami et al., 2021). ضمن آنکه ترکیباتی همچون ملاس، تفاله و الک، محصولات جانبی این گیاه هستند که در طول تولید شکر سفید به دست می‌آیند و در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شوند (Tomaszewska et al., 2018). برگ چغندر قند دارای میزان پروتئین بالایی بوده و حاوی اسیدهای آمینه ضروری همچون لوسین، والین، فنیل آلانین، لیزین، ترئونین، ایزولوسین و متیونین است (Kiskini et al., 2016).

می‌یابد، افزایش وزن چغندر قند نیز ادامه خواهد داشت (Kolivand, 1988). به‌عنوان یک قاعده کلی اگر چغندر قند در ماه‌های شهریور و مهر به‌طور فعال رشد داشته باشد، درصد قند آن نیز حدود ۰/۱ درصد در روز افزایش خواهد یافت (Wilson et al., 2001).

سرعت اضمحلال برگ نسبت به سرعت ظهور برگ اثرات بیشتری بر عملکرد قند داشته و بیشترین اثر آن در مراحل میانی رشد و رسیدگی چغندر قند است (Mohammadian et al., 2014). علائم ظاهری رسیدن چغندر قند با زرد شدن برگ‌های مسن، کند شدن رشد برگ‌های جوان داخل بوته و به‌طور کلی بطئی شدن رشد اندام‌های هوایی نمایان می‌شود. در شرایط اقلیمی استان کرمانشاه وزن برگ از اواسط مرداد ماه رو به کاهش گذاشته و این روند تا زمان رسیدن تکنولوژیکی چغندر قند ادامه داشته و آهنگ این کاهش در ماه‌های شهریور و مهر سریع‌تر می‌شود. عکس این عمل برای ریشه اتفاق می‌افتد و با آهنگی تقریباً یکنواخت وزن ریشه افزایش می‌یابد (Kolivand, 1988).

به تاخیر لنداختن برداشت چغندر قند تا اواخر پاییز باعث کاهش عملکرد ریشه و قند می‌شود (Hull and Webb, 1970). در آزمایشی با سه تاریخ برداشت به فواصل یک ماه از همدیگر در طول فصل پاییز مشاهده شد. عملکرد قند در برداشت اول که مصادف با اواسط مهرماه بود نسبت به سایر برداشت‌ها بیشتر بود (Draycott et al., 1973). نتایج تحقیقی نشان داد به تاخیر انداختن برداشت سبب کاهش غلظت قند و ماده خشک می‌شود زیرا چغندری که در معرض یخبندان و رطوبت زیاد خاک قرار گیرد معمولاً درصد بیشتری آب خواهد داشت که این امر منجر به کاهش درصد ساکاروز و غلظت ماده خشک می‌گردد (Carter and Traveller, 1981). در یک آزمایش پنج ساله با چهار تاریخ برداشت اعلام شد که تاخیر در برداشت در هر پنج سال منجر به افزایش عملکرد قند و ریشه شده است (Hull and Webb, 1970). در پژوهش دیگری با سه تاریخ برداشت به فواصل یک ماه از همدیگر در طول فصل پاییز مشاهده شد، آخرین تاریخ برداشت که مصادف با اوایل آذرماه بود، بیشترین عملکرد ریشه و قند و بالاترین درجه خلوص شربت را به جا گذاشته است. اما درصد قند نسبت به برداشت‌های اول و دوم پایین‌تر بود (Draycott et al., 1973).

غیرمحیطی و نیز نحوه تأثیر آنها بر خصوصیات کمی و کیفی محصول از حیاتی‌ترین اصول کشاورزی محسوب می‌شود (Khan et al., 2018). تاریخ کاشت مطلوب محصولات کشاورزی با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه، فراهم بودن زمین، رقم مورد نظر، زمان محتمل برای شیوع آفات و بیماری‌ها و تاریخ برداشت مناسب بر اساس زمان رسیدگی، تناوب زراعی و کیفیت محصول مورد نظر مشخص می‌شود (Khan et al., 2002). از مهم‌ترین فاکتورهای اثرگذار بر عملکرد محصولات کشاورزی، تاریخ کاشت مناسب است. تاریخ کاشت با تأثیر بر طول دوره رشد و نمو گیاه و نیز میزان درجه روز رشد دریافتی می‌تواند اثر تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد محصول و سایر خصوصیات زراعی و آزمایشگاهی گیاه داشته باشد (Khajeh Poor, 2011). تعیین تاریخ کاشت مناسب تحت شرایط محیطی منطقه مورد کشت یکی از مهم‌ترین الزامات برنامه‌ریزی کشاورزی برای دستیابی به حداکثر عملکرد به همراه کیفیت مطلوب است (Nikpanah et al., 2010). انتخاب تاریخ کشت و برداشت مناسب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای تولید، همواره یک راهکار زراعی برای ترکیب مناسب فتوسنتز، درجه حرارت و نور جهت رشد بهینه و تکمیل چرخه زندگی گیاه است (Rezaei et al., 2019). همچنین تاریخ کاشت بر طول دوره رویشی و زایشی گیاه تأثیرگذار است و بین آنها و سایر عوامل تولید تعادل ایجاد می‌کند و منجر به تأثیر بر کیفیت و عملکرد محصول می‌شود (Rezaei and Fasahat, 2022). اگرچه زمان کشت به‌طور ژنتیکی در یک گیاه به دلیل شرایط تکاملی مشخص است ولی مطالعات مربوط به انتخاب بهترین زمان کشت و برداشت می‌تواند در گذار از شرایط نامطلوب اقلیمی منطقه و رسیدن به بیشترین مقدار عملکرد کمک‌کننده باشد (Basso and Liu, 2019).

زمان رسیدن چغندر قند تابع عوامل زیادی است که مهم‌ترین آن‌ها نوع رقم، درجه حرارت محیط، تاریخ کاشت، طول دوره رشد، میزان آبیاری، کود نیتروژن و عملیات داشت می‌باشد (Wegener, 2004). به استثنای خوزستان که کشت چغندر قند به صورت پاییزه صورت می‌گیرد، در بقیه نقاط کشورمان با توجه به تاریخ کاشت و عوامل موثر دیگر زمان رسیدگی تکنولوژیکی چغندر قند از اواسط مهر تا اواخر آبان متغیر می‌باشد. بدیهی است مادامی که درجه حرارت افزایش

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی شهرستان بردسیر در ۵۵ کیلومتری شهر کرمان در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۹۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۴۷ متر از سطح دریا انجام شد. خاک این منطقه لومی-رسی (pH=7.2) و با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب، هدایت الکتریکی ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر و با عمق ۸۰ سانتی متر بود. جهت اجرای این طرح در دو تاریخ کاشت، هر کدام در یک قطعه زمین حدود ۵۰۰ متر مربع با استفاده از رقم تجاری شیرین کشت چغندر قند انجام شد. شهرستان بردسیر دارای میانگین ارتفاع ۲۱۰۰ متر از سطح دریا و آب‌وهوای معتدل کوهستانی است. همچنین دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم بوده و در بسیاری مواقع بادهای موسمی و فصلی دارد. میانگین درجه حرارت سالانه آن ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد و همچنین میانگین درجه حرارت حداقل مطلق آن نیز ۱۵/۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه آن نیز ۱۶۰ میلی‌متر گزارش شده است.

تاریخ کاشت اول در اول اردیبهشت ماه صورت گرفت، و تاریخ کاشت دوم در کنار قطعه اول و با فاصله حدود یک ماه و نیم (تقریباً معادل زمان قطع آب از غلات) در ۱۵ خرداد ماه انجام شد. در پاییز جهت تهیه بستر کاشت، نسبت به انجام شخم عمیق اقدام گردید. عملیات آماده‌سازی زمین در بهار شامل اجرای شخم سطحی، دیسک و تسطیح و تهیه ردیف کاشت و توزیع کود انجام شد. ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طی سه مرحله کاشت، دو تا چهار برگی و شش تا هشت برگی به مزرعه افزوده شد. همچنین، به ترتیب ۱۳۵ کود سوپرفسفات تریپل و ۱۱۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم نیز هم‌زمان با شخم پاییزه به خاک اضافه شد. مراقبت‌های زراعی در همه مراحل رشد به گونه‌ای انجام شد که مزرعه عاری از آفات و امراض و علف‌های هرز بوده و بوته‌ها دارای وضعیت رشد نرمال بودند. در انتهای فصل رشد، برداشت‌ها از اول شهریور ماه و طی ۹ مرحله با فاصله حدود ۱۵ روز یک بار (به مدت چهار ماه) به صورت تصادفی از هر قطعه صورت گرفت. روش نمونه‌برداری به این صورت بود که در مرحله اول چهار نقطه از مزرعه مورد نظر به‌طور تصادفی و به شکل Z انتخاب و علامت‌گذاری شده و

همزمان با افزایش وزن ریشه و افزایش درصد قند، غلظت ناخالصی‌های پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره موجود در ریشه تا زمان رسیدن چغندر قند رو به کاهش می‌گذارد (Winner, 1982). لذا تعیین روند تغییرات غلظت ناخالصی‌های پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره همزمان با تغییرات درصد قند طی فصل رشد در هر منطقه می‌تواند به عنوان شاخصی از رسیدگی تکنولوژیکی چغندر قند مورد استفاده قرار گیرد. در مطالعه‌ای گزارش شد که افزایش وزن اندام‌های هوایی در اواسط فصل، آهنگ ملایم‌تری پیدا می‌کند و به مرور که به اواخر فصل می‌رسد به حد ثابتی رسیده و این پدیده تا مدتی ثابت می‌ماند. در این حالت وزن ریشه افزایش داشته و میزان قند ذخیره شده بالا خواهد رفت (Hadir et al., 2020).

با توجه به اینکه چغندر قند تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی مشخصی ندارد همواره کارخانه‌های قند و کشاورزان در پی تعیین بهترین زمان برداشت می‌باشند. از طرفی خرید محصول چغندر قند از کشاورزان بر اساس درصد قند ناخالص و عملکرد انجام می‌شود. تعیین درصد قند بایستی در آزمایشگاه صورت پذیرد که هزینه داشته و نیاز به امکانات آزمایشگاهی دارد. بنابراین در این تحقیق پس از تعیین روند تغییرات درصد قند خالص در هکتار (با استفاده از امکانات آزمایشگاهی)، منحنی روند تغییر سایر پارامترها را با این عامل بررسی کرده تا مشخص گردد بر اساس کدام فاکتور مزرعه‌ای می‌توان تاریخ برداشت مناسب چغندر قند را بدون نیاز به امکانات آزمایشگاهی تعیین نمود. بنابراین در این پژوهش شاخص‌هایی که بر اساس آن می‌توان رسیدگی زراعی و تکنولوژیکی چغندر قند را در مزرعه برآورد کرد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در نهایت مهم‌ترین شاخص‌هایی که به راحتی در مزرعه و یا آزمایشگاه در اواخر دوره رشد گیاه قابل اندازه‌گیری می‌باشند، تعیین خواهد گردید. نتایج این پژوهش می‌تواند مورد استفاده کشاورزان قرار گیرد تا با تعیین تاریخ برداشت مطلوب در مزرعه (تعیین تاریخی که درصد قند ناخالص و عملکرد در حالت بهینه خود باشند) به درآمد و سود بیشتر دست یابند. همچنین کارخانه‌های قند کشور می‌توانند از نتایج این تحقیق در برنامه‌ریزی برداشت و مصرف چغندر قند، بر اساس تخمین زمان صحیح رسیدگی تکنولوژیکی این گیاه در مزرعه اقدام نمایند.

آنهايي که دارای درجه خلوص بالا بودند به عنوان نمونه‌های دارای رسيدگی تکنولوژیکی برتر در نظر گرفته شدند. همچنين مقدار مارک نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 ساخت شرکت MINOLTA ژاپن استفاده شد. برای این منظور از هر کرت سه بوته به‌طور تصادفی انتخاب و از نقطه بالا، وسط و پایین برگ شماره پنج محتوای کلروفیل قرائت شد (SPAD Value) و سپس مقدار میانگین عدد SPAD برای برگ پنجم محاسبه شد (Noshad *et al.*, 2001).

مقدار مارک عبارت است از مواد جامدی (سلولز، پکتین و لیگنین) که در آب حل نمی‌شود و مقدار عددی آن به‌طور متوسط حدود چهار تا پنج درصد وزن چغندر قند است. مقدار مارک در هر مرحله برای دو تاریخ کاشت برای برگ پنجم در هر بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن دمبرگ، برگ شماره پنج برای هر بوته در هر تاریخ کاشت و برداشت معین انتخاب و بلافاصله جدا شده و در پلاستیک قرار داده شد و به آزمایشگاه حمل گردید. نمونه‌ای از دمبرگ‌های جدا شده به‌صورت تصادفی پس از شستشو جهت خشک شدن در آون فن دار و در دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. نمونه‌های خشک شده سپس در آسیاب پودر شده و شماره‌گذاری گردیدند. سپس طبق دستورالعمل موجود نیتروژن دمبرگ به روش کجلدال برای هر نمونه قرائت گردید (Bremner and Mulvaney, 1982).

پس از جمع‌آوری و جمع‌بندی نتایج، مناسب‌ترین صفاتی که با رسيدگی تکنولوژیکی و زراعی چغندر قند ارتباط نزدیک داشتند برای منطقه بردسیر تعیین گردید. صفاتی که با رسيدگی زراعی چغندر قند ارتباط داشتند نیز توسط نرم‌افزار Excel-2019 منحنی روند تغییرات آنها رسم گردید.

نتایج و بحث

عملکرد شکر سفید

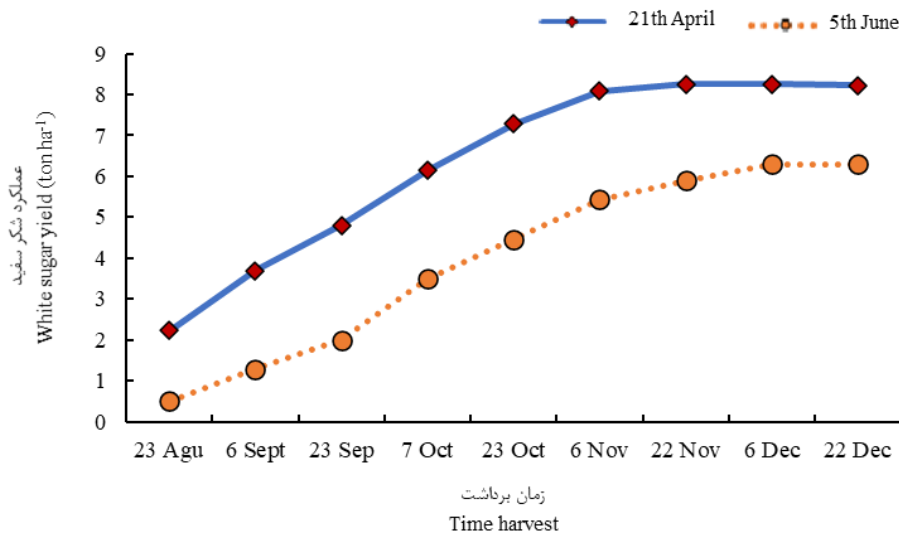
شکل ۱ نشان‌دهنده روند تغییرات عملکرد شکر سفید برای دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه) در طی نه تاریخ برداشت مختلف می‌باشد. این صفت برای تاریخ

حاشیه حدود ۵ متر از طرفین مزرعه رعایت گردید. از هر نقطه یک نمونه ۵۰ تایی شامل دو ردیف مجاور به طول ۵ متر برداشت شد. از این ۵۰ بوته، در ۱۰ بوته اندام‌هوایی و زمینی به‌طور هم‌زمان مورد بررسی و ۴۰ بوته دیگر پس از برداشت و حذف برگ، دمبرگ و قسمت سر (قسمتی از ریشه که در زمان برداشت دمبرگ سبز و زنده به آن متصل است) توزین شده و از آنها نمونه خمیر تهیه شد. صفات اندازه‌گیری شده برای هر تاریخ کاشت شامل گروهی از صفات زراعی و آزمایشگاهی بود. صفات شامل وزن تر و خشک ریشه، طول و قطر ریشه، وزن تر اندام هوایی و تعداد برگ زنده و مرده در بوته، مقدار مارک، درجه خلوص، محتوای کلروفیل و نیتروژن دمبرگ برای هر تاریخ کاشت و در هر برداشت در طی چهار ماه اندازه‌گیری شد. پس از هر بار برداشت مقدار وزن تر ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم برای هر بوته اندازه‌گیری شد، سپس برای تعیین وزن خشک ریشه از هر ریشه مقدار ۱۰۰ گرم نمونه تهیه شد و وزن خشک هر نمونه با قرار دادن آب در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد. پس از هر بار برداشت، اندام هوایی جدا شد و در داخل آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت و وزن خشک اندام هوایی با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم برای هر بوته اندازه‌گیری شد. در هر بار برداشت مقدار قطر و طول ریشه‌ها با خط‌کش مدرج و بر اساس واحد سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های زنده و مرده (خشک شده) در یک گیاه طی دوره‌ی دو هفته از طریق علامت‌گذاری و شمارش برگ‌ها در بوته‌ها ثبت شد.

عملکرد شکر سفید از حاصل‌ضرب عملکرد ریشه در قند خالص بر اساس واحد تن در هکتار به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری درجه خلوص ابتدا خمیر ریشه حاصله از نمونه ۴۰ تایی پس از انجماد در ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و به آزمایشگاه تکنولوژی چغندر قند در کرج منتقل شده و میزان بریکس عصاره با استفاده از دستگاه رفاکتومتر اندازه‌گیری و درجه خلوص شربت خام بر حسب درصد محاسبه شد. معیار رسيدگی تکنولوژیکی چغندر قند در مزرعه عیار و درجه خلوص می‌باشد. به این صورت که ابتدا تمام نمونه‌ها بر اساس عیار از بالا به پایین مرتب شد و سپس در بین نمونه‌های با عیار بالا،

ماه در تاریخ کاشت اول افزایش نمی‌یابد، بنابراین با توجه به خطر یخ‌زدگی خاک و ریشه در آذر ماه برای جلوگیری از اتلاف وقت بهتر است در این زمان اقدام به برداشت مزرعه چغندر قند نمود. از طرفی عدم جبران عقب‌ماندگی عملکرد شکر سفید در تاریخ کاشت دوم نشان می‌دهد این تاریخ کاشت مناسب منطقه نمی‌باشد. در مطالعه‌ای بر روی تاریخ کشت و برداشت‌های مختلف گزارش شد که عملکرد شکر سفید در منطقه بردسیر با افزایش زمان برداشت بیشتر می‌شود ولی پس از اول آذر ماه این مقدار برای تاریخ کاشت اول اردیبهشت ماه تقریباً تثبیت می‌شود (Javaheri, 2022).

کاشت اول در همه تاریخ‌های برداشت بیشتر از تاریخ برداشت دوم بوده است. به طوری که بیشترین مقدار شکر سفید در تاریخ کاشت اول در برداشت اول آذر ماه به دست آمد، ولی در کاشت دوم در پانزدهم آذر حاصل گردید. در تاریخ کاشت اول تاخیر در برداشت پس از اول آذر ماه تفاوت معنی‌داری در عملکرد شکر سفید نداشت ولی در تاریخ کاشت دوم به دلیل تکمیل نشدن رشد فیزیولوژیکی ریشه چغندر قند این افزایش تا برداشت هشتم ادامه یافت. روند تغییرات مقدار عملکرد شکر سفید نشان داد بهترین زمان کاشت برای منطقه بردسیر استان کرمان اول اردیبهشت ماه و بهترین زمان برداشت این محصول اول آذر ماه می‌باشد. به دلیل اینکه مقدار عملکرد شکر سفید پس از اول آذر



شکل ۱- روند تغییرات عملکرد شکر سفید در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)

Figure 1-Trend of changes in white sugar yield on two planting dates (21th April and 5th June)

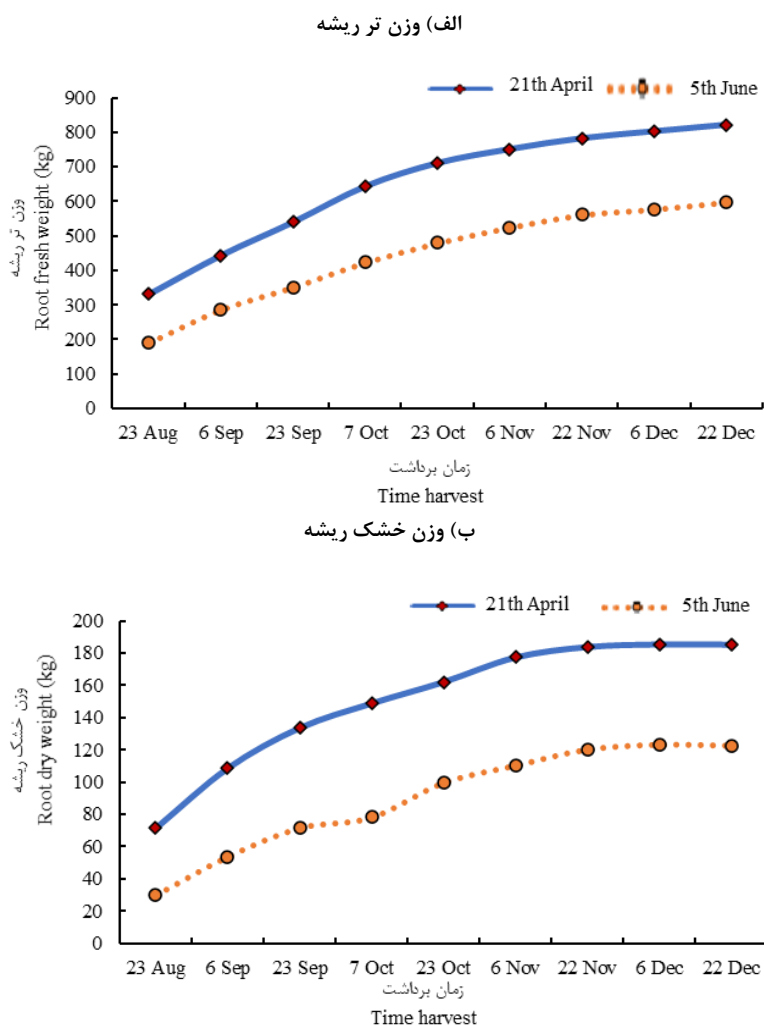
نشان داد که مقدار عملکرد از ۱۹۰/۸ گرم به ۵۹۷/۷ گرم رسیده است ولی مقدار عملکرد کاشت اول اردیبهشت ماه از ۳۳۰/۹ گرم به ۸۲۱/۲ گرم رسیده است. هر چند که مقدار درصد افزایش عملکرد برای تاریخ کاشت پانزدهم خرداد ماه بیشتر از مقدار تاریخ کاشت اول اردیبهشت ماه بود ولی به دلیل عملکرد بیشتر تاریخ کاشت اول اردیبهشت ماه می‌توان نتیجه گرفت زمان مناسب برای کاشت چغندر قند در منطقه بردسیر از نظر عملکرد ریشه، تاریخ اول اردیبهشت ماه می‌باشد (شکل ۲). این نتایج نشان داد که زود کاشتن چغندر قند و برداشت در زمان مناسب عملکرد ریشه را در حد بسیار زیادی افزایش می‌دهد.

وزن تر و خشک ریشه

نتایج مربوط به روند تغییرات عملکرد تر و خشک ریشه برای دو تاریخ کاشت شامل پانزدهم خرداد ماه و اول اردیبهشت ماه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج شکل ۲ نشان داد که مقدار عملکرد تر و خشک ریشه برای تاریخ کاشت اول (اول اردیبهشت ماه) به طور کلی بیشتر از مقدار تاریخ کاشت ۱۵ خرداد ماه بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش زمان برداشت، مقدار شیب عملکرد تر ریشه نسبت به عملکرد خشک ریشه برای هر دو تاریخ کاشت بیشتر می‌باشد. روند وزن تر ریشه برای تاریخ کاشت پانزدهم خرداد ماه

تاریخ ۱۵ آذر ماه برای کاشت دوم نیز زمان مناسبی برای برداشت ریشه‌های چغندر قند از مزرعه می‌باشد، به دلیل اینکه بیشترین مقدار عملکرد شکر سفید را تولید نموده است. در مطالعه‌ای گزارش شد که در ۱۵۵ روز پس از کاشت مقدار عملکرد در ۷ رقم چغندر قند به طور معناداری بیشتر از ۱۳۵ روز پس از کاشت بود (Paul et al., 2019). در این مطالعه تاریخ‌های برداشت تاثیر خود را بر پارامترهای عملکردی چغندر قند ثابت کرد. نتایج سایر مطالعات نیز این مطلب را تائید می‌کند (Draycott et al., 1973; Falvay and Vukov, 1977; Lee et al., 1987; Curcic et al., 2018). در صورت کاشت به موقع طول دوره رویش ۲۱۰ روز برای حصول عملکرد ریشه مناسب در منطقه بردسیر کافی می‌باشد.

به طور کلی کاشت به موقع موجب استفاده بهتر از شرایط محیطی می‌شود (Lee et al., 1987; Lee and Schmehl, 1988; Harris et al., 1956; Despo and Sficas, 1987). نتایج وزن خشک ریشه (شکل ۲) نشان داد که دارای روندی مشابه با وزن تر می‌باشد، با این تفاوت که روند تغییرات عملکرد خشک ریشه برای هر دو تاریخ کاشت پس از اول آبان ماه تقریباً یکنواخت می‌شود و دیگر شیب تند افزایش عملکرد اولیه را نخواهد داشت. همانطور که ملاحظه می‌شود تاخیر در کاشت در همه زمان‌های برداشت سبب کاهش عملکرد گردیده است که نشان دهنده این موضوع است که با تاخیر در برداشت نمی‌توان تاخیر در کاشت را جبران نمود. می‌توان نتیجه گرفت بر اساس مقدار عملکرد خشک ریشه اقدام به برداشت در تاریخ ۱۵ آبان ماه برای کاشت اول اردیبهشت ماه نمود. همچنین برداشت در

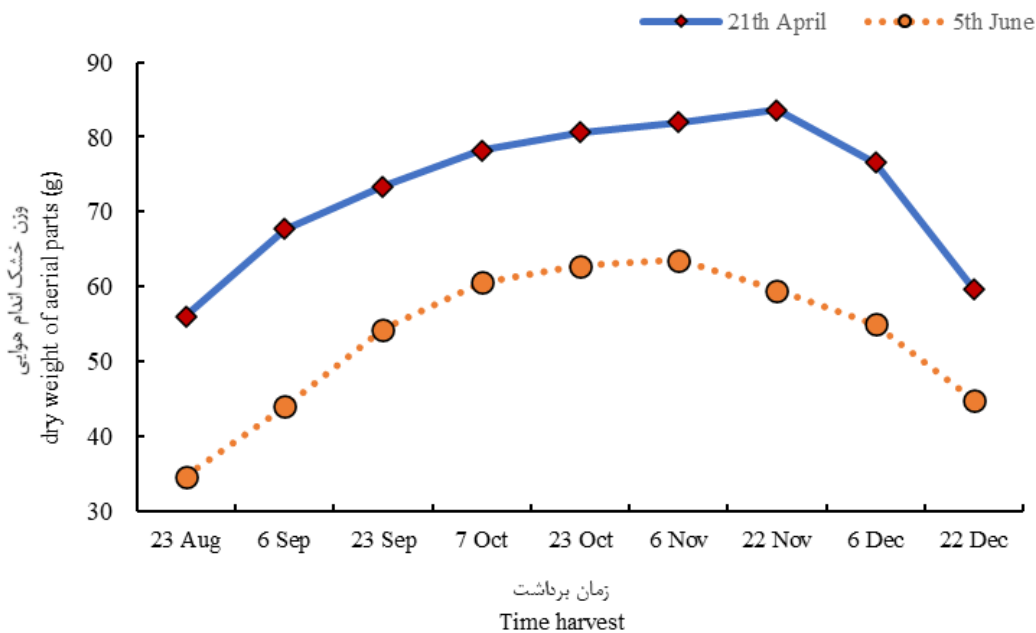


شکل ۲- روند تغییرات عملکرد تر و خشک ریشه در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)
Figure 2-Trend of changes in wet and dry root yield on two planting dates (21th April and 5th June)

به طور کلی در هر دو تاریخ کاشت وزن خشک اندام هوایی پس از رسیدن به یک حداکثر به تدریج کاهش یافته است. این کاهش مربوط به کاهش شاخص سطح برگ پس از رسیدن به یک حداکثر می‌باشد. نتایج شکل ۳ نشان داد که بر اساس روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی در هر دو تاریخ کاشت نمی‌توان بیشترین مقدار عملکرد شکر سفید را تخمین زد، بنابراین این شاخص مناسبی برای رسیدگی زراعی و تکنولوژیکی چغندر قند در مزرعه نمی‌باشد.

روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی

روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی برای دو تاریخ کاشت اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خردادماه برای نه تاریخ برداشت در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار وزن خشک اندام هوایی برای همه تاریخ‌های برداشت برای کاشت اول بیشتر از کاشت دوم بود. در تاریخ کاشت اول دوره رشد گیاه در اواخر فصل تکمیل گردیده و گیاه برگ‌های خود را در آخر فصل از دست داده است. بالا بودن وزن تر اندام هوایی در چند برداشت اول باعث افزایش ماده‌سازی و افزایش عملکرد ریشه شده است.



شکل ۳- روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)

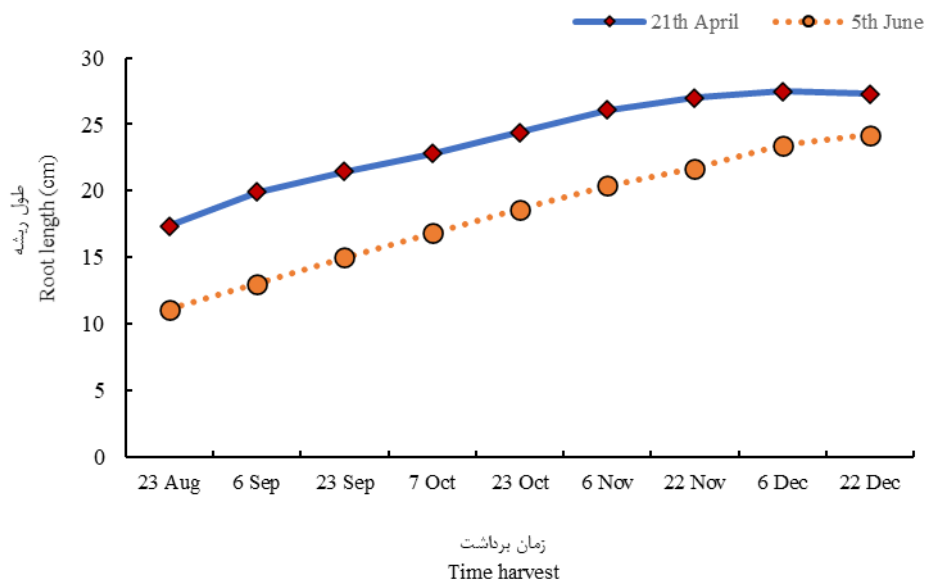
Figure 3-Trend of changes in dry weight of aerial parts on two planting dates (21th April and 5th June)

شده است (شکل ۴). روند افزایشی طول ریشه در تاریخ کاشت اول پس از برداشت هفتم (اول آذرماه) پس از ۲۲۰ روز پس از کاشت تا برداشت نهم تغییر چندانی نداشته است. در تاریخ کاشت دوم نیز طول ریشه بعد از ۱۵ آذر افزایش نیافته است. این روند مشابه روند عملکرد شکر سفید در هکتار است. می‌توان نتیجه گرفت زمانی که رشد طولی ریشه متوقف می‌شود برای برداشت چغندر قند مناسب بوده و می‌توان از این شاخص برای تخمین رسیدگی زراعی و تکنولوژیکی چغندر قند استفاده کرد.

روند تغییرات طول ریشه

روند تغییرات طول ریشه در هر دو تاریخ کاشت به صورت افزایشی بود ولی همواره طول ریشه در تاریخ کاشت اول بیش از تاریخ کاشت دوم بوده است (شکل ۴). هر چند در برداشت‌های آخر این تفاوت کمتر شده است.

بیشترین طول ریشه به اندازه ۲۷/۵ سانتی‌متر در تاریخ کاشت اول در برداشت هشتم و بیشترین طول ریشه به اندازه ۲۴/۲ سانتی‌متر در تاریخ کاشت دوم در برداشت نهم حاصل

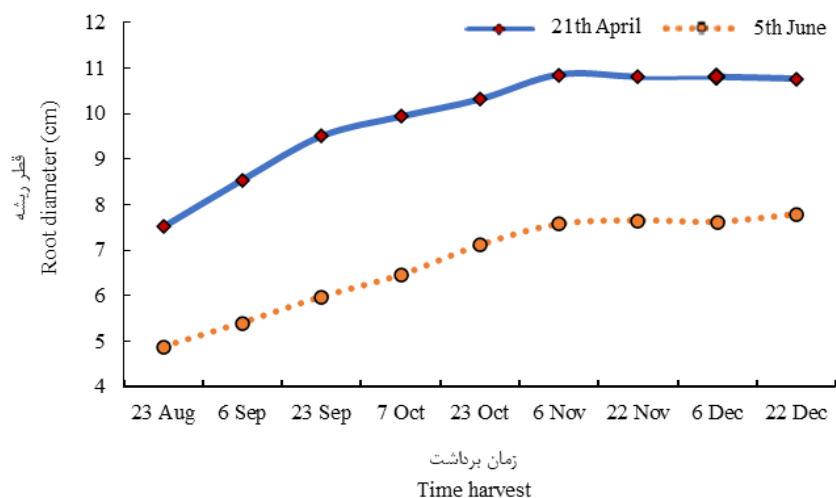


شکل ۴- روند تغییرات طول ریشه در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)
 Figure 4-Trend of changes in root length on two planting dates (21th April and 5th June)

کاشت دوم افزایش قطر ریشه تا برداشت آخر ادامه داشته است. هرچند که در دو برداشت آخر این افزایش بسیار جزئی است. روند تغییرات قطر و طول ریشه تقریباً منطبق بر روند تغییرات وزن تر ریشه می‌باشند. در مطالعه‌ای بر روی تاریخ برداشت‌های مختلف عنوان گردید که قطر و عرض ریشه چغندر قند دارای همبستگی بالایی با یکدیگر می‌باشند و با افزایش تاریخ برداشت مقدار عملکرد، قطر و عرض ریشه نیز بیشتر می‌شود (Hoffmann, 2017).

روند تغییرات قطر ریشه

روند تغییرات قطر ریشه نیز همانند طول ریشه بوده است (شکل ۵). به طوری که روند تغییرات قطر ریشه در هر دو تاریخ کاشت افزایشی بوده ولی همواره قطر ریشه در تاریخ کاشت اول بیش از تاریخ کاشت دوم بوده است. هرچند در برداشت آخر این تفاوت کمتر شده است (شکل ۵).
 بیشترین قطر ریشه به اندازه ۱۰/۸۹ سانتی‌متر در تاریخ کاشت اول در برداشت هشتم حاصل شده است، ولی در تاریخ



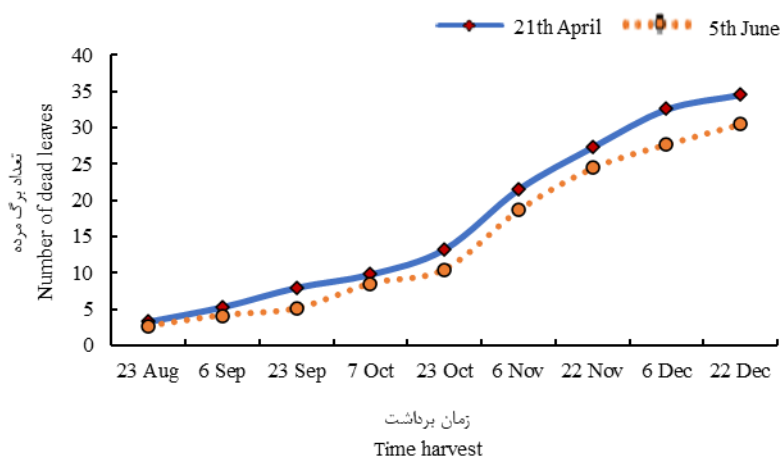
شکل ۵- روند تغییرات قطر ریشه در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)
 Figure 5-Trend of changes in root diameter on two planting dates (21th April and 5th June)

بعد روند کاهشی داشته است. ولی در تاریخ کاشت دوم این روند کاهشی از تاریخ برداشت ششم به بعد صورت پذیرفته است ولی شیب آن در اواخر فصل کمتر از تاریخ کاشت اول می‌باشد (شکل ۶-الف).

روند تغییرات تعداد برگ‌های مرده (خشک شده) برای هر دو تاریخ کاشت به صورت پلکانی و افزایشی بود هر چند که در تمام تاریخ‌های برداشت تعداد برگ‌های مرده (خشک شده) در تاریخ کاشت اول بیش از تاریخ کاشت دوم بوده است (شکل ۶-ب). تعداد برگ‌های مرده (خشک شده) در سه برداشت آخر روند صعودی زیادی داشتند (شکل ۶). نمودار شکل ۶ نشان داد که این شاخص به دلیل تغییرات زیاد نمی‌تواند به عنوان شاخصی مناسب برای رسیدگی زراعی و تکنولوژیکی چغندر قند محسوب شود.

تعداد برگ‌های زنده و مرده (خشک شده) در هر بوته

روند تغییرات تعداد برگ‌های زنده و مرده در هر بوته برای دو تاریخ کاشت (پانزدهم خرداد ماه و اول اردیبهشت ماه) در طی نه عملیات برداشت در شکل ۶ نشان داده شده است. روند برگ‌های زنده نشان داد که تا برداشت ششم، تعداد برگ‌های زنده تاریخ کاشت اول بیشتر از تعداد برگ‌های زنده تاریخ کاشت دوم است ولی پس از آن تعداد برگ‌های زنده تاریخ کاشت دوم بیشتر می‌شود. به ترتیب، بیشترین تعداد برگ زنده در تاریخ کاشت اول و دوم مربوط به برداشت‌های ۱۵ مهرماه و اول آبان ماه است. در هر دو تاریخ کاشت در برداشت‌های آخر تعداد برگ‌های زنده در هر بوته کاهش یافته است (شکل ۶-الف). ولی این کاهش در تاریخ کاشت اول شدیدتر می‌باشد. زیرا در تاریخ کاشت اول به دلیل اینکه رسیدگی فیزیولوژیکی صورت پذیرفته است، تعداد برگ‌های زنده از تاریخ برداشت چهارم به



شکل ۶- روند تغییرات تعداد برگ‌های مرده (خشک شده) در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)

Figure 6-Trend of changes in number of dead leaves on two planting dates (21th April and 5th June)

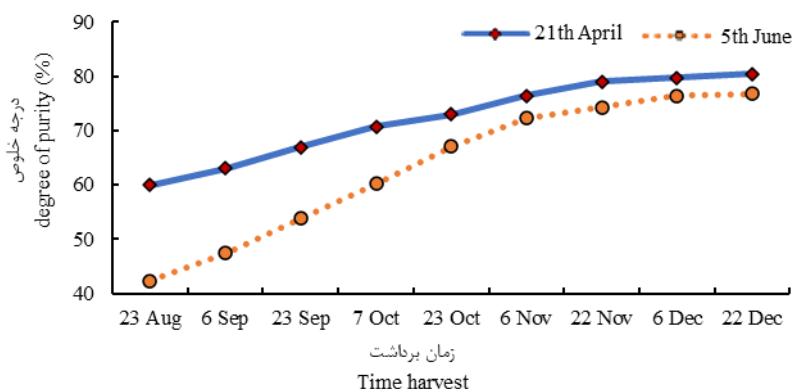
اول بیشتر از تاریخ کاشت دوم بوده است. این نتیجه نشان می‌دهد که ساکاروز به بریکس در تاریخ کاشت اول بیش از تاریخ کاشت دوم بوده است، به عبارت دیگر زود کاشتن باعث افزایش درجه خلوص شده است. همچنین در هر دو تاریخ کاشت پس از حدود ۱۹۰ روز افزایش درجه خلوص متوقف شده است، به عبارت دیگر می‌توان چنین عنوان کرد هنگامی که درجه خلوص به حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد برسد زمان مناسب برداشت از نظر رسیدگی تکنولوژی فرا رسیده است (شکل ۷).

روند تغییرات درجه خلوص

درجه خلوص عبارت است از درصد قند ناخالص (مقدار عیار) تقسیم بر میزان بریکس و بر حسب درصد بیان می‌شود. روند تغییرات درجه خلوص نیز در برداشت‌های اول بین دو تاریخ کاشت تفاوت داشته ولی از برداشت چهارم به بعد به یکدیگر نزدیک شده است. تاریخ کاشت اول با حداکثر ۸۰ درصد درجه خلوص برتر از تاریخ کاشت دوم با حداکثر ۷۶ درصد درجه خلوص بوده است. همواره درجه خلوص در تاریخ کاشت

تغییرات درجه خلوص در دو تاریخ کاشت می‌تولند شاخص مناسبی برای مقدار عملکرد شکر سفید محسوب شود، به طوری که با رسیدن مقدار درجه خلوص به $76/3$ درصد در تاریخ کاشت اول و دوم (به ترتیب ۱۵ آبان ماه و ۱۵ آذر ماه) اقدام به برداشت مزرعه چغندر قند نمود.

همچنین در هر دو تاریخ کاشت با تاخیر در برداشت به دلیل کاهش ناخالصی‌های ریشه درجه خلوص تا تاریخ برداشت چهارم به روند افزایشی را طی کرده است، و از تاریخ برداشت چهارم به بعد به دلیل اینکه ناخالصی‌های ریشه به مقدار ثابتی رسیده است این روند کاهش متوقف گردیده است (شکل ۷). روند

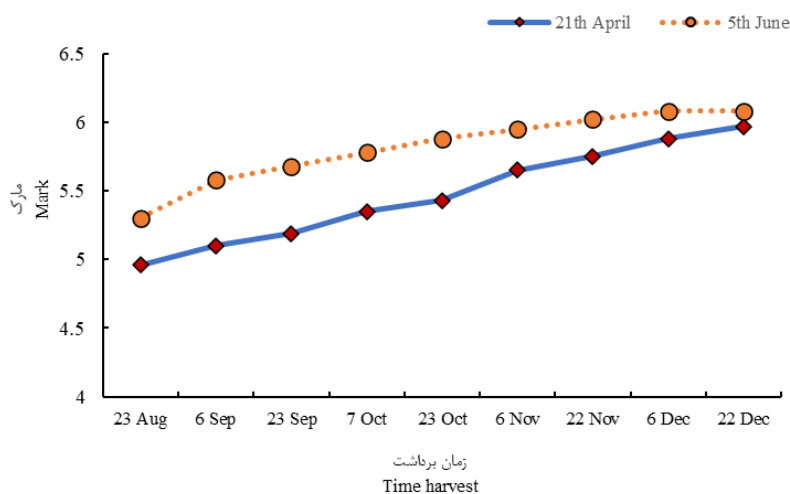


شکل ۷- روند تغییرات درجه خلوص در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)
Figure 7-Trend of changes in degree of purity on two planting dates (21th April and 5th June)

تاریخ‌های برداشت در تاریخ کاشت دوم (پانزدهم خردادماه) بیشتر از تاریخ کاشت اول (اول اردیبهشت ماه) بوده است. این حالت را می‌توان به کوچکی ریشه‌ها در تاریخ کاشت دوم ارتباط داد. با توجه به روند تغییرات این صفت و مقایسه آن با شکل ۱ مشخص می‌شود این عامل مناسب تخمین زمان رسیدگی فیزیولوژیکی چغندر قند نمی‌باشد.

مقدار مارک

روند تغییرات مقدار مارک در نه تاریخ برداشت در طی چهار ماه در شکل ۸ برای تاریخ کاشت‌های پانزدهم خرداد ماه و اول اردیبهشت ماه آورده شده است. نتایج شکل ۷ نشان‌دهنده مقدار صعودی مارک برای هر دو تاریخ کاشت می‌باشد. مقدار مارک برای تاریخ کاشت اول از $4/96$ به $5/97$ و برای کاشت دوم از $5/30$ به $6/08$ رسیده است (شکل ۸). مقدار مارک در همه

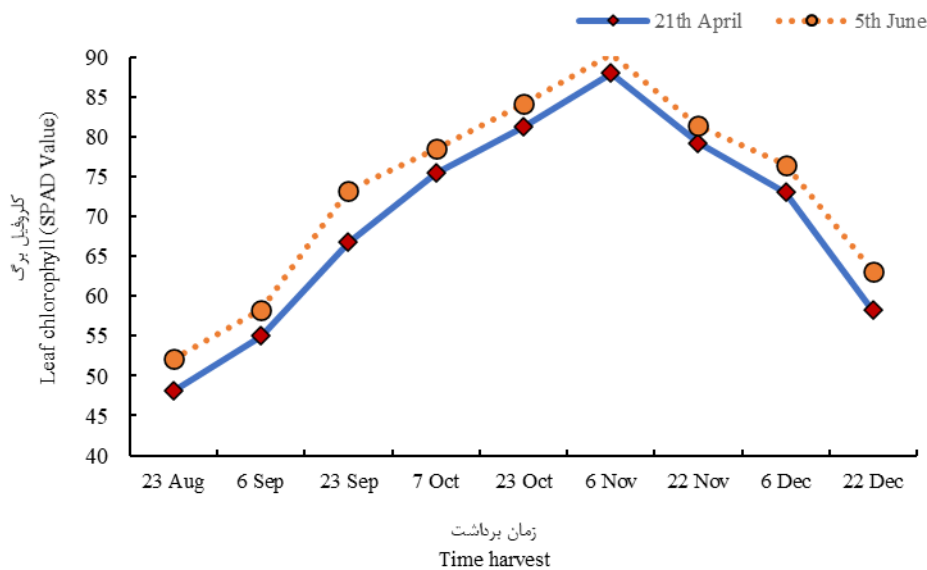


شکل ۸- روند تغییرات مقدار مارک در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)
Figure 8-Trend of changes in amount of mark on two planting dates (21th April and 5th June)

برداشت‌های آخر به دلیل سرمای زیاد برگ‌ها شدیداً زرد شده و باعث افت شدید کلروفیل شده است. مطالعه‌ای بر روی دو تاریخ ۱۳۵ و ۱۵۵ روز پس از کشت چغندر قند گزارش شد که محتوای کلروفیل در برداشت ۱۳۵ روز به طور معنی‌داری بیشتر از برداشت ۱۵۵ روز پس از کشت بود (Paul et al., 2019). نتایج این مطالعه منطبق با مطالعات دیگر می‌باشد (Paul et al., 2018a; Paul et al., 2018b). با توجه به اینکه گیاه مرتباً در طول فصل برگ جدید تولید می‌کند و همواره برگ شماره ۵ جوان می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌شود به جای اندازه‌گیری این شاخص از تغییر رنگ حاصل شده در محل مزرعه با به کارگیری روش مناسب از جمله عکس برداری دقیق و استاندارد تحقیقات دیگر استفاده گردد.

روند تغییرات کلروفیل برگ

روند تغییرات کلروفیل برگ برای تاریخ کاشت‌های اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه در طی چهار ماه برای چغندر قند در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج شکل ۹ نشان داد که روند کلروفیل برگ برای هر دو تاریخ کاشت تقریباً مشابه می‌باشد و مقدار کلروفیل برگ پس از یک روند افزایشی، کاهش شدیدی پیدا نموده است. کاهش میزان کلروفیل در دو برداشت آخر را می‌توان به سرمای آخر فصل نسبت داد. زیرا از آنجا که همواره میزان کلروفیل در برگ خاصی (شماره ۵) اندازه‌گیری شده و همچنین گیاه مرتباً برگ جدید آورده است، کاهش کلروفیل برگ را نمی‌توان به پیری و مسن شدن برگ نسبت داد (شکل ۹). در دو برداشت آخر میزان کلروفیل برگ در تاریخ کاشت دوم بیش از تاریخ کاشت اول بوده است (شکل ۹). در



شکل ۹- روند تغییرات کلروفیل برگ در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)

Figure 9-Trend of changes in leaf chlorophyll on two planting dates (21th April and 5th June)

مقدار نیتروژن دمبرگ در تاریخ کاشت دوم بیشتر از تاریخ کاشت اول بود.

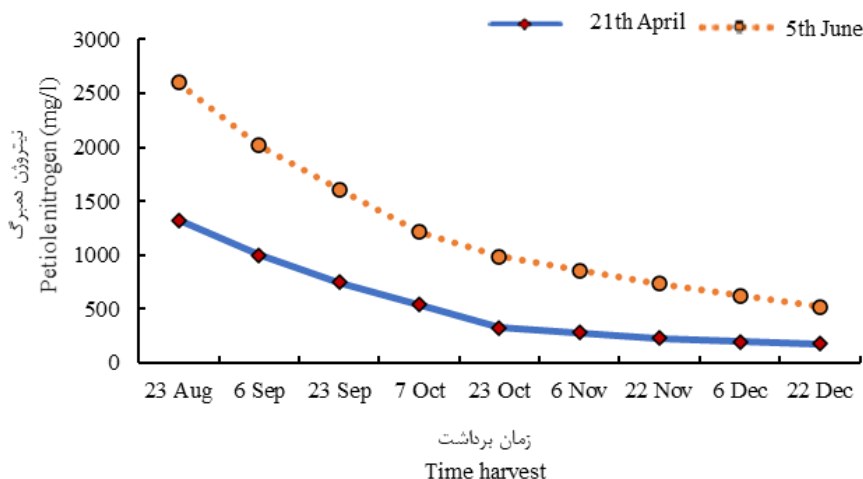
در تاریخ کاشت اول تا برداشت ۱ آبان ماه مقدار نیتروژن دمبرگ دارای روند کاهشی نسبتاً بالایی بود ولی پس از آن مقدار شیب به شدت کاهش یافته و مقدار نیتروژن دمبرگ دارای روند نزولی کمی گردید ولی کاهش شیب روند نیتروژن دمبرگ برای کاشت دوم از تاریخ ۱۵ آبان ماه مشاهده شد

روند تغییرات نیتروژن دمبرگ

روند تغییرات نیتروژن دمبرگ برای تاریخ کاشت پانزدهم خرداد ماه و اول اردیبهشت ماه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در هر نه تاریخ برداشت مقدار نیتروژن دمبرگ در تاریخ کاشت دوم (پانزدهم خرداد ماه) بیش از تاریخ کاشت اول (اول اردیبهشت ماه) بود. مقدار نیتروژن دمبرگ مورد مطالعه در هر دو تاریخ کاشت دارای روند نزولی بود ولی شیب روند نزولی

تغییرات شدید آن و روند فقط کاهش می‌آید، استفاده از این شاخص جهت تعیین زمان مناسب برداشت مناسب نمی‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود از شاخص‌های دیگر برای تعیین رسیدگی فیزیولوژیکی چغندر قند استفاده گردد.

(شکل ۱۰). در مطالعه‌ای گزارش شد که مقدار نیتروژن چغندر قند در تاریخ‌های برداشت متفاوت کاهش می‌یابد (Islamgulov et al., 2018). این نتیجه نشان می‌دهد در صورت کاشت به موقع رسیدگی فیزیولوژیکی سریع‌تر اتفاق می‌افتد. با توجه به مشکل بودن اندازه‌گیری نیتروژن دم‌برگ و



شکل ۱۰- روند تغییرات نیتروژن دم‌برگ در دو تاریخ کاشت (اول اردیبهشت ماه و پانزدهم خرداد ماه)

Figure 10-Trend of changes in petiole nitrate on two planting dates (21th April and 5th June)

رسیدگی زراعی و تکنولوژی چغندر قند در مزرعه باشد. برخی از شاخص‌ها مانند تغییرات نیتروژن دم‌برگ و مقدار مارک نمی‌تواند شاخص‌های مناسبی برای تعیین زمان برداشت باشد. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که با بررسی برخی از شاخص‌ها و بررسی روند تغییرات صفات زراعی و آزمایشگاهی در چغندر قند می‌توان زمان رسیدگی تکنولوژیکی چغندر قند را تخمین زد. استفاده از این شاخص‌ها در مزرعه به کشاورزان و کارخانه‌های قند کشور کمک می‌کند تا بر این اساس تخمین خوبی از زمان رسیدگی تکنولوژیکی چغندر قند و زمان برداشت مناسب آن داشته باشند. این اطلاعات کمک می‌کند بهره‌برداران و مدیریت کارخانه قند بتوانند برنامه‌ریزی دقیق و مناسبی برای برنامه برداشت و حمل چغندر قند داشته باشند.

ملاحظات

تحقیق حاضر صرفاً تلاشی جهت تخمین زمان رسیدگی تکنولوژیکی چغندر قند در مزرعه می‌باشد. با توجه به متغیرهای گوناگون مانند شرایط اقلیمی متفاوت (در سال‌های مختلف) و

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق کاشت زودتر چغندر قند، در تاریخ کاشت اول (یکم اردیبهشت ماه) باعث می‌شود که مقدار صفات عملکردی بیشتر از کشت دوم گردد. تاریخ برداشت ۱۵ آبان ماه نیز بهترین زمان برداشت برای چغندر قند در این منطقه می‌باشد. هر چند که مقدار وزن خشک ریشه در برداشت‌های آخر تقریباً ثابت می‌شود. نتایج بررسی روند تغییرات صفات در طول زمان نشان داد که در تاریخ کاشت اول صفات وزن خشک اندام هوایی، طول و قطر ریشه، تعداد برگ‌های مرده (خشک شده) و درجه خلوص نسبت به تاریخ کاشت دوم بیشتر است. اما مقدار نیتروژن دم‌برگ با تاخیر در برداشت برای هر دو تاریخ کاشت دارای روند کاهش می‌باشد. همچنین می‌توان از شاخص‌های وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ریشه، قطر ریشه و درجه خلوص شربت خام به عنوان شاخص‌های برای تعیین رسیدگی زراعی و تکنولوژیکی چغندر قند در هر دو تاریخ کاشت استفاده نمود. به‌طوری‌که استفاده از شاخص‌های وزن خشک ریشه، طول ریشه و درجه خلوص می‌تواند نشان‌دهنده

سیاسگزاری

تجزیه‌های شیمیایی و اجرای تحقیق حاضر بدون همکاری، راهنمایی و مساعدت موسسه اصلاح و تهیه بذر چغندر قند کرج امکان پذیر نبود لذا بر خود لازم می‌دانم از همکاران آن موسسه خصوصا جناب آقای دکتر عبدالهیان تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین عکس‌العمل ارقام مختلف در زودرسی و اندازه ریشه، لازم است تحقیقات بسیار بیشتری در این خصوص صورت گیرد. این مطالعه بهتر است با سایر فاکتورها و تکرار در مکان‌های دیگر اعتبار سنجی گردد.

References

- Alami, L., Terouzi, W., Otmani, M., Abdelkhalek, O., Salmaoui, S. and Mbarki, M., 2021. Effect of sugar beet harvest date on its technological quality parameters by exploratory analysis. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 6639612. <https://doi.org/10.1155/2021/6639612>
- Anonymous., 2020. Information bank of database and statistic of agricultural Jihad organization. Ministry of Agriculture. [In Persian].
- Basso, B. and Liu, L., 2019. Seasonal crop yield forecast: Methods, applications, and accuracies. *Advances in Agronomy*, 154, pp.201-255. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.11.002>
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Total Nitrogen. In A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis. Part II. 2nd Ed.* Monograph No. 9. American Society of Agronomy, pp.595-624. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>
- Carter, J.N. and Traveller, D.J., 1999. Effect of time and amount of nitrogen uptake on sugarbeet growth and yield. *Agronomy Journal*, 73, pp.665-671. <https://doi.org/10.2134/agronj1981.00021962007300040023x>
- Curcic, Z., Ciric, M., Nagl, N. and Taski-Ajdukovic, K., 2018. Effect of sugar beet genotype, planting and harvesting dates and their interaction on sugar yield. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1041. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01041>
- Despo, P. and Sficas, A.G., 1978. Bolting, fresh root yield and soluble solids of sugarbeet as affected by sowing date and gibberlin treatment. *Journal of American Society of Sugarbeet Technologists*, 20, pp.115-126. <https://doi.org/10.5274/jsbr.20.2.115>
- Draycott, A.P., Webb, D.J. and Wricht, E.M., 1973. The effect of time of sowing and harvesting on growth, yield and N-fertilizer requirement of sugarbeet, 1. Yield and nitrogen uptake at harvest. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 81, pp.207-275. <https://doi.org/10.1017/s0021859600058925>
- Falvay, A. and Vukov, K., 1977. *Physics and chemistry of sugarbeet in sugar manufacture*. Elsevier Scientific Publishing Company, Hungary, 594 p.
- Gobarah, M., Hussein, M., Tawfik, M.M., Aahmed, A. and Mohamed, Manal., 2019. Effect of different sowing dates on quantity and quality of some promising sugar beet (*Beta vulgaris* L.) varieties under north delta, condition. *Egyptian Journal of Agronomy*, 41, pp.343-354. [10.21608/agro.2019.20126.1197](https://doi.org/10.21608/agro.2019.20126.1197).
- Hadir, S., Gaiser, T., Hugging, H., Athmann, M., Pfarr, D., Kemper, R., Ewert, F. and Seidel, S., 2020. Sugar beet shoot and root phenotypic plasticity to nitrogen, phosphorus, potassium and lime omission. *Agriculture*, 11(1), pp.21-35. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010021>

- Harris, L., Allmaras, R.R., Rhoades, H.F. and Pumphrey, F.V., 1956. Influence of pre-emergence irrigation, planting date, and planting method on the production of sugarbeets in western Nebraska. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*, 9(3), pp.227-232. <https://doi.org/10.5274/jsbr.9.3.226>
- Hoffmann, C.M., 2017. Changes in root morphology with yield level of sugar beet. *Sugar Industry*, 142(7), pp.420-425. <https://doi.org/10.36961/si18549>
- Hull, R. and Webb, D.J., 1970. The effect of sowing date and harvesting date on the yield of sugarbeet. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 75, pp.223-229. <https://doi.org/10.1017/s0021859600016889>
- Islamgulov, D.R., Ismagilov, R.R., Bakirova, A.U., Alimgafarov, R.R., Mukhametshin, A.M., Enikiev, R.I., Akhiyarov, B.G., Ismagilov, K.R., Kamilanov, A.A. and Yagafarov, R.G., 2018. Productivity and technological qualities of sugar beet at different times of harvesting depending on contamination and freezing of root crops. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(8), pp.6533-6540. <https://doi.org/10.1155/2021/6639612>
- Javaheri, M.A., 2022. Effect of sowing and harvesting dates on root yield and some quality characteristics of sugar beet. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), pp.321-331. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.336164.1219>
- Karimi, M., 2020. Management of reducing water consumption in sugar beet. *Agricultural Education Publications*. [In Persian].
- Khajeh Poor, M.R., 2011. *Industrial Crops*. Jihad Daneshgahi Publications of Esfahan. [In Persian].
- Khan, I., Iqbal, M. and Hashim, M.M., 2018. Physicochemical characteristics and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cv. "California-KWS" influenced with irrigation intervals. *Sarhad Journal of Agriculture*, 35, pp.57-69. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.1.57.69>
- Khan, N., Qasim, M., Ahmed, F., Khan, R., Khanzada, A. and Khan, B., 2002. Effect of sowing date on yield of maize under agroclimatic condition of Kaghan valley. *Asian Journal of Plant Science*, 1(2), pp.140-147. <https://doi.org/10.3923/ajps.2002.146.147>
- Kiskini, A., Vissers, A., Vincken, J.P., Gruppen, H. and Wierenga, P.A., 2016. Effect of plant age on the quantity and quality of proteins extracted from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(44), pp.8305-8314. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03095>
- Kolivand, M., 1988. *Sugar beet cultivation*. Sugar Beet Seed Breeding and Preparation Research Institute. [In Persian].
- Lee, G.S. and Schmehl, W.R., 1988. Effect of planting date and nitrogen fertility on appearance and senescence of sugar beet leaves. *Journal of Sugar Beet Research*, 25, pp.28-41. <https://doi.org/10.5274/jsbr.25.1.28>
- Lee, G.S., Dunn, G. and Schmehl, W.R., 1987. Effect of date of planting and N fertilization on growth components of sugarbeet. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*, 24, pp.81-99. <https://doi.org/10.5274/jsbr.24.1.80>
- Mohammadian, R., Ghasemi, H., Bazrafshan, M., Moharamzadeh, M. and Mehdikhani, P., 2014. Identification of morpho-physiological traits affecting white sugar yield in sugar beet. *Journal of Plant Physiology*, 4, pp.23-34

- Nikpanah, H., Taleghani, D.F., Noormohammadi, G. and Khodadadi, S., 2010. Study of effects of planting and harvesting dates on quantity and quality of monogerm sugarbeet seed in Firoozkooh, Iran. *Plant Ecophysiology*, 2, pp.37-45. [In Persian].
- Noshad, H., Ronaghi, A.M. and Karimian, N.A., 2001. Improvement of nitrogen fertilizer utility in corn planting with measuring soil NO₃ and leaf chlorophyll. *Agriculture Science and Technology*, 5(3), pp.65-77. [In Persian].
- Paul, S.K., Joni, R.A., Sarkar, M.A.R., Hossain, M.S. and Paul, S.C., 2019. Performance of tropical sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as influenced by date of harvesting. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4(1), pp.19-26. <https://doi.org/10.26832/24566632.2019.040103>
- Paul, S.K., Paul, S.C., Sarkar, M.A.R. and Hossain, M.S., 2018b. Influence of integrated nutrient management on the growth, yield and sugar content of tropical sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Pakistan Sugar Journal*, 33(2), pp.11-22
- Paul, S.K., Paul, U., Sarkar, M.A.R. and Hossain, M.S., 2018a. Yield and quality of tropical sugarbeet as influenced by variety, spacing and fertilizer application. *Sugar Tech*, 20(2), pp.175-181. <https://doi.org/10.1007/s12355-017-0545-3>
- Puglisi, I., Barone, V., Fragalà, F., Stevanato, P., Baglieri, A. and Vitale, A., 2020. Effect of microalgal extracts from *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda* on germination of *Beta vulgaris* seeds. *Plants*, 9, 675. <https://doi.org/10.3390/plants9060675>
- Rasovsky, M., Pacuta, V., Ducsay, L. and Lenicka, D., 2022. Quantity and quality changes in sugar beet (*Beta vulgaris* Provar. Altissima Doel) induced by different sources of biostimulants. *Plants*, 11(17), pp.2222-2239. <https://doi.org/10.3390/plants11172222>
- Rezaei, J. and Fasahat, P., 2022. Autumn-Sown Sugar Beet Cultivation in Semiarid Regions. In *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing* (pp.275-290). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_14
- Rezaei, K., Zare, M.J., Hossein Panahi, F., Bakhshandeh, A. and Hosseinpour, M., 2019. Investigation of the effect of growth period duration on quality and quantity yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under autumn cultivation in Ilam province. *Journal of Plant Process and Function*, 9(38), 178-200. [In Persian].
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berłowska, J., Dziugan, P., Piotrowski, J., Stanishevsky, A. and Witońska, I., 2018. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advances*, 8(6), pp.3161-3177. <https://doi.org/10.1039/c7ra12782k>
- Wegener, U., 2004. Personal communications. <http://www.nordzucker.de>
- Wilson, R.G., Smith, J.A. and Miller, S.D., 2001. *Sugar beet production guide*. University of Nebraska, 210 p.
- Winner, C., 1982. *Zuckerrubensbau*. Frankfurt: DLG-Verlag

Biochar mitigates the adverse effects of saline water irrigation on loam and sandy loam agricultural soils in the Sistan plain

Ehsan Salari ^a, Masoomeh Delbari ^{*b}, Abdolrahman Rahimian Boogar ^c, Peyman Afrasiab ^b

^a Ph.D Student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

^b Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

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

*Corresponding Author: masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

Received: 27 August 2025

Accepted: 17 October 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.545393.1512

How to cite this article:

Salari, E., Delbari, M., Mohkami, Z., Rahimian Boogar, A. and Afrasiab, P., 2025. Biochar mitigates the adverse effects of saline water irrigation on loam and sandy loam agricultural soils in the Sistan plain. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 593-606.

<https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.545393.1512>

Abstract

Introduction: Soil and water salinity is one of the major environmental and agricultural challenges, particularly in arid and semi-arid regions, leading to reduced soil fertility and crop productivity. Increasing salinity of irrigation water significantly affects the physical and chemical properties of agricultural soils, causing changes and degradation in soil structure. This study aimed to investigate the effect of biochar as a soil amendment on mitigating the adverse impacts of saline irrigation water on the physical and chemical properties of two soil textures: loam and sandy loam, under different salinity levels.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted in a completely randomized block design under greenhouse conditions at the University of Zabol. The experiment included three factors: Soil texture: loam and loamy sand, Irrigation water salinity: at four levels (0.8, 4, 8, and 12 dS/m), and Biochar amendment: at four levels (0%, 1%, 3%, and 5% by volume mixed with the soil). The biochar used in this study was produced from one-year-old grapevine stems, which were crushed, sieved, and mixed with the soil. The measured parameters included electrical conductivity (EC), pH, bulk density, cation exchange capacity (CEC), saturated hydraulic conductivity, and the accumulation of sodium (Na), magnesium (Mg), and potassium (K) in the soil.

Results and Discussion: The results showed that increasing irrigation water salinity significantly raised soil EC, with a more pronounced increase in loam soil compared to sandy loam. Salinity had little effect on bulk density and pH but led to an increase in cation exchange capacity. Although sodium levels rose in both soil textures due to salinity, magnesium and potassium levels remained stable. Applying biochar reduced soil EC, especially in sandy loam, where 3% and 5% biochar treatments caused the greatest reduction, indicating decreased salt buildup due to biochar. Neither saline irrigation nor biochar application significantly changed soil pH in either soil type. However, biochar notably decreased exchangeable sodium at higher salinity levels in both loam and sandy loam soils. Additionally, biochar reduced soil bulk density and enhanced water retention. The greatest decrease



in bulk density of the loam texture was observed in treatments with 3% and 5% biochar under irrigation conditions using water with a salinity of 4 dS/m. Additionally, the 1% biochar treatment showed a significant reduction in density under a salinity level of 12 dS/m. The highest decrease in bulk density of the sandy loam texture occurred in the 5% biochar treatment under irrigation with water having salinity levels of 4 and 8 dS/m. Biochar significantly increased soil CEC in both soil types under various salinity levels, with more substantial effects in loam soil. Hydraulic conductivity in sandy loam was significantly affected by both salinity and biochar treatments. Rising irrigation water salinity had different impacts on sodium, magnesium, and potassium accumulation in the two soils. The application of 3% and 5% biochar markedly decreased exchangeable sodium. Magnesium accumulation was higher in loam soil at higher salinity levels, and biochar's effect on magnesium depended on salinity level, biochar amount, and soil type. Notably, at 12 dS/m salinity, 5% biochar significantly reduced magnesium buildup. In contrast, potassium accumulation was unaffected by either salinity or biochar.

Conclusion: Overall, the results of this study indicate that biochar can be considered as an effective soil amendment for improving the physical and chemical properties of soil under saline irrigation conditions. Biochar application can play a vital role in managing soil salinity and enhancing plant tolerance to salinity stress, particularly in lighter-textured soils such as sandy loam.

Keywords: Electrical conductivity, Exchangeable sodium, Sandy loam soil, Soil amendment, Soil physico-chemical properties, Water salinity

بیوپچار و کاهش اثرات منفی آبیاری با آب شور در خاک‌های زراعی لوم و لوم‌شنی در دشت سیستان

احسان سالاری^۱، معصومه دلبری^{۲*}، عبدالرحمن رحیمیان بوگر^۲، پیمان افراسیاب^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- گروه مهندسی علوم آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

* مسئول مکاتبه: masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.545393.1512

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵

چکیده

شوری آب آبیاری از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این پژوهش، اثر بیوپچار بر کاهش اثرات مخرب شوری آب آبیاری بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو بافت خاک بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت گلدانی در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل انجام شد. تیمارها شامل بافت خاک (لوم و لوم‌شنی)، شوری آب در چهار سطح (۰/۸، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر) و بیوپچار در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) بودند. افزایش شوری آب آبیاری هدایت الکتریکی خاک را به‌طور معنی‌داری به‌ویژه در خاک لوم افزایش داد. شوری تأثیر محسوسی بر چگالی ظاهری و pH نداشت، اما موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و سدیم تبادلی شد، درحالی‌که تغییر منیزیم و پتاسیم معنی‌دار نبود. بیوپچار سبب کاهش هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری و سدیم تبادلی و از طرفی افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداشت آب شد. کمترین هدایت الکتریکی و چگالی ظاهری در خاک لوم شنی و بیشترین ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک لوم مشاهده شد. هدایت هیدرولیکی خاک لوم‌شنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری و بیوپچار قرار گرفت، اما در خاک لوم تغییر قابل‌ملاحظه‌ای نداشت. تیمارهای ۳ و ۵ درصد بیوپچار موجب کاهش سدیم تبادلی و در شوری بالا باعث کاهش منیزیم شدند، ولی پتاسیم تغییر معنی‌داری نداشت. طبق نتایج این پژوهش، بیوپچار اصلاح‌کننده‌ای موثر برای بهبود ویژگی‌های خاک و کاهش اثرات نامطلوب شوری آب آبیاری، به‌ویژه در خاک‌های سبک‌تر مانند لوم‌شنی است.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده خاک، خاک لوم‌شنی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، سدیم تبادلی، شوری آب، هدایت الکتریکی

مقدمه

نیمه‌خشک که میزان تبخیر بالا و بارندگی سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است، این فرآیندهای طبیعی منجر به انباشت نمک در خاک و منابع آبی می‌شوند. درمقابل، شوری ثانویه به‌طور عمده در اثر استفاده از آب شور در آبیاری، زهکشی ناکارآمد، مدیریت نامناسب منابع آب و مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی ایجاد می‌شود. افزایش شوری خاک باعث تخریب ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک شده و رشد و نمو و عملکرد گیاهان را به شدت تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد (Li et al., 2023). وجود مقادیر بالای سدیم سبب پراکندگی ذرات خاک و تخریب ساختار آن شده، که این فرآیند منجر به کاهش نفوذ ریشه و ذخیره آب در لایه‌های عمقی خاک می‌شود (Mohanavelu et al., 2021). شوری همچنین با تغییر در ویژگی‌های خاک، مانند افزایش هدایت الکتریکی (EC)، واکنش (pH) و غلظت یون‌های

ارتباط میان گیاه، خاک و آب نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد گیاهان و میزان تولید محصولات کشاورزی دارد (Ben Ali et al., 2021). شوری آب و خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش حاصلخیزی خاک و بهره‌وری محصولات دارد (El-Agrodi et al., 2012; Tarolli et al., 2024). شوری خاک به دو دسته اصلی شوری اولیه (طبیعی) و شوری ثانویه (ناشی از فعالیت‌های انسانی) تقسیم می‌شود (Tomaz et al., 2020). شوری اولیه به‌طور عمده تحت تأثیر عواملی مانند وجود آب‌های زیرزمینی با منشأ دریایی، رسوب نمک‌های دریایی توسط باد و یا نشت و تجمع نمک در سطح خاک شکل می‌گیرد. در مناطق خشک و

EC و سدیم قابل تبادل را کاهش دهد (Singh et al., 2022; Wang et al., 2024a). همچنین در خاک‌های اسیدی، بیوچار موجب بهبود تخلخل، تنظیم اسیدیته و ارتقای حرکت املاح شده است (Huang et al., 2023). در شرایط شور، افزایش EC، کاهش کربن آلی، کاهش توان جذب آب، و افت حاصلخیزی خاک از جمله عوامل محدودکننده رشد گیاه هستند. مطالعات متعددی نقش بیوچار را در کاهش اثرات منفی شوری خاک و افزایش مقاومت گیاهان از طریق افزایش رطوبت خاک و کاهش غلظت عناصری مانند سدیم، سولفات و کلر تأیید کرده‌اند (Wang et al., 2024b; Xu et al., 2025). با این حال، بیشتر مطالعات گذشته، تأثیر بیوچار را به صورت کلی در خاک شور بررسی کرده و کمتر به تأثیر آن در شرایط استفاده از آب شور در سطوح مختلف پرداخته‌اند. با توجه به ضرورت استفاده بهینه از منابع آبی با کیفیت پایین و همزمان حفظ حاصلخیزی خاک، بررسی نقش بیوچار در شرایط آبیاری با آب شور اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شرایط کاربرد آب شور و تحلیل روابط متقابل میان این ویژگی‌ها است.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی و اقلیمی محل انجام پژوهش

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل واقع در جنوب شرقی کشور انجام شد. شهرستان زابل با وسعتی برابر با ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۶۰ تا ۶۱ درجه و ۱۵ تا ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۳۱ درجه و ۵ تا ۲۸ دقیقه در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است (KarimiNazar et al., 2010). این شهرستان از سمت شمال و شرق با کشور افغانستان، از جنوب با شهرستان زاهدان، و از غرب و شمال غربی با دشت لوت و شهرستان نهبندان در استان خراسان جنوبی هم‌مرز است. شهرستان زابل از نظر اقلیمی دارای آب‌وهوای بیابانی گرم و خشک است و رژیم رطوبتی خاک اریدریک و رژیم دمایی آن هایپرترمیک است (Sistan and Baluchestan Regional Water Joint Stock Company, 2015). میانگین بلندمدت بارندگی سالیانه در این منطقه حدود ۵۵

محلول بر تخلخل، چگالی ظاهری، هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک اثر می‌گذارد (El-Agrodi et al., 2012; Ben Ali et al., 2021). استفاده طولانی مدت از آب شور می‌تواند باعث تخریب ساختمان و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شود (Adhikari et al., 2012). هرچند برخی یون‌ها مانند کلسیم و منیزیم ممکن است به‌طور موقت برخی ویژگی‌های خاک را بهبود دهند، تجمع بیش از حد سدیم و منیزیم در نهایت تأثیرات منفی بر رشد گیاهان دارد (Lakhdar et al., 2023).

یکی از راهکارهای مقابله با شوری، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک با هدف کاهش چگالی ظاهری، بهبود ساختار و تعدیل واکنش خاک است (Zhe et al., 2023). بیوچار که یک فرآورده‌ی کربنی پایدار حاصل از پیرولیز مواد آلی مانند بقایای گیاهی، کودهای دامی و لجن فاضلاب در شرایط دمای بالا و محیط بی‌هوازی است، در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به‌خود جلب کرده است. ساختار آروماتیک پایدار، سطح ویژه بالا و ظرفیت جذب قابل توجه بیوچار، آن را به گزینه‌ای کارآمد برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تبدیل کرده است (Muñoz et al., 2016; Parmar et al., 2014). افزودن بیوچار به خاک می‌تواند موجب کاهش چگالی ظاهری، بهبود بافت و ساختار خاک، افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها، ارتقای ظرفیت نگهداری آب و بهبود هدایت هیدرولیکی شود (Lim et al., 2016; Zanutel et al., 2024). بیوچار با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، بهبود توان نگهداری آب و کاهش فراهمی یون‌های مضر مانند سدیم، نقش بسزایی در کاهش تنش شوری ایفا می‌کند (Zhang et al., 2019). همچنین، افزودن بیوچار به خاک‌های شور و قلیا موجب بهبود ساختار خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و در نهایت ارتقاء رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Nyambo et al., 2023). ویژگی‌هایی همچون تخلخل، غنای کربنی، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای مواد مغذی، باعث شده بیوچار منحنی رطوبتی خاک را بهبود بخشیده و جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش دهد (Ismail et al., 2023). مطالعات نشان داده‌اند که افزودن بیوچار به خاک می‌تواند CEC، کربن آلی، فسفر، پتاسیم و کلسیم خاک را افزایش داده و در برخی موارد،

شدن، در کوره با دمای ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس و در شرایط بی‌هوازی پیرولیز شدند (Khaledi et al., 2023). بیوپچار حاصل بدون هیچ فرآوری اضافی، به‌صورت مستقیم با خاک مخلوط گردید. دو نوع خاک لوم و لوم‌شنی، که از بافت‌های غالب اراضی کشاورزی دشت سیستان هستند، به‌عنوان بستر کشت انتخاب شدند. خاک‌ها پس از جمع‌آوری و الک شدن، در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۲۲ سانتی‌متر با حجم ۷ لیتر به‌طور یکنواخت ریخته شدند. آبیاری با آب شور براساس تیمارها هر هفت روز یکبار انجام شد. مشخصات اولیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

میلی‌متر گزارش شده است و دمای هوا نیز در طول سال بین منفی ۱۰ تا مثبت ۵۰ درجه سلسیوس نوسان دارد (Kashki et al., 2020).

روش پژوهش

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار، طی شش ماه در گلخانه دانشگاه زابل اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل (۱) شوری آب آبیاری در چهار سطح (۰/۸، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و (۲) بیوپچار در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی خاک) بودند، که در دو بافت خاک لوم و لوم‌شنی به‌طور جداگانه انجام شد. برای تهیه بیوپچار، ساقه‌های یک‌ساله انگور پس از خشک

جدول ۱- مشخصات اولیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده

Table 1- Basic physical and chemical properties of the soils used

بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	شوری (dS/m)	واکنش خاک	چگالی ظاهری Bulk density (gr/cm ³)	سدیم (mg/l)	کلسیم (mg/l)	منیزیم (mg/l)	پتاسیم (mg/l)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	هدایت هیدرولیکی Hydraulic conductivity (cm/hr)
لوم Loam	35.6	41.6	22.8	2.78	7.95	1.72	338.55	13.03	90.56	27.78	20.79	0.87
لوم شنی Sandy-loam	70	16	14	1.92	8.62	1.4	234.89	6	34.89	26.02	12.86	2.75

طیف‌سنجی جذب لثمی (مدل Shimadzu AA-7000) اندازه‌گیری شد (Suzuki et al., 1965).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. در ابتدا داده‌ها با آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) بررسی شدند. مقایسه میانگین تیمارها با توجه به اختلاف مقادیر صفات اولیه در دو بافت مختلف لوم و لوم‌شنی، برای هر یک از خاک‌های زراعی مورد استفاده به‌طور جداگانه انجام شد و تعیین تفاوت‌های معنی‌دار با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

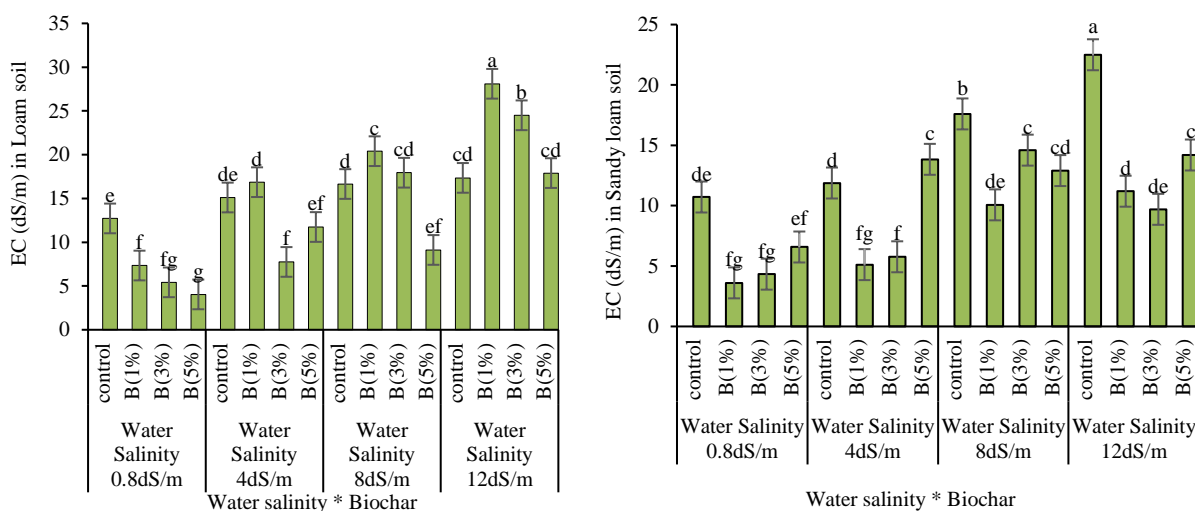
نتایج نشان داد که افزایش شوری آب آبیاری منجر به افزایش شوری خاک نسبت به مقادیر اولیه در هر دو بافت شد. این افزایش EC به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع بافت خاک و

سنجش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

در انتهای دوره آزمایش نمونه‌های خاک از گلدان‌ها برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از تهیه عصاره‌ی اشباع، هدایت الکتریکی (EC) و واکنش خاک (pH) به‌ترتیب با استفاده از دستگاه EC متر و pH متر اندازه‌گیری شدند. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به‌روش استاندارد محاسبه شد (Sparks et al., 1996). هدایت هیدرولیکی خاک به‌روش بار افتان در آزمایشگاه تعیین شد (Lee, 2024). چگالی ظاهری به‌روش استوانه اندازه‌گیری شد (Dane and Topp, 2002). برای اندازه‌گیری پتاسیم، سدیم و منیزیم، ابتدا عصاره اشباع خاک با محلول استات آمونیوم (نسبت ۱۰:۱) تهیه شد. سپس غلظت پتاسیم و سدیم با دستگاه فلیم‌فتمتر دیجیتال (مدل PFP7، ساخت شرکت JENWAY انگلستان) اندازه‌گیری شد (Helmke and Sparks, 1996). غلظت منیزیم با روش

برای تیمار ۵ درصد بیوپچار و شاهد به دست آمد، در حالی که برای خاک لوم‌شنی برای تیمارهای ۱ و ۳ درصد بیوپچار به دست آمد. بررسی‌های دیگری نشان داده‌اند که استفاده از بیوپچار می‌تواند EC خاک و تنش شوری را کاهش دهد (Qasim et al., 2024; Kong et al., 2021; Hammer et al., 2015). این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که مصرف بیوپچار در مقادیر بالا (بیش از ۳۰ تن در هکتار) ممکن است باعث شور و سدیمی شدن خاک شود (Song and Guo, 2012; Fernandes et al., 2018). همسو است. در بررسی حاضر، کاربرد ۵ درصد بیوپچار در خاک لوم‌شنی تأثیر کمتری بر کاهش EC نسبت به سطوح ۱ و ۳ درصد داشت. با این وجود، در سطوح بالای شوری آب آبیاری (۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) افزایش مقدار بیوپچار از ۱ درصد به ۵ درصد تأثیر مثبت و معنی‌داری در کاهش EC خاک لوم داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار بیوپچار لازم برای کنترل EC در خاک لوم‌شنی نسبت به خاک لوم کمتر است.

سطح شوری آب قرار داشت (شکل ۱). مطالعات پیشین نیز گزارش کرده‌اند، تغییرات EC بستر کشت وابسته به سطح شوری آب و نوع بافت خاک است (Jahantigh and Jahantigh, 2023; Cheraghi et al., 2020; Choudhary et al., 2006). کاربرد آب شور با سطوح ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش معنی‌دار EC خاک لوم نسبت به شرایط آبیاری با آب شور ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر شد. کاربرد بیوپچار در سطوح ۱ و ۳ درصد ترکیب بستر کشت در برخی سطوح شوری منجر به افزایش معنی‌دار EC خاک لوم شد، اما این روند کلی نبود (شکل ۱). این در حالی است که سطح ۵ درصد بیوپچار در اغلب تیمارهای آب شور، شوری خاک را در خاک لوم کاهش داده است. در خاک لوم‌شنی بیشترین افزایش EC در تیمار آبیاری با آب دارای شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد، در حالی که کاربرد سطوح مختلف بیوپچار منجر به کاهش شوری شد (شکل ۱). در این راستا در تیمار سطح شوری آب ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، کمترین مقدار EC در خاک لوم



شکل ۱- تأثیر مقادیر مختلف بیوپچار بر هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های لوم و لوم‌شنی تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری

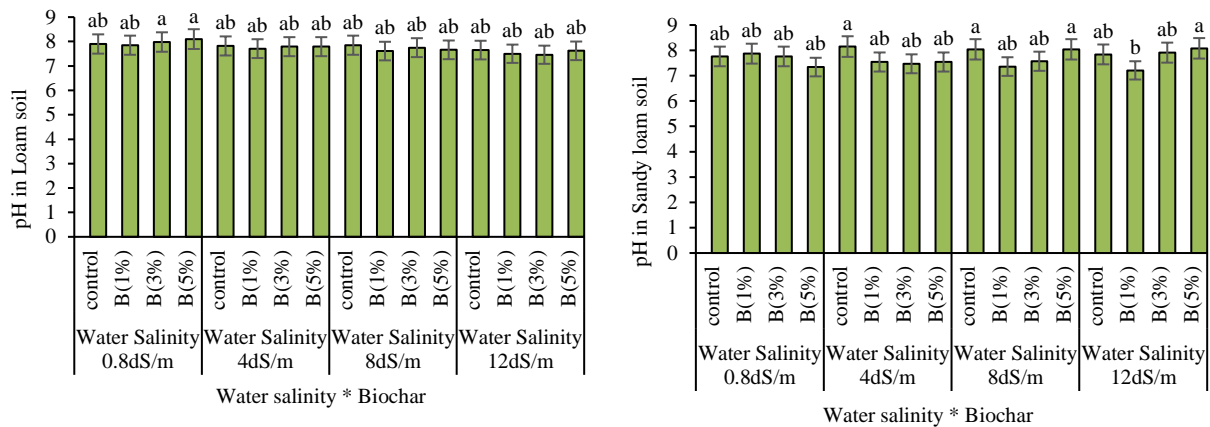
Figure 1- The effect of different biochar amounts on the electrical conductivity (EC) of loam and sandy loam soils under various irrigation water salinity conditions

معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). یافته‌های پژوهش‌های پیشین نیز بیانگر آن است که ویژگی pH خاک معمولاً تحت تأثیر مصرف بیوپچار قرار نمی‌گیرد، هر چند استفاده از بیوپچار می‌تواند اثرات منفی شوری خاک را کاهش دهد (Wang et al., 2024b). تأثیر بیوپچار بر pH زمانی قابل توجه و معنی‌دار است که خاک در محدوده اسیدی قرار داشته باشد

نتایج بررسی حاضر نشان داد که شوری آب آبیاری و کاربرد بیوپچار اثر معنی‌داری بر pH خاک لوم نداشتند (شکل ۲)، در حالی که pH خاک لوم‌شنی در شرایط کاربرد آب دارای شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۱ درصد بیوپچار نسبت به سایر تیمارها کاهش معنی‌داری نشان داد و بین تأثیر سایر سطوح شوری و تیمارهای بیوپچار بر pH خاک لوم‌شنی اختلاف

توضیح دیگر این است که خاک‌های شور معمولاً ظرفیت بافری بالایی دارند و در برابر تغییرات pH ناشی از عوامل خارجی مانند بیوپچار مقاومت می‌کنند (Zheng et al., 2018).

(Hailegnaw et al., 2019). درحالی‌که در خاک‌های شور که اغلب دارای pH اولیه بالا هستند، تأثیر بیوپچار بر تغییرات pH محدود گزارش شده است (Gupta and Gupta, 2014).



شکل ۲- تأثیر مقادیر مختلف بیوپچار بر pH خاک‌های لوم و لوم‌شنی تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری

Figure 2- The effect of different biochar amounts on the pH of loam and sandy loam soils under various irrigation water salinity conditions

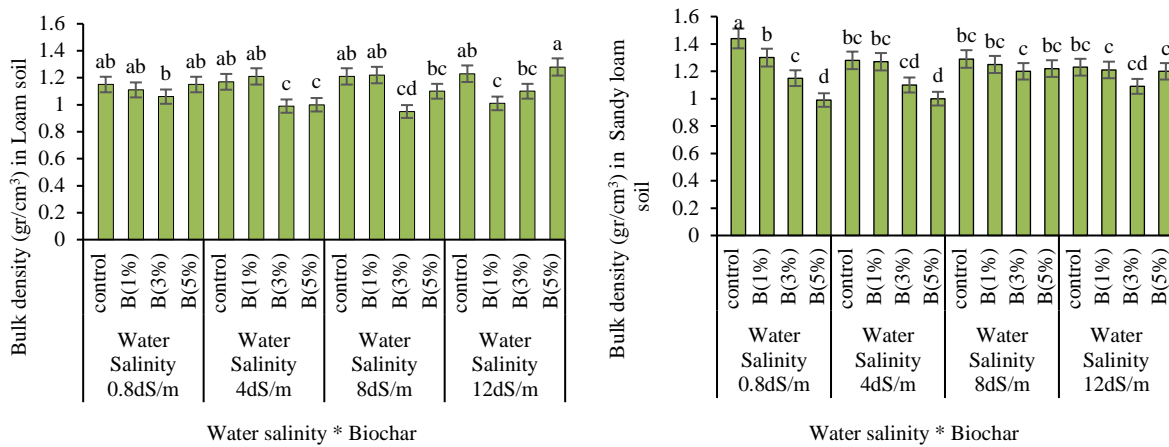
خاک و ویژگی‌های ذاتی بیوپچار وابسته است. این تغییرات موجب بهبود تخلخل و کاهش چگالی ظاهری خاک در شرایط کاربرد آب شور می‌شود (Ben Ali et al., 2021).

کاربرد بیوپچار به‌طور معنی‌داری موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در هر دو نوع خاک و تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری شد (شکل ۴). نتایج نشان داد که با افزایش سطح بیوپچار از ۱ درصد به ۵ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار CEC برای بافت لوم در تیمار ۵ درصد بیوپچار و در شرایط شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و برای بافت لوم‌شنی در تیمار ۵ درصد و شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۴). این نتایج نشان می‌دهد افزودن بیوپچار چوب ساقه انگور با درصد خاکستر متوسط با افزایش سطح ویژه و گروه‌های عاملی دارای بار منفی، CEC خاک را به‌ویژه در شرایط آبیاری با آب شور افزایش می‌دهد؛ با این حال، به‌دلیل CEC اولیه بالاتر و پایداری بیشتر خاک لوم، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک لوم محسوس‌تر از خاک لوم‌شنی بوده است. یافته‌های این تحقیق با نتایج مطالعات پیشین همخوانی دارد. به‌عنوان نمونه، ارزیابی بیوپچارهای حاصل از کود مرغی، پوسته قهوه، خاک اره اکالیپتوس و باگاس نیشکر در خاک‌های آکسی‌سول

نتایج نشان داد که کاربرد بیوپچار اثر معنی‌داری بر کاهش چگالی ظاهری در هر دو بافت لوم و لوم‌شنی دارد، که دلیل آن را می‌توان ناشی از کم‌چگال‌تر بودن ذرات بیوپچار نسبت به خاک و افزایش تخلخل کل خاک در نتیجه تجمع ذرات بیوپچار و بهبود ساختار خاک دانست. بیشترین کاهش چگالی در بافت لوم در تیمار ۳ درصد و ۵ درصد بیوپچار در شرایط آبیاری با آب دارای شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار ۱ درصد بیوپچار در شرایط شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۳). بیشترین کاهش چگالی ظاهری در بافت لوم‌شنی در تیمار ۵ درصد بیوپچار در شرایط کاربرد آب دارای سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد (شکل ۳). مطالعات پیشین نیز بیان کرده‌اند که استفاده از بیوپچار در خاک‌های شنی و لوم‌شنی سبب کاهش چگالی ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک می‌شود (Verheijen et al., 2019). در این پژوهش‌ها مشخص شده است که در خاک شنی، کاربرد بیوپچار در مقادیر کم (۱ درصد) و با ذرات ریز اثرات قابل‌توجهی بر کاهش چگالی دارد، درحالی‌که در خاک لوم‌شنی، این اثرات به‌طور عمده در کاربرد بیوپچار با مقادیر بالاتر (۵ درصد) و ذرات درشت آشکار می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاهش چگالی ظاهری خاک در اثر مصرف بیوپچار، به عواملی مانند تغییرات ساختاری

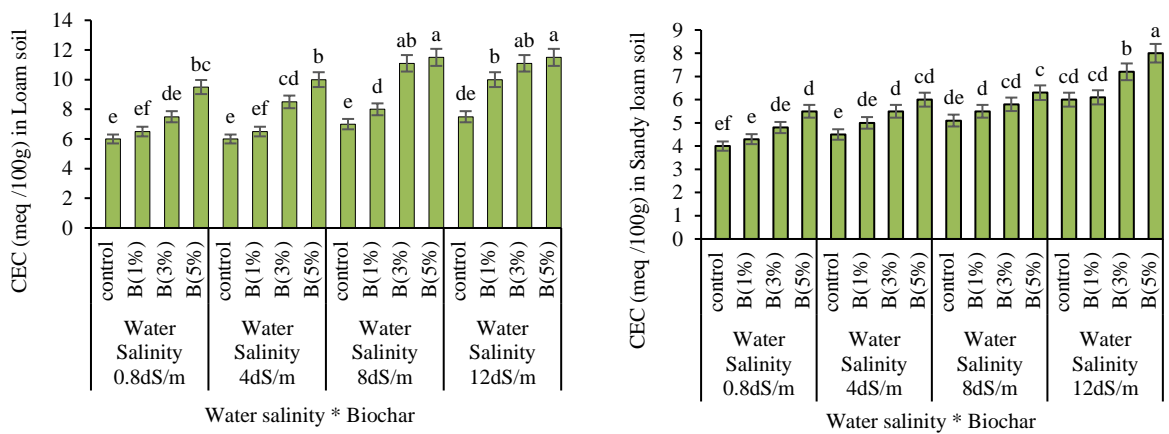
درصد موجب کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی شد، درحالی که بیوچار بستر پرندگان با خاکستر بالا (۴۵/۹ درصد) ظرفیت تبادل کاتیونی را تا ۹۱ درصد افزایش داد (Antonangelo et al., 2024). در مجموع می توان نتیجه گرفت که نوع مواد اولیه تولید بیوچار و مقدار خاکستر آن نقش تعیین کننده ای بر ویژگی های شیمیایی بیوچار داشته و اثرگذاری آن بر دینامیک ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را مشخص می کند.

با بافت رسی و متوسط نشان داد که بیوچارهای کود مرغی و پوسته قهوه به دلیل دارا بودن خاکستر بالا نقش مهمی در افزایش CEC داشتند، درحالی که بیوچارهای خاک اره اکالیپتوس و باگاس نیشکر علی رغم افزایش محتوی کربن آلی خاک، تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت تبادل کاتیونی نشان ندادند (Domingues et al., 2020). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که کاربرد بیوچار حاصل از گیاه چمن ترکه (*Panicum virgatum*) با خاکستر پایین (۴/۴ درصد) به طور متوسط تا ۲۷



شکل ۳- تأثیر مقادیر مختلف بیوچار بر چگالی ظاهری خاک های لوم و لوم شنی تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری

Figure 3- The effect of different biochar amounts on the bulk density of loam and sandy loam soils under various irrigation water salinity conditions



شکل ۴- تأثیر مقادیر مختلف بیوچار بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک های لوم و لوم شنی تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری

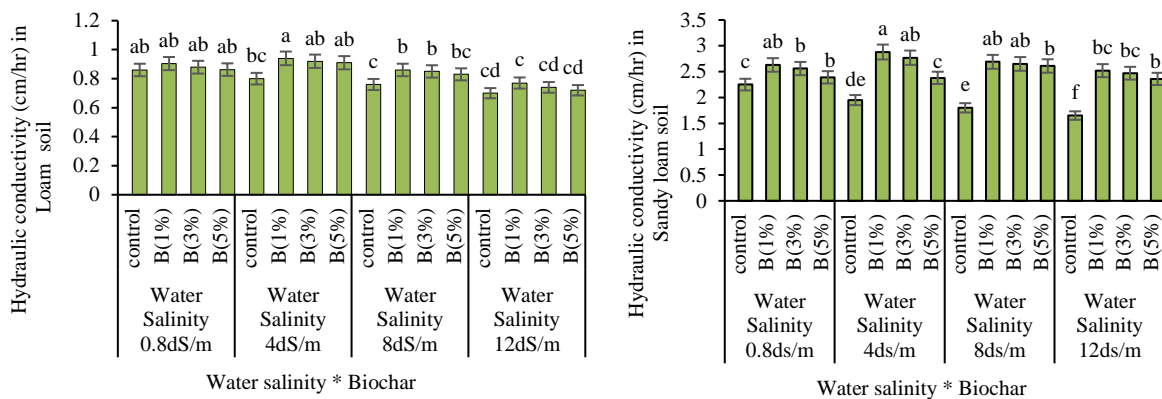
Figure 4- The effect of different biochar amounts on the cation exchange capacity (CEC) of loam and sandy loam soils under various irrigation water salinity conditions

تحت شرایط آبیاری با آب شور، اختلاف معنی داری وجود دارد (شکل ۵). افزایش سطح شوری موجب کاهش معنی دار هدایت

نتایج این پژوهش نشان داد که بین تأثیر تیمارهای مختلف بیوچار بر هدایت هیدرولیکی خاک در دو بافت لوم و لوم شنی

خاک لوم و لوم‌شنی ناشی از تفاوت توزیع اندازه منافذ و نحوه انتقال و تجمع املاح در این دو بافت است. در همین راستا، گزارش شده است که آبیاری با آب شور یا سدیمی موجب کاهش هدایت هیدرولیکی و پراکندگی ذرات رس می‌شود (Adhikari et al., 2012). همچنین تحقیقات نشان داده است که کاربرد بیوپچار با کاهش مقاومت نفوذ خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌دهد (Jia et al., 2024).

هیدرولیکی خاک شد، درحالی‌که افزودن بیوپچار با بهبود ساختار و تخلخل خاک، هدایت هیدرولیکی را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۵). افزودن بیوپچار در سطوح شوری متوسط (۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) هدایت هیدرولیکی را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد، ولی در شوری بسیار بالا (۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) اثر مخرب نمک به‌ویژه در خاک لوم با منافذ ریز و تمرکز نمک در فضای میان‌دانه‌ای، تا حدی مزایای بیوپچار را خنثی کرد. تفاوت مشاهده شده بین



شکل ۵- تأثیر مقادیر مختلف بیوپچار بر هدایت هیدرولیکی خاک‌های لوم و لوم‌شنی تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری

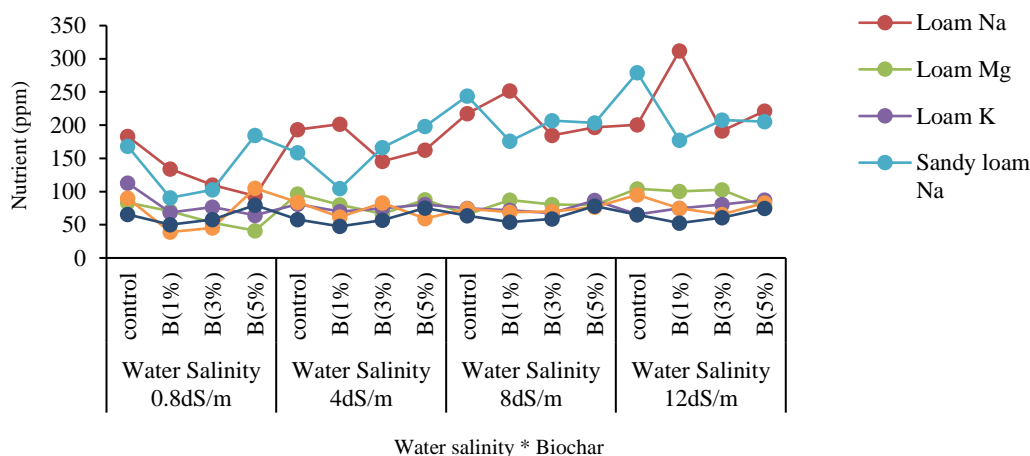
Figure 5- The effect of different biochar amounts on hydraulic conductivity of loam and sandy loam soils under various irrigation water salinity conditions

از بهبود نفوذپذیری و شست‌وشوی جزئی یون‌ها توسط بیوپچار باشد. این نتایج نشان می‌دهد که اثر بیوپچار بر کاتیون‌های تبادل‌ی به ترکیب بافت، شوری و سطح کاربرد آن بستگی دارد و در هر بافت و سطح شوری، مکانیسم غالب ممکن است متفاوت باشد. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که استفاده از بیوپچار می‌تواند منجر به افزایش غلظت کاتیون‌هایی مانند پتاسیم، منیزیم و سدیم و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شود (Huang et al., 2023). در مطالعه حاضر، تغییرات پتاسیم تبادل‌ی نسبت به دو عنصر دیگر (سدیم و منیزیم) کمتر بوده و اثر تیمارهای شوری و بیوپچار بر آن معنی‌دار نبود (شکل ۶). این نتایج با یافته‌های سایر محققان که گزارش کردند افزایش شوری خاک موجب افزایش تجمع املاحی مانند سدیم و منیزیم می‌شود، همخوانی دارد (Lakhdar et al., 2023). همچنین در تحقیقی گزارش شده است که افزودن بیوپچار پوسته برنج به بستر کشت با نسبت حجمی ۳۰ درصد، جذب سدیم را به‌طور معنی‌داری کاهش داده و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه را افزایش می‌دهد (Sudratt and Faiyue, 2023).

بررسی حاضر نشان داد که شوری آب آبیاری و بافت خاک اثر معنی‌داری بر تجمع کاتیون‌های تبادل‌ی (سدیم، منیزیم و پتاسیم) دارند. در شرایط آبیاری با آب غیرشور (۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر)، کاربرد بیوپچار در خاک لوم منجر به کاهش تجمع هر سه کاتیون شد که احتمالاً ناشی از افزایش زهکشی، رقابت کاتیونی و جذب موقت کاتیون‌ها توسط بیوپچار است. در مقابل، در خاک لوم‌شنی با CEC کمتر، تیمار ۵ درصد بیوپچار موجب افزایش تجمع سدیم، منیزیم و پتاسیم تبادل‌ی شد (شکل ۶) که می‌تواند در نتیجه افزایش ظرفیت تبادل‌ی ناشی از بیوپچار و آزادسازی کاتیون‌های خاکستر آن باشد. با افزایش شوری آب آبیاری، سدیم تبادل‌ی روند متفاوتی از منیزیم و پتاسیم نشان داد؛ به‌گونه‌ای که تیمارهای ۳ و ۵ درصد بیوپچار در هر دو بافت، کاهش معنی‌دار سدیم تبادل‌ی نسبت به شاهد را موجب شدند (شکل ۶). در مقابل، اثر شوری و بافت بر تجمع منیزیم بیشتر بود؛ به‌طوری‌که در خاک لوم و در شوری بالا، تجمع منیزیم افزایش یافت، اما در تیمار ۵ درصد بیوپچار کاهش معنی‌دار منیزیم نسبت به شاهد مشاهده شد، که می‌تواند ناشی

موجب کاهش سدیم و کلر محلول و تبادلی شده است (Huang et al., 2022; Zhang et al., 2019). بنابراین، کاربرد بیوچار می‌تواند از طریق کاهش دسترسی سدیم و کلر و افزایش پتاسیم تبادلی، نقش مهمی در کاهش اثرات منفی تنش شوری بر گیاهان ایفا کند.

افزون بر این، پژوهش‌های متعددی استفاده از بیوچار را به‌عنوان اصلاح‌کننده‌ای مؤثر برای تعدیل اثرات منفی شوری معرفی کرده‌اند؛ به‌طوری‌که افزودن بیوچار موجب افزایش پتاسیم محلول و تبادلی و بهبود حاصلخیزی خاک شده است (Nguyen et al., 2018; Phuong et al., 2020). در مواردی



شکل ۶- تأثیر مقادیر مختلف بیوچار بر تجمع عناصر سدیم، منیزیم و پتاسیم در خاک‌های لوم و لوم شنی تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری

Figure 6- The effect of different biochar amounts on the accumulation of sodium, magnesium, and potassium elements in loam and sandy loam soils under various irrigation water salinity conditions

به‌طوری‌که در مقادیر پایین‌تر، بیوچار توانست نقش مؤثرتری در تعدیل اثرات منفی شوری ایفا کند. در مجموع، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده بهینه از بیوچار می‌تواند به‌عنوان یک راهکار کارآمد در مدیریت خاک‌های زراعی تحت تنش شوری عمل کرده و علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، به تعادل عناصر غذایی در خاک‌های با بافت مختلف کمک نماید.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل (کد پژوهانه UOZ-GR-6621) انجام شد که بدین وسیله از آن تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی حاضر نشان داد که شوری آب آبیاری به‌طور معنی‌داری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و میزان این اثرگذاری بسته به بافت خاک و شاخص‌های مورد بررسی متغیر است. بیشترین تأثیر شوری بر هدایت الکتریکی خاک (EC) و کمترین آن بر واکنش خاک (pH) مشاهده شد. نتایج نشان داد که خاک لوم‌شنی نسبت به خاک لوم حساسیت بیشتری به شوری آب آبیاری دارد. کاربرد بیوچار به‌طور معنی‌داری اثرات منفی تنش شوری را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک کاهش داد. هرچند میزان کارایی بیوچار در این زمینه وابسته به نوع خاک و مقدار مصرف بیوچار بود؛

References

- Antonangelo, J.A., Culman, S. and Zhang, H., 2024. Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1371777>

- Adhikari, P., Shukla, M.K. and Mexal, J.G., 2012. Spatial Variability of Hydraulic Conductivity and Sodium Content of Desert Soils: Implications for Management of Irrigation Using Treated Wastewater. *Transactions of the ASABE*, 55(5), pp.1711-1721. <https://doi.org/10.13031/2013.42362>
- Ben Ali, A.R., Yang, H. and Shukla, M., 2021. Brackish groundwater and reverse osmosis concentrate influence soil physical and thermal properties and pecan evapotranspiration. *Soil Science Society of America Journal*, 85(5), pp.1519-1533. <https://doi.org/10.1002/saj2.20281>
- Cheraghi, S.A.M., Dehghanisani, H., Enayati, K. and Shajar, S., 2020. The long term impact of drip irrigation on soil salinity Case Study: Pistachio orchards in Sarvestan plain. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), pp.24-38.
- Choudhary, O.P., Ghuman, B.S., Josan, A.S. and Bajwa, M.S., 2006. Effect of alternating irrigation with sodic and non-sodic waters on soil properties and sunflower yield. *Agricultural Water Management*, 85, 151-156. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.017>
- Dane, J.H. and Topp, G.C. (eds.), 2002. *Methods of soil analysis. Part 4: Physical methods*. Soil Science Society of America Books Series: 5. Madison, WI: Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4>
- Domingues, R.R., Sánchez-Monedero, M.A., Spokas, K.A., Melo, L.C.A., Trugilho, P.F., Valenciano, M.N. and Silva, C.A., 2020. Enhancing Cation Exchange Capacity of Weathered Soils Using Biochar: Feedstock, Pyrolysis Conditions and Addition Rate. *Agronomy*, 10(6), 824. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060824>
- El-Agrodi, M.W.M., Ahmed, G.L. and El-Hamad, M.A., 2012. Effect of different soil salinity levels on some soil properties and wheat plant. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 3(2), pp.175-188. <https://doi.org/10.21608/jssae.2012.53851>
- Fernandes, J.D., Chaves, L.H.G., Mendes, J. de S., Chaves, I. de B. and Tito, G.A., 2018. Soil Chemical Amendments and the Macronutrients Mobility Evaluation in Oxisol Treated With Biochar. *Journal of Agricultural Science*, 10, 238-238. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p238>
- Gupta, S.K. and Gupta, I. C., 2014. *Salt affected soils: reclamation and management*. Scientific Publishers.
- Hammer, E.C., Forstreuter, M., Rillig, M.C. and Kohler, J., 2015. Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. *Applied Soil Ecology*, 96, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.014>
- Huang, K., Li, M., Li, R., Rasul, F., Shahzad, S., Wu, C., Shao, J., Huang, G., Li, R., Almari, S., Hashem, M. and Amer, M., 2023. Soil acidification and salinity: the importance of biochar application to agricultural soils [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1206820>
- Huang, J., Zhu, C., Kong, Y., Cao, X., Zhu, L., Zhang, Y., Ning, Y., Tian, W., Zhang, H., Yu, Y. and Zhang, J., 2022. Biochar application alleviated rice salt stress via modifying soil properties and regulating soil bacterial abundance and community structure. *Agronomy*, 12(2), 409. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020409>

- Helmke, P.A. and Sparks, D.L., 1996. Lithium, Sodium, Potassium and Rubidium. In D.L. Sparks et al. (eds), *Methods of soil analysis, Part 3* (pp. 551-574). ASA-SSA, Madison, WI, USA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c19>
- Huang, K. Li, M., Li, R., Rasul, F., Shahzad, S., Wu, C., ... and Aamer, M., 2023. Soil acidification and salinity: the importance of biochar application to agricultural soils. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1206820. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1206820>
- Ismail, S. A., Badawi, T.A.M.A. and ElSharawy, A.A., 2023. Effect of Applying Biochar on some Soil Chemical Properties, Pathogenic Fungi and Tomato Productivity in North Sinai. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 14*(1), pp.1-9. <https://doi.org/10.21608/jssae.2023.182929.1125>
- Jahantigh, M. and Jahantigh, M., 2023. The effect of saline water and type of irrigation on soil moisture and physico-chemical properties Mansour. *Integrated Watershed Management, 2*(4), pp.67-78. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.1988382.1059>
- Jia, A., Song, X., Li, S., Liu, Z., Liu, X., Han, Z., Gao, H., Gao, Q., Zha, Y., Liu, Y., Wu, X., Wang, G., 2024. Biochar enhances soil hydrological function by improving the pore structure of saline soil. *Agricultural Water Management, 306*, 109170. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109170>
- Hailegnaw, N.S., Mercl, F., Pračke, K., Sz'akov' a, J. and Tlusto's, P., 2019. Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. *Journal of Soils and Sediments, 19*, pp.2405-2416. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02264-z>
- KarimiNazar, M., Moghaddam Nia, A. and Mosaedi, A., 2010. Investigation of climatic factors affecting occurrence of drought (Case study: Zabol Region). *Journal of Water and Soil Conservation, 17*(1), pp.145-158. [In Persian].
- Kashki, A., Karami, M., Baaghideh, M. and Alimoradi, M.R., 2020. Statistical Analysis of Zabol Heat Waves. *Climate Change and Climate Disaster, 1*(1), pp.80-97. [In Persian].
- Khaledi, S., Delbari, M., Galavi, H., Bagheri, H. and Chari, M.M., 2023. Effects of biochar particle size, biochar application rate, and moisture content on thermal properties of an unsaturated sandy loam soil. *Soil and Tillage Research, 226*, 105579. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105579>
- Kong, C., Camps-Arbestain, M., Clothier, B., Bishop, P. and Vázquez, F.M., 2021. Use of either pumice or willow-based biochar amendments to decrease soil salinity under arid conditions. *Environmental Technology & Innovation, 24*, 101849. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101849>
- Lakhdar, A., Trigui, M. and Montemurro, F., 2023. An Overview of Biostimulants' Effects in Saline Soils. *Agronomy, 13*(8), pp.2092. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082092>
- Lee, B.J., 2024. Improvement of field falling-head test and determination of hydraulic conductivity using Darcy's equation. *Scientific Reports, 14*, 17928. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68887-6>
- Li, C., Wang, Z., Xu, Y., Sun, J., Ruan, X., Mao, X., Hu, X. and Liu, P., 2023. Analysis of the Effect of Modified Biochar on Saline-Alkali Soil Remediation and Crop Growth. *Sustainability, 15*(6), pp.5593. <https://doi.org/10.3390/su15065593>

- Lim, T.J., Spokas, K.A., Feyereisen, G., Novak, J.M., 2016. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, 142, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.069>
- Mohanavelu, A., Naganna, S.R. and Al-Ansari, N., 2021. Irrigation Induced Salinity and Sodicy Hazard on Soil and Groundwater: An Overview of Its Causes, Impacts and Mitigation Strategies. *Agriculture*, 11(10), 983. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100983>
- Muñoz, C., Góngora, S. and Zagal, E., 2016. Use of biochar as a soil amendment: a brief review. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Science*, 32(Special Issue 1),37-47.
- Nguyen, B.T., Trinh, N.N., Le, C.M.T., Nguyen, T.T., Tran, T.V., Thai, B.V. and Le, T.V., 2018. The interactive effects of biochar and cow manure on rice growth and selected properties of salt-affected soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(12), pp.1744-1758. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1455186>
- Nyambo, P., Motsi, H., Chiduza, C. and Malobane, M.E., 2023. Biochar ageing improves soil properties, growth and yield of red radish (*Raphanus sativus*) in a Haplic Cambisol. *PLOS One*, 18(7), e0288709. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288709>
- Parmar, A., Nema, P.K. and Agarwal, T., 2014. Biochar Production from Agro-Food Industry Residues: A Sustainable Approach for Soil and Environmental Management. *Current Science*, 107, pp.1673-1682. <https://www.jstor.org/stable/24107941>
- Phuong, N.T.K., Khoi, C.M., Ritz, K., Linh, T.B., Minh, D.D., Duc, T.A., Sinh, N.V., Linh, T.T. and Toyota, K., 2020. Influence of Rice Husk Biochar and Compost Amendments on Salt Contents and Hydraulic Properties of Soil and Rice Yield in Salt-Affected Fields. *Agronomy*, 10(8), 1101. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081101>
- Qasim, S., Gul, S., Buriro, A.H., Shafiq, F. and Ismail, T., 2024. Biochar-based organic fertilizers: Influence on yield and concentration of antioxidants in the stigma of saffron and rhizosphere bacterial diversity of slightly saline and non-saline soils. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 31(3), 103922. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103922>
- Singh, H., Northup, B.K., Rice, C.W. and Prasad, P.V.V., 2022. Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: a meta-analysis. *Biochar*, 4(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00138-1>
- Sistan and Baluchestan Regional Water Joint Stock Company., 2015. Report on the Status of Water Resources in Sistan and Baluchestan Province, 41 p. [In Persian].
- Song, W. and Guo, M., 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, pp.138-145. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018>
- Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., et al. (eds), 1996. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3>

- Sudratt, N. and Faiyue, B., 2023. Biochar Mitigates Combined Effects of Soil Salinity and Saltwater Intrusion on Rice (*Oryza sativa* L.) by Regulating Ion Uptake. *Agronomy*, 13(3), 815. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030815>
- Suzuki, M., Yanagisawa, M. and Takeuchi, T., 1965. Determination of magnesium by atomic-absorption spectrophotometry after extraction. *Talanta*, 12, pp.989-996. [https://doi.org/10.1016/0039-9140\(65\)80198-9](https://doi.org/10.1016/0039-9140(65)80198-9)
- Tarolli, P., Luo, J., Park, E., Barcaccia, G. and Masin, R., 2024. Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. *iScience*, 27(2), 108830. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108830>
- Tomaz, A., Palma, P., Alvarenga, P. and Gonçalves, M.C., 2020. Soil Salinity Risk in a Climate Change Scenario and Its Effect on Crop Yield. In M.N.V. Prasad & M. Pietrzykowski (Eds.), *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 351-396). Elsevier, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00013-8>
- Verheijen, F.G.A., Zhuravel, A., Silva, F.C., Amaro, A., Ben-Hur, M. and Keizer, J. J., 2019. The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma*, 347, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.044>
- Wang, Z., He, M., Lu, X., Meng, Z., Liu, J. and Mo, X., 2024a. Biochar addition can negatively affect plant community performance when altering soil properties in saline-alkali wetlands. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1347658>
- Wang, X., Ding, J., Han, L., Tan, J., Ge, X. and Nan, Q., 2024b. Biochar addition reduces salinity in salt-affected soils with no impact on soil pH: A meta-analysis. *Geoderma*, 443, 116845. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116845>
- Xu, Q., Xu, Y., Xia, H., Han, H., Li, M., Gong, P., Wang, C., Li, Y., Li, P. and Liu, H., 2025. Mitigation of soil salinity by biochar and halophytes. *Geoderma*, 454, 117191. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117191>
- Zanutel, M., Garré, S., Sanglier, P. and Biielders, C., 2024. Biochar modifies soil physical properties mostly through changes in soil structure rather than through its internal porosity. *Vadose Zone Journal*. 23 (1), e20301. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20301> digital object identifier
- Zhang, J., Bai, Z., Huang, J., Hussain, S., Zhao, F., Zhu, C., Zhu, L., Cao, X. and Jin, Q., 2019. Biochar alleviated the salt stress of induced saline paddy soil and improved the biochemical characteristics of rice seedlings differing in salt tolerance. *Soil and Tillage Research*, 195, 104372. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104372>
- Zhe, P., Li, J., Wang, Q. and Shen, J., 2023. Effects of Different Soil Amendments on Soil Physical and Chemical Properties, Rice Yield, and Economic Benefits in Low-lying Saline Alkali Land in Northern Shaanxi. *Research Square*, 1-15. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2713554/v1>
- Zheng, H., Wang, X., Chen, L., Wang, Z., Xia, Y., Zhang, Y., Wang, H., Luo, X. and Xing, B., 2018. Enhanced growth of halophyte plants in biochar-amended coastal soil: roles of nutrient availability and rhizosphere microbial modulation. *Plant, Cell and Environment*, 41, pp.517-532. <https://doi.org/10.1111/pce.12944>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 607-625

Effective factors on precipitation use efficiency of dryland wheat and barley genotypes

Alireza Khodashenas ^{*a}

^a North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnord, Iran

*Corresponding Author: khodashenas48@yahoo.com

Received: 22 August 2024

Accepted: 17 January 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.469120.1425

How to cite this article:

Khodashenas, A., 2025. Effective factors on precipitation use efficiency of dryland wheat and barley genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 607-625.
<https://doi.org/10.22034/csrar.2025.469120.1425>

Abstract

Introduction: Available water and its efficient use are the main determinants of yield in agricultural ecosystems specially in dryland farming. This study was conducted in order to evaluate the efficiency of precipitation use of dryland wheat and barley varieties and the factors affecting it.

Material and Methods: Evaluation of the efficiency of precipitation use (efficiency) was done based on two-year experiments (2015-2017) on wheat and barley genotypes in dryland conditions of Mashhad. In these experiments, planting dates (main plots) and genotypes of wheat and barley (subplots) were compared in split plots based on a randomized complete block design with three replications. The results of these experiments were used to calculate the efficiency of rainfall use based on kilograms of production per millimeter of rainfall, after deducting 110 millimeters for evaporation contribution. The resulting data were statistically analyzed using SAS_(8.2) software and the means were compared using Duncan's test.

Results and Discussion: The results showed that under the same environmental conditions, the efficiency of rainfall use (efficiency) of wheat and barley genotypes had a significant difference, and the highest and lowest efficiency in wheat genotypes was allocated to Karim and Line 14, with the rate of 9.6 and 4.3 kg of grain for each mm of rainfall, respectively. The highest and lowest efficiency in barley genotypes was recorded for Mahoor and Ansar cultivars, at the rate of 17.7 and 7.9 kg of grain per mm of rainfall, respectively. The difference between the two crops in terms of efficiency was considerable, so that the superiority of the highest efficiency of barley genotypes compared to the wheat cultivar of Karim (the highest efficiency for wheat cultivars) was 84.3%. The results showed that temperature is one of the most effective factors in improving efficiency, and on average, for each °C increase in temperature, the mean efficiency of wheat and barley genotypes decreased by 0.83 and 1.06 kg/ha per millimeter of rainfall, respectively. Among wheat genotypes, the Karim wheat cultivar, and among barley genotypes Mahoor barley cultivar started spring growth faster. The biomass growth rate of wheat genotypes was in the range of 84-106 kg/ha per day, and the biomass growth rate of barley genotypes was in the range of 136-166 kg/ha per day, but the difference between genotypes was not significant. The highest grain growth rate of wheat and barley genotypes was recorded for the Aftab wheat cultivar and the Khorram barley cultivar at the rate of 78.6 and 122 kg/ha per day, respectively. The time of pollination and the harvest index also played an important role in improving



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

the efficiency of wheat and barley genotypes. So, every day of delay in pollination according to the average rate of seed production in wheat and barley genotypes, results in a reduction of 52.9 and 90.8 kg of grain per hectare, respectively. The highest harvest index was recorded for Karim wheat and Mahur barley cultivars, at 36.3 and 43.6, respectively, and the harvest index of barley varieties was greater than that of wheat varieties. Despite the effective role of each of the traits, superiority in one trait did not play a significant role in reaching efficiency, and the Mahoor cultivar with highest efficiency had a favorable status in terms of all traits.

Conclusion: It seems that by improving the effective traits, the efficiency of spring and winter wheat cultivars as well as winter and spring barley, can be improved according to a pattern similar to the Mahoor cultivar and even more than that. This situation only for wheat will mean an increase in grain yield potential by about 61.5% compared to the current situation of the best wheat variety in this condition.

Keywords: Biomass Growth Rate, Grain Growth Rate, Harvest Index, Pollination, Spring Growth Acceleration

عوامل موثر بر کارایی استفاده از بارندگی ژنوتیپ‌های گندم و جو دیم

علیرضا خدائشناس^{۱*}

۱- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران

* مسئول مکاتبه: khodashenas48@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.469120.1425

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱

چکیده

بهبود کارایی استفاده از بارندگی (کارایی) یکی از استراتژی‌های مهم برای افزایش تولید در کشاورزی و به‌ویژه زراعت دیم است. این مطالعه به‌منظور ارزیابی کارایی رقم‌های گندم و جو دیم و عوامل موثر بر آن و بر مبنای نتایج آزمایشات دو ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۶) روی ژنوتیپ‌های گندم و جو انجام شد. در این آزمایش‌ها تاریخ کاشت و ژنوتیپ‌های گندم و جو به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد مقایسه قرار گرفتند. بیشترین و کمترین کارایی در ژنوتیپ‌های گندم در رقم کریم و لاین ۱۴ و به‌ترتیب به‌میزان ۹/۶ و ۴/۳ و در ژنوتیپ‌های جو برای رقم‌های ماهور و انصار و به‌ترتیب به‌میزان ۱۷/۷ و ۷/۹ کیلوگرم دانه به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی ثبت شد و به‌طور متوسط با هر درجه سلسیوس افزایش دما، کارایی ژنوتیپ‌های گندم و جو به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی کاهش نشان داد. بیشترین سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های گندم و جو برای رقم‌های گندم آفتاب و جو خرم و به‌ترتیب به‌میزان ۷۸/۶ و ۱۲۲ کیلوگرم در روز در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی ثبت شد. هر روز تاخیر در گرده‌افشانی در ژنوتیپ‌های گندم و جو به‌ترتیب منجر به کاهش ۵۲/۹ و ۹۰/۸ کیلوگرم دانه در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی شد. به‌نظر می‌رسد با بهبود صفات موثر، کارایی رقم‌های گندم و جو با الگوی مشابه جو رقم ماهور و حتی به‌میزانی بیش از آن قابل اصلاح است.

واژه‌های کلیدی: تسریع رشد بهاره، سرعت رشد دانه، سرعت رشد زیست‌توده، شاخص برداشت، گرده‌افشانی

مقدمه

میلی‌متر سهم تبخیر تغییر یافت. این مقدار در گزارشات بعدی به ۲۵ کیلوگرم دانه به‌ازای هر یک میلی‌متر بارندگی پس از کسر ۱۲۰ میلی‌متر بارندگی تغییر یافت؛ بالاترین حد کارایی مصرف آب ۳۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر میلی‌متر آب اضافی پس از تبخیر ۱۸۰ میلی‌متر گزارش شده است که ۱۶ درصد بیشتر از تخمین قبلی است (Acuña et al., 2015). در روشی دیگر برای تعیین پتانسیل بهره‌وری از بارندگی، تلفات آب براساس یک تخمین ثابت ۳۰ درصدی از بارندگی فصلی (محاسبه شده از کاشت تا رسیدگی) نسبت به میانگین ثابت ۱۱۰ میلی‌متر بارندگی ارائه شده قبلی است. بر این مبنای تلفات آب حدود ۵۰ میلی‌متر در مناطقی با بارندگی کم و متوسط تا ۱۵۰ میلی‌متر در نواحی پرباران خواهد بود (Anderson, 2010). گزارش دیگری حاکی از آن است که در شرایط مدیریت تولید مطلوب و بدون محدودیت، ارقام گندم جدید بیشترین بهره‌وری آب و به‌میزان ۲/۵ کیلوگرم دانه در هر مترمکعب آب تعرق شده (۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر آب) را دارند. این بالاترین سطح عملکرد بر مبنای تامین آب قابل دسترس طی فصل رشد یک محصول است (Cann et al., 2020).

درحالی‌که امکان گسترش اراضی کشاورزی در حال اتمام است و سازگاری محصولات زراعی به نواحی حاشیه‌ای یک نیاز است، یک جایگزین دیگر، بهبود عملکرد از طریق برنامه‌های به‌نژادی یا استراتژی‌های جدیدی با هدف افزایش کارایی در استفاده از منابع نظیر آب و عناصر غذایی است و در این زمینه افزایش کارایی مصرف آب یک استراتژی است، که به‌طور پتانسیل می‌تواند منجر به افزایش عملکرد دانه شود (Acuña et al., 2015). کارایی استفاده از بارندگی به‌عنوان موثرترین عامل تولید در زراعت دیم، ویژگی برجسته‌ای است که نقش قابل توجهی در تولید مزارع دیم دارد. سوال مفید این است که در شرایط تامین آب مشخص، بهترین عملکردی که می‌توان برداشت کرد چقدر است؟ (Anderson, 2010).

مطالعات اولیه حد بالای کارایی مصرف آب در سیستم‌های زراعت دیم را تولید ۲۰ کیلوگرم گندم در هکتار برای هر میلی‌متر بارندگی پس از حذف ۱۱۰ میلی‌متر سهم تبخیر تعریف نموده است. این مدل سپس طی بررسی‌های بیشتر به ۲۲ کیلوگرم دانه به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی پس از کسر ۶۰

قابلیت تغییر نداشته باشد، اما بهره‌وری از این مقدار آب می‌تواند با توجه به مدیریت مزرعه و در جهت بهبود تولید تغییر کند. با توجه به اهمیت مصرف کارایی آب در تولید محصولات زراعی به‌ویژه غلات دیم، ارزیابی کارایی دو محصول گندم و جو دیم و عوامل موثر بر آن هدف این مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

ارزیابی کارایی مصرف بارندگی ژنوتیپ‌های گندم و جو دیم و عوامل موثر بر آن براساس نتایج آزمایش‌های دو ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۶) روی این دو محصول در شرایط دیم مشهود انجام شد (Khodashenas, 2021a; Khodashenas, 2021b). بر مبنای اطلاعات حاصل از این آزمایش‌ها، کارایی براساس فرمول ۱ محاسبه شده‌است (Acuña et al., 2015):

$$(1) \quad \text{کارایی} = \frac{\text{میلی‌متر سهم تبخیر} - \text{بارندگی سالانه}}{\text{عملکرد دانه}}$$

براساس فرمول ۱ کارایی برای رقم‌های جو و گندم در برخی از مطالعات داخل کشور نیز محاسبه شده‌است. سرعت رشد زیست‌توده و دانه با تقسیم اختلاف وزن بین دو برداشت بر زمان بین دو برداشت و براساس کیلوگرم در هکتار در روز محاسبه شد (Harris et al., 2017).

مدت زمان برای محاسبه زیست‌توده فاصله زمانی از شروع ساقه‌روی تا رسیدگی (زیست‌توده قبل از ساقه‌روی ناچیز بود و در محاسبات لحاظ نگردید) و برای تولید دانه از گرده‌افشانی تا رسیدگی و براساس روز بوده است (Brdar et al., 2008). تجزیه آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS(8.2) انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

رقم و همچنین برهم‌کنش رقم و سال بر کارایی و سرعت رشد دانه گندم تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). در محصول جو کارایی تحت تاثیر معنی‌دار سال، رقم و برهم‌کنش سال و رقم و تاریخ کاشت و رقم قرار داشت، سرعت رشد دانه تحت تاثیر معنی‌دار تاریخ کاشت، رقم و برهم‌کنش رقم و سال بود و سرعت رشد زیست‌توده تنها تحت تاثیر معنی‌دار سال بود (جدول ۲).

کشت اولین محصول گندم در استرالیا توسط مهاجران در سال ۱۷۸۸ میلادی شکست خورد، در سال دوم، برداشت بسیار ناچیز بود و معادل بذری کاشته شده بود. از آن زمان به بعد تلاش کشاورزان برای کاشت بذور گندم از سایر اقلیم‌ها، اهمیت سازگاری مکانی ارقام را نشان داد و متخصصین زراعت و به‌نژادگران، فنولوژی و مورفولوژی محصولات را برای هم‌خوانی محصول با شرایط اقلیمی استرالیا تغییر و اصلاح نمودند (Richards, 1991). بنابراین تغییر در فنولوژی تنها مهم‌ترین عامل برای افزایش عملکرد گندم در استرالیا به‌شمار می‌آید (Loss et al., 1990). در رابطه با هم‌خوانی فنولوژی با شرایط محیطی، یکی از عوامل موثر بر کارایی، شروع رشد سریع بلافاصله پس از رفع سرمای زمستانه است. تسریع در شروع رشد بهاره در شرایط دیم ویژگی مهمی است که منافع متعددی برای محصول خواهد داشت، از جمله اینکه بخش بیشتری از مراحل رشد و نمو محصول در شرایط دمایی و رطوبتی عموماً مطلوب بهاری اتفاق افتاده، همچنین سطح خاک سریع‌تر پوشش یافته و مسیر تبخیر به نفع تعرق و تولید ماده خشک تغییر خواهد یافت. زمان گلدهی نیز اهمیت حیاتی برای تعیین عملکرد دانه محصولات دانه‌ای دارد زیرا سازگاری گیاه را تعریف می‌کند، انعکاس مناسبی از هم‌خوانی بین شرایط محیطی پویای فصلی (که ممکن است اثر مثبت یا منفی داشته باشند) و نیازهای محصول برای تشکیل و تحقق عملکرد است. گرده‌افشانی زودهنگام شرایط محیطی مناسب‌تری برای پرشدن دانه فراهم می‌کند و باعث می‌شود که زمان کافی برای پرشدن تدریجی دانه و اجتناب از دماهای بالای اقلیم خشک و تنش‌های حرارتی در دسترس باشد (Brdar et al., 2008).

درک مبنای اکوفیزیولوژیکی برای بهبود مدیریت منابع به‌طور فزاینده‌ای طی دهه اخیر اهمیت یافته است (Cossani et al., 2012).

در این رابطه ویژگی‌های ژنوتیپ‌های محصولات زراعی نیز اهمیت بسیاری دارد و در سازگاری با شرایط محیطی، بهره‌وری از عوامل تولید از جمله بارندگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آب قابل دسترس و کارایی استفاده از آب، تولید دانه را در کمربند گندم استرالیا محدود می‌کند (Rodriguez and Sadras, 2007). این وضعیت در مزارع دیم کشور ما نیز ملاحظه می‌شود. گرچه آب قابل دسترس در هر فصل زراعی ممکن است

جدول ۱- سطوح معنی‌داری حاصل از تجزیه واریانس برای تیمارهای مورد بررسی گندم

Table 1- P values from the analysis of variance for wheat treatments

منابع تغییرات	درجه آزادی	بهره‌وری آب	سرعت رشد دانه	سرعت رشد زیست‌توده
Source of variations	df	Water productivity	Kernel growth rate	Biological growth rate
رقم Cultivar	11	<.0001	<.0001	ns
سال × رقم Year×Cultivar	11	0.0095	0.0002	ns

ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری تیمارها است.

ns: non-significant

جدول ۲- سطوح معنی‌داری حاصل از تجزیه واریانس برای تیمارهای مورد بررسی جو

Table 2- P values from the analysis of variance for barley treatments

منابع تغییرات	درجه آزادی	بهره‌وری آب	سرعت رشد دانه	سرعت رشد زیست‌توده
Source of variations	df	Water productivity	Kernel growth rate	Biological growth rate
سال Year	1	0.0484	ns	0.0054
تاریخ کاشت Planting date	1	ns	0.0315	ns
رقم Cultivar	11	<.0001	<.0001	ns
سال × رقم Year×Cultivar	11	0.0029	0.0007	ns
سال × تاریخ کاشت Planting date×Cultivar	11	0.0405	ns	ns

ns نشان‌دهنده عدم معنی‌داری تیمارها است.

ns: non-significant

کارایی

مقدار مناسب است اما میانگین کارایی رقم‌های مختلف گندم دیم در کشور و نیز میانگین درصد نسبت به پتانسیل مورد انتظار به ترتیب ۹/۹۵ و ۴۹/۸ درصد است، ارقامی که بسیار نزدیک به بهترین نتایج در این مطالعه است. رقم‌های جو نیز از نظر کارایی طی این دو سال متفاوت بودند (جدول ۶). برهم‌کنش سال و رقم بر کارایی رقم‌های جو معنی‌دار شد و رقم ماهور در سال دوم با کارایی ۱۷/۷ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بیشترین و رقم انصار در سال اول با ۷/۹ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر کمترین میزان این صفت را طی دو سال انجام آزمایش نشان دادند (جدول ۷). کارایی رقم ماهور در سال دوم در این بررسی، نزدیک‌ترین مقدار به‌میزان قابل انتظار برای برداشت دانه به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی و حدود ۸۸/۵ درصد از مقدار شاخص مورد نظر بوده است (دستیابی عملی به این درصد وضعیت خوبی به‌شمار می‌آید) و همراه با رقم‌های بهاره جو خرم و ایذه نسبت به سایر رقم‌های جو و گندم مورد بررسی برتری قابل ملاحظه‌ای نشان دادند. نتایج کارایی محاسبه شده برای رقم‌های جو دیم مورد مطالعه در کشور در جدول ۸ آمده است. در مقایسه کارایی ژنوتیپ‌های گندم و جو در شرایط یکسان محیطی نکته بسیار

برای محصول گندم بیشترین میانگین کارایی طی دو سال آزمایش در رقم کریم و کمترین آن برای لاین ۱۴ تعیین گردید (جدول ۳). جدول برهم‌کنش سال و رقم بر کارایی نشان می‌دهد که بیشترین کارایی در رقم کریم در سال دوم و به‌میزان ۹/۶ و کمترین آن در لاین ۱۴ و ارقام اوحدی و رصد در سال اول و به ترتیب ۴/۳، ۴/۳ و ۴/۶ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی بوده است (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که تفاوت ژنوتیپ‌ها در سال اول قابل توجه بوده، به‌گونه‌ای که کارایی رقم کریم در سال اول آزمایش بیش از دو برابر رقم‌های رصد و اوحدی بوده است (جدول ۴). فاصله بیشترین کارایی ثبت شده برای گندم در این بررسی با شاخص کارایی (۲۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی) قابل توجه و حدود ۴۷/۵ درصد نسبت به وضع مطلوب بوده است. نتایج کارایی محاسبه شده برای رقم‌های گندم دیم مورد مطالعه در کشور در جدول ۵ آمده است. تفاوت بین کارایی رقم‌های گندم در بررسی‌های مختلف قابل توجه است و به‌طور کلی و در بهترین حالت ۷۷/۵ درصد از میزان قابل انتظار بوده است، گرچه این

گندم طی دو سال بوده است. برتری بیشترین کارایی ژنوتیپ‌های جو نسبت به گندم رقم کریم (بیشترین کارایی رقم‌های گندم) ۸۴/۳ درصد و برتری بیشترین کارایی رقم‌های جو نسبت به کمترین بهره‌وری ژنوتیپ‌های گندم معادل ۳۱۱/۶ درصد بوده و به‌طور میانگین طی دو سال برتری کارایی ژنوتیپ‌های جو نسبت به ژنوتیپ‌های گندم حدود ۷۴ درصد بوده است. این تفاوت‌ها بسیار قابل توجه است، اما نتایج آزمایشی نشان داد که در شرایط مدیریت‌های عملکرد دانه جو بهتر از گندم نیست (Cossani et al., 2009).

مهم این است که به‌طور میانگین کمترین میزان کارایی رقم‌های جو از بیشترین میزان کارایی رقم‌های گندم بیشتر بوده است (۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی برای جو رقم آیدر و ۹/۵ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی برای گندم رقم کریم). مقایسه برهم‌کنش‌ها نیز حاکی از تفاوت قابل‌ملاحظه کارایی رقم‌های گندم و جو است، غیر از کارایی جو رقم انصار در سال اول که باز هم از بسیاری از رقم‌های گندم در این سال بیشتر است. کمترین مقدار کارایی برای جو رقم آیدر و به میزان ۹/۳ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی است، که تقریباً معادل بیشترین مقدار این صفت در ژنوتیپ‌های

جدول ۳- مقایسه میانگین کارایی و سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های گندم

Table 3- Mean comparison of measured traits for cultivars and lines of wheat

رقم Cultivar	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)	سرعت رشد دانه Grain growth rate (kg/ha.day)	سرعت رشد عملکرد زیستی Biomass growth rate (kg/ha.day)
آذر Azar2	7.5 cd	55.2 c-f	91 a
باران Baran	8.1 bc	57.7 bcd	106 a
اوحدی Ohadi	6 fg	43.1 hi	83 a
کراس سیلان Crosssabalán	6.9 c-f	47.4 e-i	94 a
رصد Rasad	6.1 efg	44.9 ghi	99 a
هما Homa	7 c-f	49.7 d-h	97 a
ریژاو Rijaw	8.7 ab	63 bc	93 a
سیلان Sabalan	6.5 d-g	46.2 f-i	84 a
سرداری Sardari	7 c-f	51.5 d-h	99 a
کریم Karim	9.5 a	71.5 a	106 a
کوه‌دشت Koohdasht	7.3 cd	53.5 d-g	88 a
قابوس Ghaboos	6.5 d-g	49 d-i	84 a
ده‌دشت Dehdasht	7.6 bcd	56.5 cde	100 a
آفتاب Aftab	7.8 bc	65.8 ab	95 a
لاین ۱۴ Line14	5.6 g	40.7 i	94 a
لاین ۱۵ Line15	7.2 cde	50.8 d-h	97 a

میانگین‌ها در هر ستون از هر تیمار که حداقل در یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون دانکن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with same letter (s) are not significantly difference, based on Duncan multiple range test.

جدول ۴- برهمکنش سال و رقم بر میانگین کارایی و سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های گندم

Table 4- Interaction of year and cultivar on mean of some measured traits of wheat genotypes

تیمار Treatment	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)	سرعت رشد دانه Grain growth rate (kg/ha.day)
آذر ۲ Azar 2	6 e-j	46.5 e-j
باران Baran	6.6 d-j	50.4 d-i
اوحدی Ohadi	4.3 j	32.1 jk
کراس سیلان Crosssabalán	6.3 e-j	43.2 e-k
رصد Rasad	4.6 ij	36 ijk
هما Homa	5.9 f-j	42 g-k
سیلان Sabalán	5.6 g-j	39.1 jk
سرداری Sardari	5.1 hij	36 ijk
ریژاو Rijaw	8 a-f	59.5 b-f
کریم Karim	9.4 ab	71 abc
آفتاب Aftab	6.9 c-i	53 d-h
کوهدهشت Koohdasht	6.9 c-i	52.3 d-i
قابوس Ghaboos	6.6 d-j	52 d-i
دهدهشت Dehdasht	7.6 a-g	56.4 b-g
لاین ۱۴ Line 14	4.3 j	29.9 k
لاین ۱۵ Line 15	5.9 f-j	40.7 g-k
آذر ۲ Azar2	9 abc	64 a-d
باران Baran	9.4 ab	63.9 a-d
اوحدی Ohadi	7.4 a-h	52.3 d-i
کراس سیلان Crosssabalán	7.6 a-g	51.5 d-i
رصد Rasad	7.6 a-g	53.9 d-h
هما Homa	7.9 a-g	56.1 b-h
سیلان Sabalán	7.3 a-h	52.2 b-i

سال اول
First yearسال دوم
Second year

ادامه جدول ۴- برهمکنش سال و رقم بر میانگین کارایی و سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های گندم

Table 4 Continued- Interaction of year and cultivar on mean of some measured traits of wheat genotypes

تیمار Treatment	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)	سرعت رشد دانه Grain growth rate (kg/ha.day)
سرداری Sardari	8.2 a-f	61.9 b-e
ریژاو Rijaw	9.3 ab	66.5 a-d
کریم Karim	9.6 a	71.8 ab
آفتاب Aftab	8.8 a-d	78.6 a
سال دوم Second year		
کوهدشت Koohdasht	7.6 a-g	54.5 c-h
قابوس Ghaboos	6.5 d-j	46.1 d-i
دهدشت Dehdasht	7.5 a-g	56.5 b-g
لاین ۱۴ Line 14	6.8 c-i	51.5 d-i
لاین ۱۵ Line 15	8.3 a-e	59.2 b-f

میانگین‌ها در هر ستون از هر تیمار که حداقل در یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون دانکن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with same letter (s) are not significantly difference, based on Duncan multiple range test.

ژنوتیپ‌های جو به ترتیب ۱۱ و ۱۳/۲۹ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی بوده و به‌طور کلی کارایی در سال دوم با وجود بارندگی کمتر در همه رقم‌ها و ژنوتیپ‌های گندم و جو بیشتر از سال اول بوده است. به‌عبارت دیگر به‌ازای هر درجه سلسیوس افزایش دما طی دوره مهم از فصل رشد، کارایی برای ژنوتیپ‌های گندم ۰/۸۳ و برای ژنوتیپ‌های جو ۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی کاهش یافته است که به‌طور میانگین به‌ترتیب معادل ۱۱/۶ و ۸/۷ درصد نسبت به میانگین دو سال کارایی ژنوتیپ‌های گندم و جو است. مطالعات نشان داده است که به‌ازای هر ۱ درجه افزایش در میانگین دمای روزانه، عملکرد دانه گندم ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد (Ullah and Chenu, 2019). مقایسه بهره‌وری ژنوتیپ‌ها طی دو سال نشان می‌دهد که دمای هوا نقش زیادی در کارایی داشته است، اما از این نظر حساسیت ارقام متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که برخی ژنوتیپ‌ها از جمله رقم‌های گندم کریم، قابوس و دهدشت و رقم جو سرارود ۱ و جو لاین شماره ۴ طی دو سال و با وجود تغییر دما کارایی تقریباً مشابهی داشته‌اند و کاهش قابل‌توجهی نسبت به سایر ارقام در کارایی آنها نسبت به دما رخ نداده است، این ویژگی می‌تواند در برنامه به‌نژادی رقم‌های زمستانه و بهاره گندم و جو و در جهت بهبود

در مقایسه دو ژنوتیپ گندم و دو ژنوتیپ جو در چهار منطقه متفاوت، برتری عملکردی بین دو گونه، حداقل بین ژنوتیپ‌های انتخابی مشاهده نشد. آزمایشات مشابه در شرایط مدیریت‌های نتایج متضادی را گزارش نموده‌اند و در برخی موارد عملکرد جو بهتر از گندم بوده است، درحالی‌که در برخی دیگر تفاوتی گزارش نشده است (Prado et al., 2017). در توجیه نتایج باید بیان داشت که احتمالاً عدم تنوع در ژنوتیپ‌های انتخابی منجر به این نتیجه در آزمایشات شده است. در این بررسی نیز عملکرد دانه و کارایی رقم کریم با رقم‌های جو با عملکرد دانه پایین مشابه بوده است.

عوامل موثر بر کارایی

دما

در سال دوم آزمایش بارندگی کمتر از سال اول و دمای هوا نیز نسبت به سال اول و میانگین درازمدت پایین‌تر بوده است (Khodashenas, 2021a). به‌طور میانگین دمای هوا از ۱۶ اسفند تا ۱۸ اردیبهشت در سال دوم ۲/۱۷ درجه سلسیوس کمتر از همین مدت در سال اول آزمایش بوده است. جدول‌های ۶ و ۸ نشان می‌دهند که میانگین کارایی ژنوتیپ‌های گندم در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب ۶/۲۵ و ۸/۰۵ و میانگین کارایی

جدول ۵- نتایج کارایی محاسبه شده برای رقم‌های گندم در مطالعات داخل کشور

Table 5- Calculated efficiency for wheat cultivars in Iran studies

رقم Cultivar	بارندگی سال اجرای آزمایش Yearly rainfall (mm)	بیشترین عملکرد دانه در آزمایش Maximum grain yield (kg/ha)	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)	درصد از پتانسیل بهره‌وری Percent than theoretical potential for efficiency	منبع Ref.
آذر ۲ Azar2	457.3	1104	3.2	15.9	Hoseinpour <i>et al.</i> , 2012
سرداری Sardari	457.3	1131	3.3	16.3	Hoseinpour <i>et al.</i> , 2012
سرداری Sardari	190	802	10	50	Hoseinpour <i>et al.</i> , 2012
ریژاو Rijaw	551.8	3983	9	45	Abdulahi, 2016
اوحدی Ohadi	551.8	3496	7.9	39.7	Abdulahi, 2016
سرداری Sardari	551.8	3274	7.4	37.1	Abdulahi, 2016
ریژاو Rijaw	288.3	2658	14.9	74.5	Abdulahi, 2016
اوحدی Ohadi	288.3	2443	13.7	68.5	Abdulahi, 2016
سرداری Sardari	288.3	2211	12.4	62	Abdulahi, 2016
آذر ۲ Azar2	271.2	2500	15.5	77.5	Eskandari and Roustaei, 2007
آذر ۲ Azar2	368.8	1500	5.8	29	Eskandari and Roustaei, 2007
آذر ۲ Azar2	404	3800	12.9	64.6	Eskandari and Roustaei, 2007
آذر ۲ Azar2	243.2	1963	14.7	73.7	Heidarpour <i>et al.</i> , 2016
آذر ۲ Azar2	456.1	1651	4.8	23.9	Heidarpour <i>et al.</i> , 2016
آذر ۲ Azar2	180.9	997	14	70.3	Heidarpour <i>et al.</i> , 2016
سبالان Sabalan	527	1586	3.8	19	Feiziasl and Valizadeh, 2003
سبالان Sabalan	399.5	2252	7.8	38.9	Feiziasl and Valizadeh, 2003
سبالان Sabalan	524.5	2442	5.9	29.5	Feiziasl and Valizadeh, 2003
سبالان Sabalan	316.1	1384	6.7	33.6	Feiziasl and Valizadeh, 2003
کوهدهشت Koohdasht	534.8	4907	11.6	57.8	Mohammadi <i>et al.</i> , 2016
کریم Karim	534.8	5480	12.9	64.5	Mohammadi <i>et al.</i> , 2016
صدرا Sadra	434.7	2843	8.8	43.8	Anonymous

جدول ۶- مقایسه میانگین کارایی و سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های جو
Table 6- Mean comparison of measured traits for cultivars and lines of barley

ژنوتیپ‌ها Genotypes	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)	سرعت رشد دانه Grain growth rate (kg/ha.day)	سرعت رشد عملکرد زیستی Biomass growth rate (kg/ha.day)
سهند Sahand	12.5 a	94.7 abc	161 a
آبیدر Abidar	10 d	75.8 d	160 a
انصار Ansar	10.3 d	81 cd	166 a
Yea168	10.5 d	86.3 bcd	164 a
نادر Nader	12.5 bc	90.9 bc	158 a
سرارود ۱ Sararoud1	10.6 d	86.6 bcd	158 a
لاین شماره ۴ Line no.4	13.4 ab	107 a	154 a
لاین شماره ۵ Line no.5	12.5 bc	88.5 bcd	136 a
لاین شماره ۶ Line no.6	11.3 cd	81 cd	162 a
خرم Khorram	13.9 ab	105 a	136 a
ایذه Eizeh	13.7 ab	98.4 ab	144 a
ماهور Mahoor	15.2 a	94.5 abc	138 a

میانگین‌ها در هر ستون از هر تیمار که حداقل در یک حرف مشترک باشند، تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means with same letter (s) are not significantly difference, based on Duncan multiple range test.

جدول ۷- برهمکنش سال و رقم بر میانگین کارایی و سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های جو
Table 7- Interaction of year and cultivar on mean of some measured traits of barley genotypes

ژنوتیپ‌ها Genotypes	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)		سرعت رشد دانه Grain growth rate (kg/ha.day)	
	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
سهند Sahand	11.5 d-g	13.6 b-e	81.9 efg	108 a-d
آبیدر Abidar	9.3 gh	10.5 e-h	71.8 fg	79 efg
Yea168	10.3 fgh	10.6 e-h	88.7 c-f	84.4 efg
انصار Ansar	7.9 h	12.7 c-f	61.7 g	100 a-e
لاین شماره ۴ Line no.4	13.1 c-f	13.8 bcd	98.3 b-e	116 ab
لاین شماره ۵ Line no.5	12.7 c-f	12.3 d-g	93.8 b-f	83 efg
لاین شماره ۶ Line no.6	10.3 fgh	12.3 d-g	78.4 efg	84 efg
سرارود ۱ Sararoud1	10.3 fgh	10.8 d-h	76.6 efg	96.6 b-e
نادر Nader	11.5 d-g	13.5 b-e	85.6 def	96.1 b-f
خرم Khorram	11.5 d-g	16.2 ab	88.6 c-f	122 a
ایذه Eizeh	11.6 d-g	15.5 abc	84 efg	110 abc
ماهور Mahoor	12.1 d-g	17.7 a	70.1 fg	115 ab

میانگین‌های هر صفت که حداقل در یک حرف مشترک باشند، تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each trait, means with same letter (s) are not significantly different.

واکنشی متفاوت داشته‌اند و رقم‌های بهاره بیشترین تفاوت را طی دو سال نشان داده‌اند (رقم بینابین انصار نیز مشابه رقم‌های بهاره واکنش داشته است).

هم‌خوانی رقم‌ها با شرایط تغییر اقلیم مورد توجه قرار گیرد. نکته دیگر این است که در رقم‌های گندم بیشترین تفاوت کارایی دو ساله در رقم‌های زمستانه مشاهده می‌شود و رقم‌های بهاره کمترین تاثیر را نشان داده‌اند، درحالی‌که ژنوتیپ‌های جو

جدول ۸- نتایج کارایی محاسبه شده برای رقم‌های جو در مطالعات داخل کشور

Table 8- Calculated efficiency for barley cultivars in Iran studies

رقم Cultivar	بارندگی سال اجرای آزمایش Yearly rainfall (mm)	بیشترین عملکردانه در آزمایش Maximum grain yield (kg/ha)	کارایی Efficiency (kg grain/ha.mm)	درصد از پتانسیل بهره‌وری Percent than theoretical potential for efficiency	منبع Ref.
آبیدر Abidar	380	1042	3.9	19.3	Tavakoli, 2014
آبیدر Abidar	382	1199	4.4	22	Tavakoli, 2014
سهند Sahand	375	1524	5.8	28.8	Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2017
ماهور Mahoor	232.9	3760	30.6	153	Hajipoor et al., 2017
خرم Khorram	232.9	3466	28.2	141	Hajipoor et al., 2017

زمان بیشتری طی نموده و فاصله‌ها افزایش یافته است. بیان شده است که تفاوت دوره رویشی دو گونه به اختلاف دوره پیش از گرده‌افشانی بر می‌گردد که در گندم ۵ روز طولانی‌تر از جو است (Mohammadi et al., 2016). بنابر اطلاعات جدول‌های ۹ و ۱۰ رقم‌های گندم و جو برتر از نظر کارایی (جو رقم ماهور و گندم رقم کریم)، هر دو رشد بهاره را زودتر از سایر رقم‌ها و با تفاوت قابل ملاحظه‌ای آغاز نموده‌اند.

تسریع در خروج از دوره رکود و شروع رشد بهاره نقش بسیار مهمی در طولانی شدن فصل رشد و وقوع مراحل رشد و نمو در شرایط مطلوب دمایی دارد. بر مبنای متوسط سرعت رشد زیست‌توده طی دوره رشد برای ژنوتیپ‌های گندم و جو، هر روز تاخیر در شروع رشد بهاره برای ژنوتیپ‌های گندم و جو به‌طور متوسط به مفهوم کاهش ۹۴/۳ و ۱۵۳ کیلوگرم زیست‌توده در هکتار است که نسبت به متوسط کل زیست‌توده تولیدی ژنوتیپ‌های گندم و جو در فصل رشد به ترتیب حدود ۲/۵ و ۳ درصد کاهش روزانه تولید و مقدار قابل توجهی است و نشان‌دهنده اهمیت هر روز تسریع در رشد بهاره است. در یک تاریخ کاشت، ارقامی که ساقه‌روی را سریع‌تر آغاز می‌کنند ماده خشک بالای خاک بیشتری نسبت به ارقامی که هنوز در مرحله رویشی هستند تولید می‌کنند (Richards, 1991).

آغاز رشد بهاره

رقم کریم در هر دو سال انجام آزمایش رشد بهاره را سریع‌تر از سایر ژنوتیپ‌های گندم آغاز نموده و سایر ارقام گندم و به‌ویژه رقم‌های زمستانه بیشترین تاخیر را نسبت به رقم کریم نشان دادند (جدول ۹). احتمالاً علت آن تامین نیاز سرمایی است، زیرا همچنان که جدول ۹ نشان می‌دهد با کاهش دما در سال دوم این فاصله کاهش یافته است.

جدول ۱۰ نشان می‌دهد که رقم ماهور سریع‌تر از سایر ژنوتیپ‌های جو رشد بهاره را آغاز نموده است. اما تفاوتی که بین دو محصول گندم و جو ملاحظه می‌شود، این است که بر خلاف ژنوتیپ‌های گندم، شروع رشد بهاره ژنوتیپ‌های جو در سال دوم با دمای کمتر تقریباً برای تمام رقم‌ها دیرتر از سال اول بوده است. شروع رشد سریع بهاره دو رقم پیش‌تاز یعنی رقم‌های گندم کریم و جو ماهور در سال اول مشابه بود اما در سال دوم این روند با تاخیر نسبت به سال اول رخ داد و در گندم کریم نیز این وضعیت با تاخیر نسبت به رقم ماهور اتفاق افتاد. احتمالاً ۱۴ روز تاخیر برای رقم گندم کریم در سال دوم نیاز سرمایی رقم‌های زمستانه را تامین نموده و فاصله رقم‌های زمستانه و بهاره گندم برای شروع رشد بهاره کمتر شده است، اما رقم ماهور نسبت به سال اول ۷ روز تاخیر داشته است و تامین نیاز سرمایی رقم‌های جو زمستانه پس از شروع رشد رقم ماهور،

جدول ۹- حدود تاخیر زمانی شروع رشد بهاره (ساقه‌روی) ارقام گندم نسبت به سریع‌ترین رقم آغازکننده (رقم کریم)

Table 9- Delay in the beginning of spring growth (stem elongation) of wheat genotypes than to faster beginner cultivar (Karim cultivar)

ژنوتیپ‌ها Genotypes	سال اول First year		سال دوم Second year
	تاریخ اول First planting date	تاریخ دوم Second planting date	تاریخ‌های اول و دوم First and second planting date
کریم Karim	(2/4/2016) 0	*	(17/4/2017) 0
آذر ۲ Azar2	9	8	5
باران Baran	10	8	5
اوحدی Ohadi	9	9	9
کراس سیلان Crosssabalán	9	8	8
رصد Rasad	9	8	8
هما Homa	10	10	9
ریژاو Rijaw	7	5	6
سیلان Sabalán	10	8	8
سرداری Sardari	9	9	9
کوهدهشت Koohdasht	5	1	1
قابوس Ghaboos	3	0	3
دهدهشت Dehdasht	5	0	3
آفتاب Aftab	0	(11/4/2016) 0	0
لاین ۱۴ Line 14	9	8	8
لاین ۱۵ Line 15	9	7	7

* ساقه‌روی رقم کریم ثبت نشده است.

* Stem elongation of karim cultivar was not recorded

هکتار در روز بوده است، پس از شروع رشد بهاره به‌طور میانگین تولید زیست‌توده ژنوتیپ‌های جو در هر روز ۵۹ کیلوگرم در هکتار بیشتر از ژنوتیپ‌های گندم و نسبت به میانگین تولید زیست‌توده ژنوتیپ‌های گندم حدود ۶۳ درصد برتری داشته است.

چنانچه این برتری را برای متوسط دوره شروع رشد بهاره تا رسیدگی فیزیولوژیک رقم گندم در نظر بگیریم حدود ۲۲۶۰ کیلوگرم زیست‌توده اضافی خواهد بود. تاثیر سرعت رشد دانه بر عملکرد دانه نیز به اندازه‌ای است که در صورت افزایش سرعت

تسریع در شروع رشد بهاره رفتاری مشابه با دمای پایین هوا برای رشد ایفا می‌کند. تسریع در رشد بهاره می‌تواند برخورد به دمای پایین را طی فصل رشد افزایش داده و با کاهش تنش به حداکثر تولید دانه کمک نموده و راهی برای اجتناب از شرایط گرم ناشی از تغییر اقلیم باشد.

تأخیر در شروع رشد بهاره شرایط حرارتی را برای تولید به شرایط گرم‌تر و نامناسب‌تر تبدیل می‌کند و منجر به کاهش کارایی خواهد شد. با توجه به میانگین سرعت رشد زیست‌توده ژنوتیپ‌های جو و گندم که به ترتیب ۱۵۳ و ۹۴ کیلوگرم در

رشد دانه گندم رقم کریم به‌میزان جو رقم خرم، با توجه به میانگین دوره پرشدن دانه در گندم رقم کریم، افزایش تولید دانه به‌میزان ۱۰۰۴ کیلوگرم و معادل حدود ۶۳ درصد افزایش نسبت به بیشترین تولید دانه کنونی رقم کریم خواهد بود.

جدول ۱۰- حدود تاخیر زمانی شروع رشد بهاره (ساقه‌روی) ارقام جو نسبت به سریع‌ترین رقم آغازکننده (رقم ماهور)

Table 10- Delay in the beginning of spring growth (stem elongation) of barley genotypes than to faster beginner cultivar (Mahoor cultivar)

ژنوتیپ‌ها Genotypes	سال اول First year		سال دوم Second year
	تاریخ کاشت اول First planting date		تاریخ‌های کاشت اول و دوم First and second planting date
ماهور Mahoor	(2/4/2016) 0		(10/4/2017) 0
سهند Sahand	5	9	12
آبیدر Abidar	11	14	15
Yea168	11	14	14
انصار Ansar	11	14	15
لاین شماره ۴ Line no.4	3	4	5
لاین شماره ۵ Line no.5	5	8	11
لاین شماره ۶ Line no.6	5	8	12
سزارود ۱ Sazaroud1	5	9	13
نادر Nader	5	9	11
خرم Khorram	5	5	5
ایذه Eizeh	5	5	6

سرعت رشد

مقدار و به‌میزان ۷۱/۵ کیلوگرم در هکتار در روز و برای لاین شماره ۱۴ در کمترین مقدار و به‌میزان ۴۰/۷ کیلوگرم در هکتار در روز بوده است. برهم‌کنش سال و رقم بر سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های گندم معنی‌دار بود و همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد، سرعت رشد اکثر ژنوتیپ‌های گندم در سال دوم بیشتر از سال اول بوده است و گاهی این برتری چشمگیر نیز بوده است. بیشترین مقدار این صفت در سال دوم در رقم آفتاب و به‌میزان ۷۸/۶ ملاحظه گردید و کمترین مقدار آن در لاین ۱۴ و به‌میزان ۲۹/۹ کیلوگرم در هکتار در روز مشاهده شد. وزن دانه نتیجه دو روند پرشدن دانه است که با دو پارامتر دوام و سرعت پرشدن دانه تعریف می‌شود (Brdar et al., 2008). عملکرد دانه بالاتر ارقام جدید گندم از طریق سرعت رشد بیشتر از زمان ظهور خوشه تا برداشت حاصل شده است (Karimi

سرعت رشد زیست‌توده ژنوتیپ‌های گندم در دامنه ۱۰۶-۸۳ کیلوگرم در هکتار در روز متغیر، اما این تغییر معنی‌دار نبود. سرعت رشد زیست‌توده ژنوتیپ‌های جو نیز در دامنه ۱۶۶-۱۳۶ کیلوگرم در هکتار در روز متغیر بود، اما تفاوت ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نشد. مقایسه سرعت رشد زیست‌توده دو محصول نشان می‌دهد که کمترین میزان این صفت در ژنوتیپ‌های جو از بیشترین مقدار این صفت در ژنوتیپ‌های گندم بیشتر است، به‌گونه‌ای که میانگین سرعت رشد زیست‌توده ژنوتیپ‌های جو نسبت به گندم ۶۲/۲ درصد برتری نشان می‌دهد و این میزان برتری با توجه به شرایط یکسان محیطی بسیار قابل توجه است. میانگین سرعت رشد دانه در گندم رقم کریم بیشترین

اما ژنوتیپ‌های جو در تاریخ کاشت اول سال اول، گرده‌افشانی را در محدوده مطلوب به اتمام رساندند و رقم مهور در بهترین شرایط یعنی حدود نیمه این دوره گرده‌افشانی داشت و با تاخیر در کاشت رقم مهور همچنان در محدوده مطلوب گلدهی داشت، اما گرده‌افشانی برخی از رقم‌ها و ژنوتیپ‌های جو با تاخیر در کاشت در محدوده مطلوب رخ نداد (*Khodashenas, 2021b*). مقایسه ژنوتیپ‌های جو و گندم از این نظر نیز حاکی از آن است که ژنوتیپ‌های جو شرایط بهتری دارند و گرده‌افشانی را زودتر از ژنوتیپ‌های گندم آغاز کرده‌اند (*Khodashenas, 2021a; Khodashenas, 2021b*).

زمان گلدهی گندم یک تعیین‌کننده مهم عملکرد دانه است (*Bloomfield et al., 2018*). تاثیر هم‌خوانی گرده‌افشانی با زمان مطلوب گرده‌افشانی در هر منطقه بر عملکرد دانه به اندازه‌ای است که شرط تغییر تاریخ کاشت، اصلاح رقم‌هایی است که گلدهی متناسبی داشته باشند و زمان گلدهی مناسب مهم‌ترین عامل برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه و سازگاری در مناطق خشک است (*Richards et al., 2002*). هر روز تاخیر در گرده‌افشانی با توجه به سرعت متوسط تولید دانه در ژنوتیپ‌های گندم و جو به ترتیب به مفهوم کاهش ۵۲/۹ و ۹۰/۸ کیلوگرم دانه در هکتار است که نسبت به متوسط کل دانه تولیدی ژنوتیپ‌های گندم و جو به ترتیب معادل کاهش ۴/۹ و ۴/۸ درصدی عملکرد دانه به‌ازای هر روز تاخیر در گرده‌افشانی و مقدار قابل توجهی است. چنانچه این تاخیر را برای گندم رقم کریم نسبت به نیمه دوره مطلوب گلدهی در سال اول در نظر بگیریم، به‌ازای این تاخیر (حدود ۱۲ روز) معادل ۸۵۲ کیلوگرم عملکرد دانه است که حدود ۵۴/۵ درصد از میانگین عملکرد دانه این رقم در سال اول است، این مقدار بسیار قابل توجه بوده و نشان‌دهنده تاثیر گرده‌افشانی در شرایط مطلوب نسبت به وضعیت فعلی است. این مقادیر تنها در مورد کمیت دانه تولیدی است و تاثیر آن بر کیفیت دانه نیز بسیار مهم و قابل توجه است. گلدهی زود هنگام منجر به طولانی شدن دوره پرشدن دانه می‌شود، درحالی‌که اجزای فتوسنتزی سبز هستند و به این لحاظ پرشدن دانه را بهبود می‌بخشند، زیرا سهم عملکرد دانه از سبزه پرورده پس از گرده‌افشانی در جو مهم است (*González et al., 2007*). ۹۰ تا ۹۵ درصد از کربوهیدرات دانه پس از گرده‌افشانی تولید می‌شود (*Blake et al., 2018*). به لحاظ اهمیت زمان مطلوب گرده‌افشانی توجه به این نکته حائز اهمیت است که تنها ویژگی منحصر به فرد جو رقم مهور در دستیابی

(*and Siddique, 1991*). با توجه به دمای متفاوت طی دو سال، تنها سرعت تولید دانه گندم رقم کریم ثابت بوده است و سایر ژنوتیپ‌های گندم تحت تاثیر شرایط حرارتی دو سال، سرعت تولید دانه متفاوتی نشان دادند. ثبات در سرعت تولید دانه با وجود تفاوت دما، ویژگی مثبتی برای اصلاح در جهت ثبات یا برتری تولید در شرایط تغییر اقلیم است و می‌تواند در انتخاب ارقام برای شرایط تغییر اقلیم مد نظر قرار گیرد.

جو لاین ۴ و جو رقم خرم به ترتیب با میانگین ۱۰۷ و ۱۰۵ کیلوگرم دانه در هکتار در روز بیشترین و رقم آبیدر با میانگین سرعت رشد دانه ۷۵/۸ کیلوگرم در هکتار در روز کمترین مقدار را نشان دادند (جدول ۶). برهم‌کنش سال و رقم بر سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های جو معنی‌دار شد و همان‌گونه که جدول ۷ نشان می‌دهد سرعت رشد اکثر رقم‌ها در سال دوم برتر از سال اول بوده است و حاکی از اثر شرایط محیطی بر این صفت می‌باشد. بیشترین سرعت رشد دانه در رقم خرم و در سال دوم به میزان ۱۲۲ کیلوگرم دانه در هکتار در روز و کمترین آن برای رقم انصار در سال اول و به میزان ۶۱/۷ کیلوگرم در هکتار در روز ثبت گردید. لاین ۴ و رقم‌های بهاره مهور و ایزه نیز به ترتیب با سرعت رشد دانه ۱۱۶، ۱۱۵ و ۱۱۰ کیلوگرم دانه در هکتار در روز بیشترین مقدار این صفت را طی دو سال آزمایش نشان دادند.

در مقایسه سرعت رشد دانه ژنوتیپ‌های گندم و جو چه از نظر میانگین و چه در برهم‌کنش ژنوتیپ‌ها و سال‌های آزمایش تفاوت ملاحظه می‌گردد. بیشترین سرعت رشد دانه جو رقم خرم در سال دوم نسبت به بیشترین مقدار این صفت در رقم‌های گندم آفتاب و کریم در سال دوم به ترتیب ۵۵/۲ و ۶۹/۹ درصد برتری نشان داده است. این میزان تفاوت در سرعت رشد دانه که ناشی از بروز صفات و ویژگی‌های ژنوتیپ‌های گندم و جو در شرایط یکسان محیطی است، نوید بخش امکان بهبود کارایی و افزایش تولید دانه در ژنوتیپ‌های گندم است. علت اختلاف بین ارقام از نظر عملکرد دانه می‌تواند به دوام دوره پرشدن دانه یا سرعت رشد دانه مرتبط باشد (*Sharma et al., 2008*).

گرده‌افشانی

گرده‌افشانی هیچ یک از رقم‌های گندم در هیچ یک از تاریخ کاشت‌های دو سال در محدوده مطلوب اتفاق نیفتاد و با تاخیر در تاریخ کاشت با تاخیر انجام شد (*Khodashenas, 2021a*).

تقریباً با رقم کریم همزمان بوده و سرعت رشد دانه قابل توجهی داشته و شاخص برداشت آن نیز نسبت به رقم‌های رصد و هما بیشتر بوده است و در مجموع میانگین عملکرد دانه‌ای نزدیک و در رتبه دوم نسبت به رقم کریم داشته است. در نقطه مقابل رقم بهاره قابوس قرار دارد که با وجود آغاز سریع تر رشد بهاره نسبت به رقم ریژا، با تاخیر در گلدهی نسبت به این رقم و نیز سرعت رشد دانه کمتر از ریژا و وجود شاخص برداشت مشابه ریژا، عملکرد دانه و کارایی کمتری نسبت به ریژا نشان داده است. علاوه بر زمان گلدهی مطلوب، میزان مطلوبی از بیومس نیز در گرده‌افشانی برای هر شرایط تامین آب وجود دارد. کمبود بیومس در گرده‌افشانی تعداد دانه در واحد سطح و بنابراین پتانسیل تولید دانه را کاهش می‌دهد زیرا تعداد دانه در واحد سطح با بیومس در زمان گرده‌افشانی همبستگی دارد (Khodashenas, 2022; Richards et al., 2002).

در مقایسه ژنوتیپ‌های جو، رقم مهور بیشترین کارایی را نشان داده و در نقطه مقابل رقم‌های زمستانه و بینابین آیدر، انصار، سرارود ۱ و yea168 کمترین میزان این صفت را نشان داده‌اند. شروع رشد بهاره در رقم مهور زودتر از سایر رقم‌ها بوده است، گلدهی در زمان مطلوب اتفاق افتاده، سرعت رشد دانه بیشتری نسبت به سایر رقم‌ها داشته و نهایتاً شاخص برداشت بالاتری نیز نسبت به سایر رقم‌ها داشته است، که در مجموع منجر به بیشترین کارایی گردیده است. در گروه ژنوتیپ‌های زمستانه و بینابین، لاین ۴ کمترین تاخیر را در شروع رشد بهاره و گلدهی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها نشان داده، سرعت رشد و شاخص برداشت بالایی نیز داشته است که باعث افزایش کارایی این ژنوتیپ نسبت به سایر رقم‌های زمستانه و بینابین شده است. این ژنوتیپ نیز شاخصی از نظر مراحل رشد و نمو است و با وجود تاخیر در شروع رشد بهاره از طریق تسریع در مراحل نمو و گلدهی زود هنگام، سرعت رشد دانه بالا و نیز شاخص برداشت بالا کمترین فاصله را از نظر کارایی با رقم مهور به خود اختصاص داده است؛ به عبارت دیگر زمینه برای بهبود پتانسیل عملکرد و کارایی ژنوتیپ‌های زمستانه و بینابین جو نیز از طریق بهبود صفات مرتبط فراهم است.

همان‌گونه که بیان شد دو محصول از نظر کارایی متفاوت هستند و می‌توان به علل این تفاوت‌ها، در مقایسه دو رقم شاخص گندم کریم و جو مهور توجه نمود. شروع رشد بهاره

به بیشترین کارایی، گلدهی در زمان مطلوب و یا بسیار نزدیک به زمان مطلوب در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها بوده است. از نظر تسریع در رشد بهاره، گندم رقم کریم مشابه جو رقم مهور بوده است، از نظر سرعت رشد دانه نیز رقم‌هایی برتر از این رقم بوده‌اند و شاخص برداشت برخی رقم‌های جو نیز بسیار نزدیک و مشابه با جو رقم مهور بوده است، اما هیچ یک در زمانی مشابه رقم مهور گرده‌افشانی نداشته‌اند. چالش اصلی کشاورزان برای دسترسی به بیشترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب این است که محصول گندم آنها تا حد ممکن در محدوده مطلوب، گلدهی داشته باشد (Hunt et al., 2014).

شاخص برداشت

گندم رقم کریم همراه با رقم آفتاب به ترتیب با میانگین ۳۶/۳ و ۳۶ بیشترین و رقم‌های گندم رصد و هما به ترتیب با میانگین ۲۶/۱ و ۲۶/۹ کمترین شاخص برداشت را نشان دادند (Khodashenas, 2021a). برهم‌کنش سال و رقم بر شاخص برداشت ژنوتیپ‌های جو اثر معنی‌دار نشان داد و جو رقم مهور در سال اول با شاخص برداشت ۴۳/۶ بیشترین و گندم رقم انصار در سال اول با ۲۷/۸ کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند (Khodashenas, 2021b). مقایسه این صفت بین دو محصول نیز حاکی از برتری ژنوتیپ‌های جو است، به‌گونه‌ای که برتری شاخص برداشت جو رقم مهور نسبت به گندم رقم کریم حدود ۲۰ درصد بوده است. در مطالعه‌ای شاخص برداشت جو ۰/۳۴ و کمتر از شاخص برداشت گندم (۰/۳۸) بود (Regan et al., 1997). شاخص برداشت بالا صفتی تحت تاثیر مراحل نمو است، با تاخیر در گلدهی کاهش می‌یابد و در عملکرد بالا در همه محیط‌ها نقش دارد (Khodashenas, 2022; Richards et al., 2002).

گندم رقم کریم بیشترین کارایی را در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی گندم به خود اختصاص داد، و در نقطه مقابل رقم‌های اوحدی، رصد، هما، سرداری و سیلان کمترین کارایی را نشان دادند. ویژگی‌های این رقم در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها عبارت از شروع زود هنگام رشد بهاره، تسریع در گلدهی، سرعت رشد دانه و شاخص برداشت بالاتر بود. رقم گندم بینابین ریژا با وجود این‌که از نظر شروع رشد بهاره نسبت به رقم کریم تاخیر داشته و تاخیری مشابه (گرچه کمتر) رقم‌های زمستانه‌ای نظیر اوحدی، رصد و هما داشته است، اما وقوع گرده‌افشانی این رقم

نیست، اما برخی رقم‌های جو کارایی حدود ۸۸/۵ درصدی نسبت به مقدار تئوریک نشان دادند که از بعد عملی بسیار قابل توجه است. از این نظر ژنوتیپ‌های گندم شرایط نامطلوب تری دارند. در مجموع چهار عامل قلیل مدیریت آغاز سریع‌تر رشد بهاره، سرعت رشد (زیست‌توده و دانه)، گلدهی در زمان مطلوب و شاخص برداشت را می‌توان به‌عنوان علت‌های موثر بر کارایی دانست. در یک رقم جو، تغییر مثبت ویژگی‌های ذکر شده منجر به بهبود کارایی تا نزدیک‌ترین مقدار به اندازه مطلوب شد، بنابراین بهبود این صفات در رقم‌های گندم و سایر رقم‌های جو نیز می‌تواند نتیجه‌ای مشابه در پی داشته باشد؛ این مقایسه برای امکان پرکردن خلاء کارایی رقم‌های گندم و جو امیدبخش است. بنابراین به‌نظر می‌رسد امکان بهبود کارایی استفاده از بارندگی رقم‌های گندم و جو از طریق بهبود صفات موثر وجود دارد. این وضعیت تنها برای گندم به‌معنای افزایش پتانسیل عملکرد دانه به‌میزان حدود ۶۱/۵ درصد نسبت به وضعیت کنونی برترین رقم گندم در شرایط دیم خواهد بود. توجه به برخی صفات از جمله عدم تغییر در سرعت رشد دانه رقم کریم با تغییر دما نیز می‌تواند در اصلاح رقم‌ها برای شرایط تغییر اقلیم مد نظر قرار گیرد.

این دو رقم در سال اول مشابه بود. با وجود شروع رشد بهاره همزمان در سال اول، گرده‌افشانی گندم رقم کریم ۱۰ روز نسبت به جو رقم ماهور تاخیر داشت و این مقدار در سال دوم به‌طور میانگین ۱۳ روز بود. از نظر سرعت رشد زیست‌توده جو رقم ماهور نسبت به گندم رقم کریم به‌طور میانگین ۳۰/۲ درصد برتری داشته و از نظر سرعت رشد دانه نیز بیشترین سرعت رشد جو رقم ماهور نسبت به گندم رقم کریم ۶۰/۸ درصد برتر بوده است و بهترین شاخص برداشت جو رقم ماهور نیز نسبت به گندم رقم کریم ۲۴/۲ درصد برتری داشته است. این برتری‌ها در صفات موثر، منجر به افزایش ۷۶/۶ درصدی عملکرد دانه جو رقم ماهور نسبت به گندم رقم کریم شده است. با توجه به شرایط محیطی یکسان، به‌نظر می‌رسد از طریق بهبود این صفات در ژنوتیپ‌های گندم، این فاصله می‌تواند کاهش یابد که خروجی آن افزایش عملکرد دانه در رقم‌های گندم و کارایی بالاتر در استفاده از بارندگی است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کارایی هیچ یک از ژنوتیپ‌های گندم و جو مشابه مقدار مورد اشاره به‌عنوان شاخص تولید دانه و کارایی

References

- Abdulahi, A., 2016. Study on effect of seed density and planting date on yield and yield components of bread wheat in dry land conditions. *Iranian Journal of Dryland Agricultural Science*, 4(2), pp.99-114. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/idadj.2016.106095>
- Acuña, T.B., Lissou, S., Johnson, P. and Dean, G., 2015. Yield and water-use efficiency of wheat in a high-rainfall environment. *Crop & Pasture Science*, 66(5), pp.419-429. <https://doi.org/10.1071/cp14308>
- Anderson, W.K., 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research*, 116(1-2), pp.14-22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.016>
- Blake, N.K., Varella, A.C., Bicego, B., Martin, J.M., Cook, J.P., Heo, H.-Y., Acharya, R., Sherman, J.D., Nash, D. and Talbert, L.E., 2018. Maturity traits related to climate adaptation affect quality characteristics in hard red spring wheat. *Crop Science*, 58(5), pp.1954-1963. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0228>
- Bloomfield, M.T., Hunt, J.R., Trevaskis, B., Ramm, K. and Hyles, J., 2018. Ability of alleles of PPD1 and VRN1 genes to predict flowering time in diverse Australian wheat (*Triticum aestivum*) cultivars in controlled environments. *Crop & Pasture Science*, 69(11), pp.1061-1075. <https://doi.org/10.1071/cp18102>

- Brdar, M.D., Kraljević-Balalić, M.M. and Kobiljski, B.D., 2008. The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Central European Journal of Biology*, 3(1), pp.75-82. <https://doi.org/10.2478/s11535-007-0050-x>
- Cann, D.J., Schillinger, W.F., Hunt, J.R., Porker, K.D. and Harris, F.A.J., 2020. Agroecological advantages of early-sown winter wheat in semi-arid environments: A comparative case study from Southern Australia and Pacific Northwest United States. *Frontiers in Plant Science*, 11, 568. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00568>
- Cossani, C.M., Slafer, G.A. and Savin, R., 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research*, 112(2-3), pp.205-213. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.003>
- Cossani, C.M., Slafer, G.A. and Savin, R., 2012. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crops Research*, 128, pp.109-118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.001>
- Eskandari, H. and Alizadeh-Amraie, A., 2017. Grain yield and energy efficiency of a barley dry land farming system as affected by supplemental irrigation at flowering stage. *Journal of Crops Improvement*, 18(4), pp.871-880. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.56663>
- Eskandari, I. and Roustaei, M., 2007. Determination of appropriate seeding depth for bread wheat genotypes in cold drylands area of Maragheh. *Seed and Plant Journal*, 23(3), pp.357-371. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.110735>
- Feiziasl, V. and Valizadeh, G.R., 2003. The effects of nitrogen rates and application times on wheat yield under dryland farming conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*, 17(1), pp.29-38. [In Persian].
- González, A., Martin, I. and Ayerbe, L., 2007. Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress: Phenology, growth, and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(1), pp.29-37. <https://doi.org/10.1071/ar06026>
- Hajipour, M., A. Rahemi Karizaki, H. Sabori and H.A. Fallahi., 2017. Investigation of barely grain yield improvement during the last half century across Golestan province. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14: 765-774. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.48516>
- Harris, F.A.J., Eagles, H.A., Virgona, J.M., Martin, P.J., Condon, J.R. and Angus, J.F., 2017. Effect of VRN1 and PPD1 genes on anthesis date and wheat growth. *Crop & Pasture Science*, 68(3), pp.195-201. <https://doi.org/10.1071/cp16420>
- Heidarpour, N., Ghasemi Mobtaker, H. and Toushah, V., 2016. Effects of different tillage methods on dryland wheat yield and soil physical properties in wheat-fallow rotation in Kurdistan. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(4), pp.61-77. [In Persian]. <https://doi.org/10.1001.1.23221267.1394.5.4.4.1>
- Hoseinpour, T., Roustai, M., Ahmadi, A., Bahari, M., Drikavand, R. and Bazvand, F., 2012. Relation between some agronomic characteristics and grain yield in the advanced wheat genotypes. *Iranian Journal of Dryland Agricultural Science*, 1(2), pp.26-39. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/idaj.2013.100155>
- Hunt, J., Kirkegaard, J., Lilley, J., Sprague, S., Swan, T., Rheinheimer, B., McMillan, D., Frischke, A., Breust, P. and Pratt, T., 2014. Strategies and tactics to extend whole farm water use efficiency: sow on time or early!

- (NSW data). Available at: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/grdc-update-papers/tab-content/grdc-update-papers/2014/02/strategies-and-tactics-to-extend-whole-farm-water-use-efficiency-nsw>
- Karimi, M.M. and Siddique, K.H.M., 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42(1), pp.13-20. <https://doi.org/10.1071/ar9910013>
- Khodashenas, A., 2021a. Evaluation of response of wheat cultivars and lines to delay in planting date in Mashhad conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), pp.727-741. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.306231.2419>
- Khodashenas, A., 2021b. Effect of planting time on grain yield and yield components of rainfed barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under climatic conditions of Mashhad, Iran. *Iranian Journal of Crop Science*, 23(1), pp.49-66. [In Persian]. <https://doi.org/10.1001.1.15625540.1400.23.1.4.8>
- Khodashenas, A., 2022. Comparison in yield and yield components of wheat, barley and triticale in dryland conditions of Mashhad. *Journal of Crop Breeding*, 13(40), pp.133-141. [In Persian]. <https://doi.org/10.52547/jcb.13.40.133>
- Loss, S.P., Perry, M.W. and Anderson, W.K., 1990. Flowering times of wheats in South-Western Australia: a modelling approach. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41(2), pp.213-223. <https://doi.org/10.1071/ar9900213>
- Mohammadi Gonbad, R., Esfahani, M., Roustaei, M. and Sabouri, H., 2016. Effect of planting dates on grain filling of bread wheat genotypes under rain-fed condition of Gonbad-e-Qabus region. *Cereal Research*, 6(3), pp.307-321. [In Persian]. <https://doi.org/10.1001.1.22520163.1395.6.3.4.6>
- Prado, S.A., Gallardo, J.M., Kruk, B.C. and Miralles, D.J., 2017. Strategies for yield determination of bread wheat and two-row barley growing under different environments: A comparative study. *Field Crops Research*, 203, pp.94-105. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.013>
- Regan, K.L., Siddique, K.H.M., Tennant, D. and Abrecht, D.G., 1997. Grain yield and water use efficiency of early maturing wheat in low rainfall Mediterranean environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48(5), pp.595-603. <https://doi.org/10.1071/a96080>
- Richards, R.A., 1991. Crop improvement for temperate Australia: Future opportunities. *Field Crops Research*, 26(2), pp.141-169. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90033-r](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90033-r)
- Richards, R.A., Rebetzke, G.J., Condon, A.G. and van Herwaarden, A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Science*, 42(1), pp.111-121. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.0111>
- Rodriguez, D. and Sadras, V.O., 2007. The limit to wheat water-use efficiency in eastern Australia. I. Gradients in the radiation environment and atmospheric demand. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(4), pp.287-302. <https://doi.org/10.1071/ar06135>
- Sharma, D.L., D'Antuono, M.F., Anderson, W.K., Shackley, B.J., Zaicou-Kunesch, C.M. and Amjad, M., 2008. Variability of optimum sowing time for wheat yield in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(11), pp.958-970. <https://doi.org/10.1071/ar07406>

- Tavakoli, A., 2014. Effects of sowing date and single irrigation on yield and yield components of rainfed barley cultivars. *Iranian Journal of Dryland Agricultural Science*, 2(2), pp.53-68. [In Persian].
<https://doi.org/10.22092/idadj.2014.100254>
- Ullah, N. and Chenu, K., 2019. Impact of post-flowering heat stress on stay-green and grain development in wheat. *Proceedings of the 2019 Agronomy Australia Conference*, 25–29 August 2019, Wagga Wagga, Australia.

Reaction of the henna plant (*Lawsonia inermis* L.) to salicylic acid and sodium nitroprusside as growth stimulants under drought stress

Faramarz Chamani ^a, Hassan Farahbakhsh ^{*b}, Amin Pasandi Pour ^c

^a Ph.D. Student, Genetic and Plant Production Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^b Genetic and Plant Production Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^c Ph.D. Graduated, Genetic and Plant Production Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

*Corresponding Author: Hfarahbakhsh@uk.ac.ir

Received: 9 October 2024

Accepted: 11 December 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.482681.1442

How to cite this article:

Chamani, F., Farahbakhsh, H. and Pasandi Pour, A., 2025. Reaction of the henna plant (*Lawsonia inermis* L.) to salicylic acid and sodium nitroprusside as growth stimulants under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 627-637.
<https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.482681.1442>

Abstract

Introduction: Henna, or *Lawsonia inermis* L., is a plant native to Southwest Asia and North Africa from the Lythraceae family that possesses many biological properties, including antifungal, antibacterial, and antioxidant activities. Henna is a valuable medicinal and ornamental plant with various applications in the cosmetic, pharmaceutical, and dyeing industries. Drought stress is one of the most significant factors limiting the growth and survival of plants in various regions of Iran, as it affects the physiological and biochemical activities of plants by reducing soil water capacity. The phytohormone salicylic acid, which is based on phenols, regulates several essential physiological functions of plants, including transpiration, photosynthesis, ion transport, and water uptake. Sodium nitroprusside is a nitric oxide-releasing chemical. Nitric oxide is a small gaseous signaling molecule in plants that is crucial for growth and development under both biotic and abiotic stress conditions, as well as in natural physiological settings.

Materials and Methods: This experiment was conducted in Qaleh Ganj city, Kerman province, using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications in 2021. The main factor included three levels of drought stress (50%, 75%, and 95% of field capacity), while the sub-factor involved foliar spraying (control, salicylic acid, sodium nitroprusside, and a combination of salicylic acid and sodium nitroprusside). Seeds of the henna plant (Roodbar ecotype) were obtained from the Faculty of Agriculture at Bahonar University. Table 1 presents the soil characteristics of the experimental site. Planting was carried out directly in the main field, with a density of 20 plants per square meter. The growth regulator solution was sprayed at the five-leaf stage of the plants. Drought stress treatment continued until harvest, and the foliar treatment was applied only at the five-leaf stage. After removing the marginal effects, the existing plants were harvested, and the leaf yield was



determined. The planting date for the henna plant was April 1, and the harvesting date was November 5.

Results and Discussion: Drought stress reduced the number of leaves per plant, as well as biological and leaf yields, while increasing the activity of polyphenol oxidase and superoxide dismutase, along with the levels of total phenolic compounds and anthocyanins in henna plants. The combined application of salicylic acid and sodium nitroprusside significantly affected most of the traits studied. The application of this combination increased the number of leaves per plant by 10.07%, the activity of the polyphenol oxidase enzyme by 22.22%, the total phenolic content by 7.18%, biological yield by 8.54%, and leaf yield by 21.97%. Using the combination of salicylic acid and sodium nitroprusside enhanced the antioxidant defense system of the henna plant.

Conclusion: In general, the results of this study indicated that drought stress negatively affected the metabolism of the henna plant, resulting in a decrease in the number of leaves per plant, as well as biological and leaf yields. Drought stress also increased the activity of the enzymes polyphenol oxidase and superoxide dismutase, along with the levels of total phenolic compounds and anthocyanins. However, the application of a combination of salicylic acid and sodium nitroprusside increased the number of leaves per plant, enhanced antioxidant enzyme activity, and improved phenolic content, biological yield, and leaf yield.

Keywords: Anthocyanin, Leaf yield, Superoxide dismutase, Total phenolic

واکنش گیاه حنا (*Lawsonia inermis* L.) به محرک‌های رشدی اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید تحت تنش خشکی

فرامرزی چمنی^۱، حسن فرح بخش^{۲*}، امین پسندی پور^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 ۳- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 *مسئول مکاتبه: Hfarahbakhsh@uk.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.482681.1442

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

چکیده

برای بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید بر صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه حنا تحت تنش خشکی، یک آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان قلعه گنج استان کرمان در سال زراعی ۱۴۰۰ اجرا شد. در این آزمایش، عامل اصلی شامل سه سطح تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد ظرفیت زراعی) و عامل فرعی شامل محلول پاشی (شاهد، اسید سالیسیلیک، سدیم نیتروپروساید و ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) در نظر گرفته شد. تنش خشکی شدید موجب کاهش تعداد برگ در بوته (۲۴/۲۲ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۳۷/۴۵ درصد) و عملکرد برگ (۳۱/۵۳ درصد) گردید، همچنین تنش شدید باعث افزایش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (۵۰ درصد)، میزان فنول (۳۸/۰۲ درصد) و آنتوسیانین (۳۱/۲۹ درصد) در گیاهان حنا شد. کاربرد اسید سالیسیلیک به همراه سدیم نیتروپروساید تعداد برگ در بوته (۱۰/۰۷ درصد)، فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (۲۲/۲۲ درصد)، میزان فنول (۷/۱۸ درصد)، عملکرد بیولوژیک (۸/۵۴ درصد) و عملکرد برگ (۲۱/۹۷ درصد) را افزایش داد. نتایج به دست آمده نشان داد که کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید می‌تواند سبب تقویت سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی گیاه حنا شود. لذا استفاده توأم اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید را می‌توان به عنوان یک تنظیم‌کننده بالقوه رشد جهت کشت حنا در شرایط محدودیت آب پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، سوپراکسید دیسموتاز، فنول، عملکرد برگ

مقدمه

استفاده جامع از منابع طبیعی (زمین، هوا و آب) و در نتیجه باعث کمبود آب در سراسر جهان شده است. در نتیجه، دسترسی به آب شیرین تا ۲۰ درصد کاسته شده و برآورد شده است که حدود ۳/۲ میلیارد نفر در شرایط کمبود آب زندگی کنند (Cheeseman, 2016). علاوه بر این، کیفیت آب موجود نیز در این مناطق رو به وخامت است. تغییر ناگهانی عوامل محیطی باعث کاهش آب قابل دسترس و ایجاد تنش خشکی در سیستم‌های کشاورزی می‌شود (FAO, 2020). گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های مختلف محیطی مواجه می‌شوند. هر کدام از این تنش‌ها می‌توانند با توجه به میزان حساسیت گیاه و مرحله رشدی آن، بر رشد و عملکرد گیاه اثرات گوناگونی بگذارند. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، می‌تواند به طور قابل توجهی روند رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان

حنا با نام علمی (*Lawsonia inermis* L.) گیاهی چندساله و دولپه است که منشا آن شمال آفریقا و جنوب شرقی آسیا می‌باشد. این گیاه در مناطق گرمسیری به عنوان گیاه زینتی کشت می‌شود و از برگ‌های آن رنگی طبیعی به دست می‌آید. گیاه حنا دارای برگ‌های زیاد و بدون کرک است. برگ‌های حنا کوچک، بیضوی و نوک تیز هستند که به صورت متقابل روی شاخه‌ها قرار دارند. برگ‌های حنا همانند برگ‌های درخت چای به صورت سه چین در سال برداشت می‌گردند. مرغوب‌ترین و با کیفیت‌ترین چین حنا، چین نخست می‌باشد. زمان برداشت حنا با توجه به اقلیم منطقه و تعداد دفعات چین تفاوت دارد و از تیرماه تا آبان ماه می‌باشد (Farahbakhsh and Pasandi pour, 2018).

جمعیت رو به رشد انسانی یک عامل کلیدی برای افزایش

بنابراین، هدف اصلی این مطالعه بررسی این موضوع بود که آیا اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید می‌توانند تحمل به خشکی حنا را با تعدیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی افزایش دهند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شهرستان قلعه گنج استان کرمان به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عامل اصلی شامل سه سطح تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد ظرفیت زراعی) و عامل فرعی شامل محلول پاشی (شاهد، اسید سالیسیلیک، سدیم نیتروپروساید و ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید) بود. بذر گیاه حنا (اکوتیپ رودبار) از دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر کرمان تهیه شد. کاشت در تاریخ اول فروردین ماه سال ۱۴۰۰ و برداشت در تاریخ ۵ آبان ماه سال ۱۴۰۰ انجام گرفت. ویژگی‌های خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. کشت به صورت مستقیم در زمین اصلی انجام و تراکم بوته به میزان ۲۰ بوته در متر مربع لحاظ گردید. ابعاد هر کرت ۲×۳ متر بود. در مزرعه کرتی به ابعاد یک متر در یک متر در نظر گرفته شد و خاک آن اشباع گردید. سپس سطح خاک برای جلوگیری از تبخیر سطحی با نایلون پوشانده شد. در بازه‌های زمانی دوازده ساعت از خاک نمونه‌برداری گردید و رطوبت آن به روش وزنی تعیین شد. پس از ۴۸ ساعت تفاوت رطوبت بین دو بازه متوالی محاسبه و به عنوان رطوبت ظرفیت زراعی تعیین گردید. همزمان با دستگاه TDR هم رطوبت تعیین گردید. طی زمان کاشت با استفاده از دستگاه TDR رطوبت اندازه‌گیری شد. حجم آب مورد نیاز با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین گردید. حجم آب مصرفی با استفاده از کنتور آب کنترل شد.

$$H = \rho b(\theta_{FC} - \theta_m) \times D \quad (1)$$

$$V = H \times A \quad (2)$$

در رابطه ۱ و ۲، H نشان‌دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک، θ_{FC} رطوبت در حد ظرفیت زراعی، θ_m رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری در کرت و A مساحت کرت است. محلول پاشی تنظیم‌کننده رشد در مرحله پنچ

زراعی، باغی و دارویی را کاهش دهد (Heidari and Minaei, 2014).

اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنولی است که به عنوان یک تنظیم‌کننده هورمونی شناخته شده است و نقش حیاتی در راهبردهای دفاعی در مقابله با تنش‌های زیستی و غیر زیستی را بر عهده دارد. استفاده از اسید سالیسیلیک به صورت خارجی می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاهان در مواجهه با تنش‌های خشکی و شوری شود (Zafar et al., 2021). اسید سالیسیلیک نقشی بنیادین در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارد. از جمله این فرآیندها می‌توان به رشد و نمو گیاه، فتوسنتز و جوانه‌زنی، رسیدگی و پاسخ‌های دفاعی به شرایط محیطی اشاره کرد (Miura and Tada, 2014). اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا کاسته و در نتیجه از پایداری غشا در برابر تنش‌های مختلف، محافظت می‌کند (Hassan and Ali, 2014).

اکسیدنیتریک رها شده از سدیم نیتروپروساید به عنوان یک مولکول مهم انتقال پیام درون‌زا در بسیاری از فرآیندهای مختلف رشد و نمو گیاه از جمله خواب بذر، جوانه زنی بذر، رشد اولیه ریشه، گلدهی، حرکات روزنه‌ای، فتوسنتز، عملکرد میتوکندری، پیری، متابولیسم گیاه و مرگ سلولی نقش دارد (Nabaei and Amooaghaie, 2019). همچنین، اکسید نیتریک در فعالیت‌های مختلف مانند نگهداری آب در برگ، بیان ژن ATPase، حفظ تعادل یونی بین K^+ و Na^+ ، افزایش بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانت مانند آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، گلووتاتیون پراکسیداز و بهبود تجمع پرولین و کاهش تولید و تجمع پراکسید هیدروژن دخالت دارد (Karthik et al., 2019). حنا یک گیاه دارویی و زینتی است که به داشتن تحمل در برابر تنش خشکی شناخته شده است، اما مکانیسم‌های زیربنایی سازگاری آن به خوبی شناخته نشده است. بنابراین، مطالعه پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی حنا به تنش خشکی می‌تواند بینشی در مورد استراتژی‌ها و مسیرهای دخیل در تحمل به تنش گیاهی ارائه دهد. اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید به عنوان مولکول‌های سیگنال‌دهنده و تعدیل‌کننده‌های سیستم‌های دفاعی گیاهان شناخته می‌شوند. با این حال، تا آنجا که ما می‌دانیم، اثرات آنها بر حنا پیش از این گزارش نشده است.

برگی گیاه صورت گرفت. اعمال تیمار آبیاری تا زمان برداشت ادامه داشت و تیمار محلول پاشی فقط در مرحله ۵ برگی اعمال گردید. برای تعیین عملکرد برگ پس از حذف اثر حاشیه ای به ابعاد یک در یک متر مربع بوته‌های موجود برداشت شد و عملکرد برگ تعیین گردید.

برگی گیاه صورت گرفت. اعمال تیمار آبیاری تا زمان برداشت ادامه داشت و تیمار محلول پاشی فقط در مرحله ۵ برگی اعمال گردید. برای تعیین عملکرد برگ پس از حذف اثر حاشیه ای به ابعاد یک در یک متر مربع بوته‌های موجود برداشت شد و عملکرد برگ تعیین گردید.

محاسبات آماری

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند. نرمالیته داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب بررسی شد.

نتایج و بحث

تعداد برگ در بوته

تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر تعداد برگ در بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل تنش خشکی و تنظیم‌کننده رشد معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین تعداد برگ در بوته به سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی با ۲۱۹/۰۸ برگ در بوته اختصاص داشت، در حالی که کمترین تعداد برگ در بوته مربوط به سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی با ۱۶۶ برگ در بوته بود (جدول ۳). استفاده از ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید سبب افزایش ۱۰/۰۷ درصدی تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). با ادامه پیدا کردن تنش خشکی، هورمون اتیلن افزایش می‌یابد و در نتیجه برگ‌ها به سرعت پیر شده و از بوته ریزش می‌کنند که این امر منجر به کاهش تعداد برگ در گیاه می‌شود (Taiz and Zeiger, 2010). در تحقیقی روی گیاه گوار نشان دادند که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش عوارض ناشی از تنش خشکی شده و در نتیجه تعداد برگ در بوته را بهبود بخشید (Chamani et al., 2018).

استفاده از نیتریک اکسید در سویا با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تجمع اسمولیت‌های سازگار و جلوگیری از نشت یون، نتایج مفیدی را در پی داشت. در نتیجه با کاهش اثرات منفی تنش خشکی سبب رشد بهتر گیاه گردید (Rezayian et al., 2020).

سنجش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO)

برای انجام این آزمایش، مخلوط واکنش شامل ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی، ۱ میلی‌لیتر کاتکول با غلظت ۰/۰۴ میلی‌مولار و ۴۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌مولار (PH=6/8) بود. میزان جذب نور در طول موج ۴۱۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه ثبت شد و فعالیت آنزیمی به ازای یک واحد وزن تر بر حسب گرم فرآورده خشک بیان گردید. از محلول حاوی تمام مواد مذکور به جز عصاره خام به‌عنوان بلنک استفاده شد (Raymond et al., 1993).

سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به روش (Giannopolitis and Ries, 1977) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۲۵ سی‌سی از فسفات پتاسیم با PH=7/8 تهیه شد. به این محلول ۱۳ میلی‌مولار میتیونین، ۷۵ میکرومولار NBT، ۲ میکرومولار ریوفلاوین و ۰/۱ میلی‌مولار EDTA به حجم ۲۵۰ سی‌سی اضافه گردید. سپس جذب نور در طول موج ۵۶۰ نانومتر محاسبه شد.

سنجش فنل کل

مخلوط واکنش از ۱۲/۵ میکرولیتر عصاره متانولی رقیق شده با ۲۰۰ میکرولیتر آب مقطر و ۱۲/۵ میکرولیتر معرف Folin-Ciocalteu (۵۰ درصد) تهیه شد و به مدت سه دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس ۲۵ میکرولیتر Na_2CO_3 به مخلوط فوق افزوده شد. سپس مخلوط حاصل به مدت یک ساعت در تاریکی قرار داده شد. میزان جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر ثبت گردید (Su et al., 2019).

آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین از روش واگنر استفاده شد (Wagner, 1979). ۰/۱ گرم از برگ گیاه در هاون با ۱۰

آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO)

بر اساس تجزیه و تحلیل واریانس مشخص شد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری و تنظیم کننده رشد روی فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنادار است (جدول ۲). فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز با افزایش سطح تنش خشکی افزایش یافت، به طوری که در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان فعالیت این آنزیم به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد نسبت به سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی افزایش یافت (جدول ۳). همچنین، استفاده از تیمار محلول پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید، منجر به افزایش ۲۲/۲۲ درصدی فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۴). همزمان با افزایش تنش خشکی روزه‌ها بسته می‌شوند، در نتیجه میزان جذب CO_2 کاهش پیدا می‌کند. این امر منجر به افزایش انرژی داخلی می‌شود و ظرفیت انتقال الکترون در فتوسنتز به سمت تجمع افزایش می‌یابد. این افزایش باعث افزایش غلظت گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود که منجر به تخریب پروتئین‌ها و اکسیداسیون DNA و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود. در نتیجه، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی به‌ویژه آنزیم پلی فنول اکسیداز فعال تر خواهد شد (Farahbakhsh and Pasandi, 2018). تحقیقات نشان داده است که استفاده از اسید

سالیسیلیک با کاهش نشت الکترولیت سبب حفاظت از ساختار غشای سلولی در برابر اکسیداسیون می‌شود. این امر نشان‌دهنده بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) در برابر گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشد (Khalvandi et al., 2021). کاربرد نیتریک اکسید روی گیاهان سویا با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی منجر به مهار رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش عوارض زیان‌بار ناشی از تنش خشکی بر گیاهان گردید (Rezayian et al., 2020).

آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)

تأثیر تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به صورت معنادار مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد، در حالی که کمترین فعالیت این آنزیم در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). در یک تحقیق بر روی انواع مختلف سیب‌زمینی گزارش شده است که در شرایط تنش، عملکرد آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) باعث کنترل تولید گونه‌های اکسیژن فعال از جمله اکسیژن مولکولی (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شود (Shi et al., 2015).

جدول ۱- مختصات جغرافیایی و خصوصیات شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Geographical coordinates and soil chemical characteristics of the experimental site

موقعیت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بافت خاک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مواد آلی
Location	Latitude	Longitude	Soil texture	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (dS m^{-1})	SOM (%)
Qaleh Ganj, Kerman, Iran	27.52350880 N	57.87933420 E	Loam-sand	0.08	15.8	280	7.8	1.8	0.05

است که آنتوسیانین‌ها نقش‌های بیولوژیکی متنوعی در پاسخ به تنش‌های محیطی دارند (Chanoca et al., 2015).

فنول کل

با استناد به نتایج تجزیه و تحلیل واریانس، مشخص شد که تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر میزان فنول تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲). با بالا رفتن شدت تنش خشکی میزان فنول افزایش یافت، به گونه‌ای که بیشترین میزان فنول مربوط به سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کمترین

آنتوسیانین

مشاهده شد که میزان آنتوسیانین به طور معنادار تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته است (جدول ۲). میزان آنتوسیانین در سطوح ۹۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تغییر معنی‌داری نکرد، اما با افزایش شدت تنش خشکی از تنش متوسط به تنش شدید، میزان این صفت به نسبت ۳۳/۱۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳). آنتوسیانین‌ها گروهی از فلاونوئیدهای محلول در آب هستند که به‌طور قابل توجهی در پاسخ به استرس‌های محیطی تجمع می‌یابند. این تجمع نشان‌دهنده این

باعث ارتقای مقاومت گیاهان در برابر تنش اکسیداتیو می‌گردند (Izadi and Mirazi, 2021). کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش تجمع ترکیباتی نظیر فنول‌ها، پروتئین‌ها و دی‌ساکاریدها در برگ‌ها می‌شود، که این اقدام منجر به حفاظت گیاه در مقابل تنش می‌شود (Khan et al., 2019). نتایج تحقیقات بر روی گیاه مرزنجوش نشان می‌دهد که استفاده از سدیم نیتروپروساید هنگام تنش خشکی سبب افزایش ترکیبات فنولی می‌شود (Farouk and Al-Huqail, 2020).

میزان فنول مربوط به سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). استفاده از محلول‌پاشی ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش ۷/۱۸ درصدی میزان فنول شد (جدول ۴). یکی از مکانیسم‌های دفاعی غیر آنزیمی گیاهان در مقابل تنش اکسیداتیو برآمده از تنش خشکی، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولی هستند. این ترکیبات به عنوان مهارکننده گونه‌های اکسیژن فعال عمل کرده و سبب ثبات غشاهای سلولی می‌شوند، از پراکسیداسیون لیپیدها ممانعت به عمل آورده و

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس برای صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه حنا

Table 2- Results of Variance Analysis for morphological and physiological traits of the Henna plant

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ در بوته	آنزیم پلی فنول اکسیداز	آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز	فنل کل	آنتوسیانین	عملکرد بیولوژیک	عملکرد برگ
SOV	df	Number of leaves per plant	ppo ($\mu\text{M min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$)	SOD ($\mu\text{M min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{protein}$)	Total Phenolic ($\text{mg g}^{-1} \text{FW}$)	Anthocyanin ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)	Biological yield (kg/ha)	Leaf yield (kg/ha)
بلوک	2	1.08	0.000009	0.03	0.07	0.001	2541229	1011225
Block (a) تنش خشکی								
Drought stress	2	8458.58**	0.003**	1.31**	10.06**	0.008*	24585231*	3492558.33**
خطای (الف)	4	32.66	0.00001	0.014	0.077	0.0007	2791053.83	281758.33
Error (a) تنظیم کننده رشد								
(ب)	3	560.62**	0.0003**	0.009 ^{ns}	0.23**	0.0001 ^{ns}	480920*	33943.51**
PGRs (b) اثر متقابل (الف ب)								
Interaction (a×b)	6	15.76 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	71334 ^{ns}	7399.07 ^{ns}
خطای (ب)	18	36.91	0.00002	0.002	0.01	0.00002	169058	2236.11
Error (b) ضریب تغییرات								
C.V. (%)		3.16	4.65	10.51	5.14	2.98	6.68	16.32

**، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و ۵ درصد و غیر معنی‌داری می‌باشند.

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

شدید منجر به کاهش ۴۵/۳۷ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۳).

کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گردید اما تفاوت معنی‌داری با تیمارهای محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید و اسید سالیسیلیک نداشت (جدول ۴). با توجه به کاهش طول دوره

عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها، تأثیر تنش خشکی و تنظیم‌کننده رشد بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). میزان عملکرد بیولوژیک در سطوح ۹۵ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت اما تنش خشکی

رشد گیاه و پیری زودرس برگ هنگام وقوع تنش خشکی، ماده خشک نیز کاهش می‌یابد (Shoushi Dezfuli *et al.*, 2022). ظرفیت فتوسنتزی برگ کاهش می‌یابد که در نتیجه، عملکرد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه حنا

Table 3- Comparison of the Average Effects of Different Levels of Drought Stress on the Morphological and Physiological Characteristics of the Henna Plant.

تنش خشکی Drought stress	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	آنزیم پلی فنول اکسیداز		فنل کل Phenolic (mg g ⁻¹ FW)	آنتوسیانین Anthocyanin (μmol g ⁻¹ FW)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	عملکرد برگ Leaf yield (kg/ha)
		PPO (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	SOD (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)				
95 %FC	219.08a	0.08c	0.16c	4.76c	0.147b	7629.43a	3411.67a
75 % FC	191.42b	0.10b	0.45b	5.46b	0.145b	6052.18a	2945b
50 %FC	166c	0.12a	0.82a	6.57a	0.193a	4771.86b	2335.83c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, according to Duncan's test.

جدول ۴- تأثیر سطوح تنظیم کننده رشد روی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه حنا.

Table 4- Effects of growth regulator levels on morphological and physiological traits of the Henna plant.

سطوح تنظیم کننده رشد PGRs	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	آنزیم پلی فنول اکسیداز		فنل کل Total Phenolic (mg g ⁻¹ FW)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	عملکرد برگ Leaf yield (kg/ha)
		PPO (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)	PPO (μM min ⁻¹ mg ⁻¹ protein)			
Control	182c	0.09c	0.09c	5.43b	5845.58b	2446.67b
SA	195.89b	0.10b	0.10b	5.59b	6099.56ab	2895.56b
SNP	190.44ab	0.10b	0.10b	5.55b	6314.18a	2863.33b
SA+SNP	200.33a	0.11a	0.11a	5.82a	6345.30a	2984.44a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level, according to Duncan's test..

یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد برگ در سطح آبیاری ۹۵ درصد ظرفیت زراعی (۳۴۱۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. هم‌چنین کمترین مقدار عملکرد برگ (۲۳۳۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار) در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد (جدول ۳). کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید سبب افزایش عملکرد برگ نسبت به سایر تیمارهای محلول پاشی گردید (جدول ۴). کاهش زیست توده در شرایط تنش خشکی شدید ممکن است ناشی از تأثیرات چندگانه در زمینه‌های مختلف باشد، از جمله تأثیرات بر رشد و رویش گیاه، عملکرد سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی، متابولیسم نیتروژن و فشار آماز سلولی که به دلیل کاهش سطح برگ ایجاد می‌گردند (Bandurska, 2022).

در آزمایشی گلدانی با محلول پاشی اسید سالیسیلیک به

کاربرد اسید سالیسیلیک موجب ازدیاد فعالیت آنتی اکسیدانی در غشای سلولی می‌گردد، که این اقدام منجر به افزایش تجمع لیگنین در ساختار دیواره سلولی می‌گردد. این عمل احتمال دارد نقش مهمی در افزایش وزن ماده خشک گیاه در شرایط تنش کمبود آب ایفا نماید (Nasiri Kaleibar *et al.*, 2022). در مطالعه‌ای روی ذرت، نشان دادند که استفاده از اسید سالیسیلیک منجر به ازدیاد شاخص سطح برگ می‌شود. با افزایش شاخص سطح برگ دریافت نور خورشید بیشتر می‌شود و در نتیجه، عملکرد بیولوژیک ذرت افزایش پیدا می‌کند (Tohidi and Falahi, 2016).

عملکرد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش خشکی و تنظیم کننده رشد بر عملکرد برگ گیاه حنا در سطح احتمال

آنتوسیانین را افزایش داد. استفاده از ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید سبب افزایش تعداد برگ در بوته، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، میزان فنول، عملکرد بیولوژیک و عملکرد برگ گردید. کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید باعث بهبود وضعیت برخی صفات اندازه‌گیری شده در گیاهان حنا تحت تنش خشکی شد که حاکی از مکانیسم‌های تاثیرگذاری آن‌ها در برابر تنش خشکی می‌باشد. در مجموع چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد ترکیب اسید سالیسیلیک و سدیم نیتروپروساید با حفاظت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو باعث بهبود رشد و افزایش مقاومت به تنش خشکی می‌گردند و در نهایت با توجه به ارزان و در دسترس بودنشان، استفاده از این دو محرک رشد در مناطق خشک و کم آب توصیه می‌گردد.

References

- Bandurska, H., 2022. Drought stress responses: Coping strategy and resistance. *Plants*, 11(7), 922. <https://doi.org/10.3390/plants11070922>
- Chamani, F., Tohidi Nejad, E. and Mohayjeji, M., 2018. Effect of drought tension and salicylic acid on some morphophysiological and agronomic traits of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Crop Physiology Journal*, 10(40), pp.5-18. [In Persian].
- Chanoca, A., Kovinich, N., Burkel, B., Stecha, S., Bohorquez-Restrepo, A., Ueda, T., Eliceiri, K.W., Grotewold, E. and Otegui, M.S., 2015. Anthocyanin vacuolar inclusions form by a microautophagy mechanism. *Plant Cell*, 27, pp.2545-2599. <https://doi.org/10.1105/tpc.15.00589>
- Cheeseman, J., 2016. Food security in the face of salinity, drought, climate change, and population growth. In *Halophytes Food Security Dry Lands* (pp.111-123). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801854-5.00007-8>
- FAO., 2020. *The State of Food And Agriculture 2020: Overcoming Water Challenges in Agriculture*. FAO, Rome.
- Farahbakhsh, H. and Pasandi Pour, A., 2018. Physiological response of henna, medicinal-industrial plant, to application of salicylic acid under drought stress. *Plant Process and Function*, 6(19), pp.233-246. [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1396.6.19.17.5>
- Farouk, S. and Al-Huqail, A.A., 2020. Sodium nitroprusside application regulates antioxidant capacity, improves phytopharmaceutical production and essential oil yield of marjoram herb under drought. *Industrial Crops and Products*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113034>
- Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59, pp.309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
- Hassan, F.A.S. and Ali, E.F., 2014. Protective effects of 1-methylcyclopropene and salicylic acid on senescence regulation of gladiolus cut spikes. *Scientia Horticulturae (Amsterdam)*, 179, pp.146-152. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.025>

شاخ و برگ گیاهان گندم نتیجه گرفتند که به دلیل بهبود در تمام ویژگی‌های رشد از جمله ارتفاع گیاه، تعداد و مساحت برگ‌های سبز و قطر ساقه، عملکرد افزایش پیدا کرد (Hussein *et al.*, 2007). استفاده از سدیم نیتروپروساید به طرز چشمگیری زیست توده گیاهان گندم تحت شرایط تنش را بهبود بخشید (Jabeen *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش خشکی بر متابولیسم گیاه حنا اثر منفی گذاشته و منجر به کاهش تعداد برگ در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد برگ در هکتار شده است. تنش خشکی همچنین سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد و میزان فنول و

- Heidari, M. and Minaei, M., 2014. Effects of drought stress and humic acid application on flower yield and content of macro-elements in medical plant borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Production Research*, 21(1), pp.167-182. [In Persian]. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1393.21.1.9.9>
- Hussein, M.M., Balbaa, L.K. and Gaballah, M.S., 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3, pp.321-328.
- Izadi, Z. and Mirazi, N., 2021. Effect of foliar application of sodium nitroprusside on some morphological, physiological and biochemical properties of marigold plant (*Calendula officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Plant Production Technology*, 21(1), pp.1-17. <https://doi.org/10.22084/ppt.2021.22615.2018>
- Jabeen, Z., Fayyaz, H.A., Irshad, F., Hussain, N., Hassan, M.N., Li, J., Rehman, S., Haider, W., Yasmin, H., Mumtaz, S., Bukhari, S.A.H., Khalofah, A., Al-Qthanin, R.N. and Alsubeie, M.S., 2021. Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *PLoS One*, 16(4), e0248207. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248207>
- Karthik, S., Pavan, G., Krishnan, V., Sathish, S. and Manickavasagam, M., 2019. Sodium nitroprusside enhances regeneration and alleviates salinity stress in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 101173.. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101173>
- Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E. and Keramati, S., 2021. Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908>
- Khan, N., Bano, A. and Babar, M.A., 2019. Metabolic and physiological changes induced by plant growth regulators and plant growth promoting rhizobacteria and their impact on drought tolerance in *Cicer arietinum* L. *PLoS One*, 14, 1-21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213040>
- Miura, K. and Tada, Y., 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00004>
- Nabaei, M. and Amooaghaie, R., 2019. Interactive effect of melatonin and sodium nitroprusside on seed germination and seedling growth of *Catharanthus roseus* under cadmium stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66, pp.128-139. <https://doi.org/10.1134/s1021443719010126>
- Nasiri Kaleibar, A., Salteh, S.A., Zaare Nahandi, F. and Adlipour, M., 2022. Salicylic acid and fulvic acid foliar application influence on growth, some physiological responses and essential oil content of *Thymus vulgaris* L. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), pp.165-178. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.44931.2654>
- Raymond, J., Rakariyatham, N., Azanza, J.L., 1993. Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. *Phytochemistry*. 34(4), pp.927-931. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(00\)90689-7](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(00)90689-7)
- Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H. and Niknam, V., 2020. Nitric oxide stimulates antioxidant system and osmotic adjustment in soybean under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, pp.1122-1132. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00198-x>

- Shi, S., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z. and Jia, L., 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. *International Journal of Plant Production*, 9, pp.305-320.
- Shoushi Dezfuli, A., Khoramian, M. and Assareh, A., 2022. Effect of drought stress on photosynthetic parameters, yield and yield components of tropical alfa alfa genotypes. *Plant Production*, 44(4), pp.545-558. [In Persian]. <https://doi.org/10.22055/ppd.2021.35110.1942>
- Su, Z., Hu, M., Gao, Z., Li, M., Yun, Z., Pan, Y., Zhang, Z. and Jiang, Y., 2019. Apple polyphenols delay senescence and maintain edible quality in litchi fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 157, 110976. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110976>
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2010. *Plant Physiology*. (5th ed.). Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Tohidi, M. and Falahi, R., 2016. Evaluation of yield and yield components of maize by foliar application of salicylic acid. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(39), pp.645-656. [In Persian]. <https://sanad.iau.ir/en/article/956837>
- Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extravacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. *Plant Physiology*, 64, pp.88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>
- Zafar, Z., Rasheed, F., Atif, R.M., Maqsood, M. and Gailing, O., 2021. Salicylic acid-induced morpho-physiological and biochemical changes triggered water deficit tolerance in *Syzygium cumini* L. saplings. *Forests*, 12(4), 491. <https://doi.org/10.3390/f12040491>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 639-652

Effect of seeding rate and harvesting time on forage yield and some agronomic characteristics of two sorghum cultivars

Ahmad Ghasemi ^{*a}, Mohammad Reza Asgharipour ^b, Ali Shahraki ^a

^a Crop and Horticultural Science Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

^b Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: ghasemiahmad@yahoo.com

Received: 14 June 2024

Accepted: 31 October 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.347000.1247

How to cite this article:

Ghasemi, A., Asgharipour, M.R. and Shahraki, A., 2025. Effect of seeding rate and harvesting time on forage yield and some agronomic characteristics of two sorghum cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 639-652. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.347000.1247>

Abstract

Introduction: As regards the decrease of underground water level and the limitation of water resources in Iran, and considering the drought tolerance of sorghum cultivars, with the production of this product, it is hoped that a step will be taken to meet the country's need for fodder. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is considered one of the important fodder plants in arid and semi-arid regions of Africa and Asia, which has high photosynthetic capacity, high nitrogen and water efficiency, and dual use of seed and fodder. Due to the fact that it is not possible to change genetic factors in the short term, therefore, through changing environmental factors can improve the nutrients consumed by livestock from fodder plants. Among the environmental factors, the maturity stage of the plant has the greatest effect on the ability to digest forage plants. By delaying the harvest time of sorghum, the yield of fresh and dry fodder and crude fiber increased, and crude protein, ash percentage, and number of leaves decreased. The purpose of this study is to investigate the effect of seed rate and different stages of sorghum harvesting on fodder yield and agronomic characteristics of two fodder sorghum cultivars.

Materials and Methods: This study investigated the effect of seeding rate and harvest stages on forage yield and some agronomic characteristics of two sorghum cultivars during the two years 2007 and 2008 at the Zahak Agricultural and Natural Resources Research Station using split-split plots with a randomized complete block design and three replications. Two sorghum cultivars (Speedfeed and a local landrace of Zabol) were considered as the main factor, harvest stages in four stages (botting, heading, soft dough, and hard dough) as sub-factors, and seeding rate at three levels (15, 20, and 25 kg/ha) as sub-sub-factors. The planting date was considered to be August 15. Each experimental plot consisted of 6 planting lines with a length of 7 meters. Harvesting was done from the four middle lines after removing the borders with an area of 12 square meters.

Results and Discussion: The results of composite variance analysis of the data showed that there was a significant difference at the 1% probability level between the treatments related to different harvest stages in terms of plant height. The process of height increase from the botting stage to the hard dough stage was incremental, so that the highest plant height, with an average of 164.2 cm, was related to the hard dough harvesting stage. Entering the reproductive stage of the plant causes the production of



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

leaves to stop, while the growth of the stems continues. Due to the stop of new leaf production and the fall of old leaves in the lower nodes of the plant, the share of leaves from dry matter decreased.

The effect of cultivar, harvest stage, and cultivar at harvest stage on the number of leaves per plant had a significant difference at the probability level of 1 percent. The highest number of leaves was related to the stage of harvesting the stem of the botting and heading, with an average of 9.10 and 8.72. With the delay in harvesting, the number of green leaves decreased.

The results of the analysis of variance showed that the effect of the harvesting stage on the yield of fresh and dry fodder was significant at the probability level of 1%. The increase in the yield of fresh and dry fodder showed that it was higher in the harvesting stages of soft dough and hard dough than in other harvesting stages. The delay in harvesting increases the lignin and maintenance tissues of the plant, which increases the yield of the forage in the plant.

Conclusion: In order to produce the desired fodder, it is recommended to cultivate the speedfeed variety with a seed rate of 20 kg per hectare and harvest at the soft dough stage.

Keywords: Cereal, Fresh forage, Hard dough, Soft dough, Tiller number

اثر میزان بذر و زمان برداشت بر عملکرد علوفه و برخی خصوصیات زراعی دو رقم سورگوم

احمد قاسمی^{*}، محمدرضا اصغری پور^۲، علی شهرکی^۱

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

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

* مسئول مکاتبه: ghasemiahmad@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.347000.1247

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثر میزان بذر و زمان برداشت بر عملکرد علوفه و برخی خصوصیات زراعی دو رقم سورگوم طی دو سال ۱۳۸۵-۱۳۸۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زهک در قالب کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. دو رقم سورگوم (رقم اسپیدفید و توده محلی زابل) به عنوان فاکتور اصلی، زمان برداشت در چهار مرحله رشدی (ساقه آغوش، خوشه‌دهی، خمیری نرم و خمیری سخت) به عنوان فاکتور فرعی و مقدار بذر در سه سطح (۱۵، ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور فرعی فرعی در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به دست آمده بین دو ژنوتیپ در مرحله‌های مختلف برداشت از لحاظ ارتفاع بوته، تعداد پنجه، تعداد برگ سبز، طول برگ، عملکرد علوفه تر و خشک تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک مربوط به رقم اسپیدفید و در مرحله برداشت خمیری سخت با میانگین ۴۹/۷۴۰ و ۱۵/۷۲۰ تن در هکتار مشاهده شد. میزان بذر بر تعداد پنجه، قطر ساقه، ارتفاع بوته و عملکرد علوفه تر تأثیر معنی‌دار داشت. بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش جهت دسترسی به عملکرد بالای علوفه تر و خشک، تعداد پنجه و ارتفاع بوته، طول برگ در سورگوم می‌توان زمان برداشت خمیری نرم در رقم اسپیدفید و مقدار بذر ۲۰ کیلوگرم در هکتار را توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: تعداد پنجه، خمیری سخت، خمیری نرم، علوفه تر، غلات

مقدمه

زمان نسبت به مراحل برداشت بعدی بود (Atis et al., 2012). تغییر در طول دوره رشد از طریق تأثیر بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سورگوم علوفه‌ای باعث تغییر ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه می‌شود. متوسط درصد برگ و ساقه بین ارقام مختلف سورگوم به ترتیب بین ۱۵ تا ۴۵ و ۴۵ تا ۸۵ درصد می‌باشد (Mastorilli et al., 1999). تأخیر در برداشت سورگوم، ۵۶ روز پس از کاشت نسبت به تاریخ‌های برداشت زودتر سبب افزایش تعداد پنجه در بوته، افزایش شاخص سطح برگ و افزایش وزن علوفه خشک گردید (Ziki et al., 2019). برداشت به موقع علوفه سورگوم، سبب تولید علوفه با کیفیت و برداشت با تأخیر باعث افزایش کمیت علوفه می‌گردد (Rahman et al., 2012). با تأخیر در برداشت سهم برگ در عملکرد از ۴۷ درصد به ۲۶ درصد کاهش پیدا می‌کند (Twidwell et al., 1998). با تأخیر در زمان برداشت سورگوم عملکرد علوفه تر و خشک و فیبر خام افزایش و پروتئین خام، درصد خاکستر و تعداد برگ کاهش یافت (Zamir et al.,

Sorghum bicolor L.) یکی از گیاهان علوفه‌ای مهم مناطق خشک و نیمه خشک آفریقا و آسیا محسوب می‌گردد که دارای توان فتوسنتز بالا، کارایی زیاد در استفاده از نیتروژن و آب و قابلیت استفاده دومنظوره از دانه و علوفه می‌باشد (Sanjana and Belum, 2019). سورگوم از نظر اهمیت در بین غلات در دنیا بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد. آمار سطح زیر کشت سورگوم در ایران در سال ۱۳۶۵ فقط شش هکتار گزارش شده که در سال ۱۳۹۸ به حدود ۳۷ هزار هکتار افزایش یافته است (Khazaie et al., 2019). کشت سورگوم با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر نسبت به ۴۵ سانتی‌متر و برداشت آن در ۹۰ روز نسبت به ۶۰ و ۷۰ روز پس از کاشت باعث افزایش تعداد برگ، عملکرد علوفه تر و خشک، پروتئین و خاکستر آن گردید (Chattha et al., 2017). مرحله ظهور پانیکول از نظر میزان ماده خشک، کم بودن لیگنین، میزان برگ، علوفه تر و میزان پروتئین بهترین

برداشت وجود دارد و اطلاعات موجود نیز به صورت تجربی می‌باشد لذا هدف از این مطالعه بررسی اثر مقدار بذر و زمان‌های مختلف برداشت بر عملکرد علوفه و خصوصیات زراعی دو رقم سورگوم علوفه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور تعیین بهترین مقدار بذر و زمان برداشت سورگوم طی دو سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان گردید. بر طبق تقسیم‌بندی آب و هوایی کوپن، منطقه سیستان دارای اقلیم بسیار خشک با تابستان گرم و زمستان ملایم است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریای آزاد ۴۸۳ متر، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی است. میانگین بارندگی سالانه ۵۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه ۵۰۰۰ میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش، از چند نقطه در مزرعه نمونه‌های خاک تهیه و آزمون خاک انجام شد. بر این اساس، بافت خاک مزرعه آزمایشی لومی‌شنی بود (جدول ۱).

آزمایش براساس طرح کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت گردید. تیمارهای مطالعه شامل ژنوتیپ (توده محلی زابل و رقم اسپیدفید) به عنوان عامل اصلی و زمان برداشت در چهار مرحله رشدی (ساقه‌آغوش، خوشه‌دهی، خمیری نرم و خمیری سخت) به عنوان عامل فرعی و مقدار بذر در سه سطح (۱۵، ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار) به عنوان عامل فرعی بودند. منشاء رقم اسپیدفید کشور استرالیا و در کشور ما از طریق هیبریداسیون سورگوم با سودانگراس تولید شده است (Fouman et al., 2016).

تاریخ کاشت ۱۵ مرداد ماه در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل ۶ خط کاشت به فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر به طول ۷ متر بود. برداشت از چهار خط میانی پس از حذف حاشیه‌ها به مساحت ۱۲ متر مربع صورت گرفت. مقدار کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک و براساس توصیه کودی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز صورت گرفت که مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره قبل از کاشت و ۱۰۰ کیلوگرم از این کود بعد از ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری به خاک داده شد. کود سوپر فسفات تریپل به

(2016). همچنین بررسی اثر تراکم بوته و رقم بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای نشان داد که از نظر عملکرد کل علوفه خشک لاین KFS1 در تراکم ۲۰ و رقم اسپیدفید در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع به ترتیب با میانگین ۲۶/۲ و ۲۲/۳ تن در هکتار بالاترین میزان علوفه خشک را دارا بودند (Azarinasrabad and Bazari, 2005). در مطالعه اثر چهار مرحله برداشت و چهار مقدار بذر بر تولید سه رقم سورگوم عنوان کردند که اثر رقم بر عملکرد کل معنی‌دار بود (Akash and Saoub, 2002). گزارش شده است که با افزایش تراکم کاشت سورگوم علوفه‌ای، ارتفاع ساقه به طور معنی‌داری افزایش و قطر ساقه، تعداد پنجه و سطح برگ در تک بوته کاهش یافت (Khaliliemohale et al., 2007). در بررسی اثر مرحله برداشت بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سورگوم علوفه‌ای (توده محلی قلمی طبسی، رقم F1104 و اسپیدفید) بیان شده است که اجزای عملکرد بجز تعداد پنجه در بوته تفاوت معنی‌داری با مرحله برداشت نشان دادند. ارتفاع بوته، درصد ساقه، پانیکول و عملکرد ماده خشک با تأخیر دو هفته‌ای در برداشت افزایش یافت، اما در آخرین مرحله برداشت که چهار هفته بعد از اولین برداشت بود ماده خشک و درصد برگ کاهش یافت (Rezvani Moghadam and Nasirimahallati, 2004). ماده خشک قابل هضم سورگوم در مرحله ساقه آغوش و پروتئین خام در دو مرحله ساقه‌دهی و ساقه‌آغوش در حداکثر مقدار خود بودند (Snyman and Jubert, 1999). با افزایش مقدار بذر در سورگوم عملکرد علوفه سبز و خشک، ارتفاع بوته، تعداد برگ و درصد ماده خشک افزایش یافت (Ayub et al., 2003). در واریته‌های جدید سورگوم علوفه‌ای با تأخیر در برداشت از مرحله خوشه‌دهی به مرحله خمیری نرم مقدار ماده خشک به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (Carmi et al., 2006). با افزایش تراکم در سورگوم، تعداد پنجه و قطر ساقه کاهش و ماده خشک، ارتفاع بوته و عملکرد علوفه تر افزایش یافت (May et al., 2016). بهترین مرحله برداشت در رقم شوگرگریز در شروع مرحله گل‌دهی بود (Abaduse and Rahnama, 2009). با توجه به اینکه در شرایط ترسالی کشت بهاره و تابستانه سورگوم بالغ بر ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی منطقه سیستان را به اختصاص می‌دهد (Anonymous, 2021) و اطلاعات علمی کمی در زمینه میزان بذر و مرحله مناسب

کامل همراه با ساقه، برگ و پانیکول به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه خشک کن قرار داده شد و عملکرد علوفه خشک به دست آمد. محاسبات آماری مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار آماری Mstat-C انجام گردید. مقایسه میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. قبل از تجزیه واریانس مرکب برای اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی آزمون بارتلت انجام و سپس تجزیه واریانس مرکب انجام شد.

مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت در نظر گرفته شد. آبیاری هر ۷ تا ۱۰ روز یک بار انجام گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد پنجه در بوته، تعداد برگ سبز، طول برگ، عملکرد علوفه تر و خشک بود. جهت تعیین صفات فوق از هر کرت ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌ها انجام و سپس میانگین این داده‌ها به دست آمد. برای تعیین عملکرد علوفه سبز کل کرت با حذف اثرات حاشیه برداشت و توزین گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک مقدار سه کیلوگرم علوفه تر شامل گیاه

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Results of experiment soil physicochemical analysis

سال Year	بافت Texture	pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ظرفیت مزرعه‌ای Field capacity (%)	نقطه پژمردگی دائم Wilting point	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	مس Cu	آهن Fe	کربن آلی OC (%)
۱۳۹۷ 2017	لومی-شنی Sandy-loam	8.2	3	13.1	5.3	11.0	100	0.26	0.57	2.83	0.32
۱۳۹۸ 2018	لومی-شنی Sandy-loam	8.1	3.1	13.2	5.5	11.1	106	0.23	0.54	2.634	0.36

علوفه‌ای از نظر تولید برگ و ارتفاع بوته نسبت به شاهد بهتر عمل کردند (Khavariekhorsani et al., 2010). برهمکنش رقم در مرحله برداشت بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته به ترتیب با میانگین ۲۱۵/۳ و ۲۰۲/۳ سانتی‌متر در رقم اسپیدفید و در مرحله برداشت خمیری سخت و نرم حاصل شد. کمترین ارتفاع بوته در رقم محلی و مرحله ساقه‌آغوش با میانگین ۹۳/۲ سانتی‌متر حاصل شد. رقم اسپیدفید در مرحله خمیری سخت نسبت به رقم محلی در این مرحله ۸۱ درصد افزایش ارتفاع نشان داد. در تحقیقی دیگر بیان شد که رقم سورگوم اصلاح شده PC1080 در میزان بذر ۴۵ کیلوگرم نسبت به سایر ارقام از ارتفاع بالاتری برخوردار بود (Ziki et al., 2019). اثر میزان بذر بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). میانگین ارتفاع گیاه سورگوم در جدول ۵ ارائه شده است. میزان بذر ۱۵ کیلوگرم نسبت به ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۴/۰۸ و ۲/۶۸ درصد افزایش ارتفاع نشان داد (جدول ۵). با افزایش تراکم بوته نفوذ نور به درون جامعه گیاهی

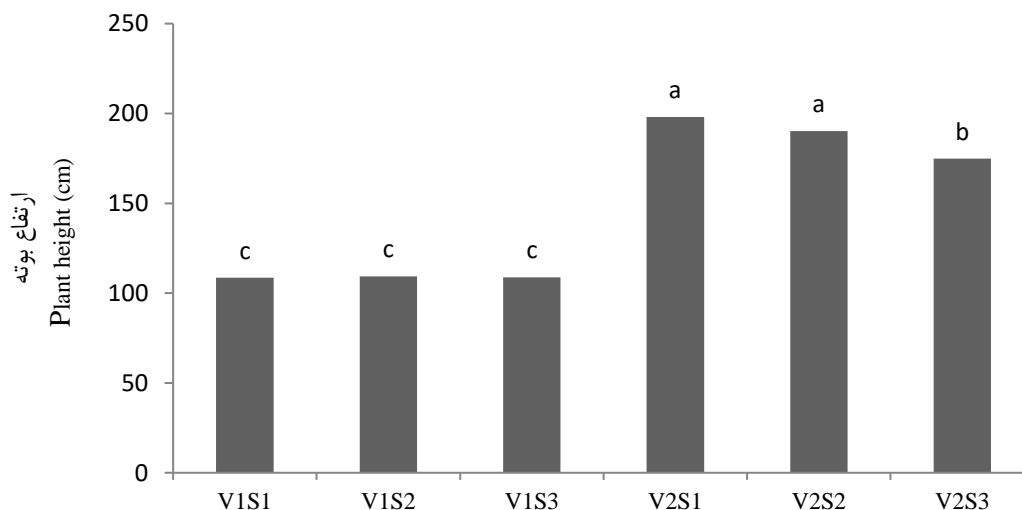
نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مربوط به زمان مختلف برداشت از لحاظ ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). روند افزایش ارتفاع از مرحله ساقه آغوش به مرحله خمیری سخت به صورت افزایشی بود، به طوری که بالاترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۶۴/۲ سانتی‌متر مربوط به مرحله برداشت خمیری سخت بود (جدول ۳). وارد شدن گیاه به مرحله رشد زایشی موجب توقف تولید برگ‌ها می‌شود درحالی‌که رشد ساقه‌ها همچنان ادامه پیدا می‌کند. در پژوهش دیگری افزایش ارتفاع بوته در سورگوم علوفه‌ای را ضمن تأخیر در برداشت گزارش نموده‌اند (Rezvani Moghadam and Nasirimahallati, 2004; Jafariebilesavar et al., 2012). از طرف دیگر رقم اسپیدفید چون یک هیبرید اصلاح شده می‌باشد در مقابله ارقام بومی از ارتفاع بالاتری برخوردار بود. محققان دیگر همچنین گزارش کردند که واریته‌های جدید ذرت

کاهش می‌یابد و باعث قرار گرفتن بخش‌های پائینی ساقه در سایه می‌گردد که این امر منجر به کاهش نسبی مقدار کلروفیل و طویل شدن ساقه برای جذب نور می‌گردد (Damavandi *et al.*, 2014). برهمکنش رقم در مقدار بذر بر ارتفاع بوته دارای تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۹۸ و ۱۹۰/۲ سانتی‌متر در رقم اسپیدفید و در مقدار بذر ۱۵ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). رقم اسپیدفید که از ارقام هیبرید با ارتفاع بلند می‌باشد نسبت به رقم محلی در رتبه اول قرار گرفت. در این نسبت‌های بذر چون رقابت برای جذب نور در بین بوته‌ها ایجاد می‌شود و از طرف دیگر مواد غذایی مورد نیاز که از اصلی‌ترین فاکتورهای تأثیر گذار در رشد و نمو گیاه است در

اختیار گیاه قرار می‌گیرد، ارتفاع بوته نسبت به سایر تیمارها افزایش یافت. در تیمار ۲۵ کیلوگرم بذر و رقم اسپیدفید چون جذب مواد غذایی بوته‌ها به دلیل تراکم زیاد با مشکل مواجه شد ارتفاع بوته با میانگین ۱۷۴/۸ سانتی‌متر کاهش نشان داد. پژوهشگران دیگری گزارش کردند که با افزایش تراکم، ارتفاع بوته افزایش یافت (Khalilimohale *et al.*, 2007). در بین ارقام مورد بررسی نیز رقم اسپیدفید نسبت به سایر ارقام برتری نشان داد. سایر پژوهشگران افزایش ارتفاع ساقه هم‌زمان با بالا رفتن تراکم گیاهی را مربوط به افزایش ساخته شدن اکسین در شرایط سایه‌اندازی در تراکم بالا دانسته است (Mojtahedi and Moadabeshabestari, 2008).



شکل ۱- برهمکنش رقم × مقدار بذر بر ارتفاع بوته

Figure 1- Interaction of cultivar × Seeding rate on plant height

بررسی فوق با نتایج محققان دیگر که گزارش کردند با افزایش سن گیاه تعداد برگ کاهش می‌یابد مطابقت دارد (Wilman and Twidwell 1998; Carmi *et al.*, 2006).

بیشترین تعداد برگ سبزی در رقم اسپیدفید و در مراحل برداشت ساقه آغوش و خوشه‌دهی به ترتیب با میانگین ۹/۸۰ و ۹/۵۷ عدد ملاحظه شد (جدول ۴). میزان برگ سبزی در رقم محلی و در مرحله برداشت خمیری سخت با میانگین ۷/۰۳ عدد کمترین مقدار بود. میزان افزایش تعداد برگ در سورگوم اسپیدفید نسبت به سورگوم محلی زابل ۳۶ درصد به دست آمد. با افزایش سن گیاه و تأخیر در برداشت سورگوم برگ‌های

تعداد برگ

اثر رقم، مرحله برداشت و رقم در مرحله برداشت بر تعداد برگ در بوته دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). با گذر از مرحله ساقه‌آغوش و خوشه‌دهی به مراحل رشد انتهایی گیاه، تعداد برگ کاهش پیدا کرد. بیشترین تعداد برگ مربوط به مرحله برداشت ساقه آغوش و خوشه‌دهی با میانگین به ترتیب ۹/۱۰ و ۸/۷۲ عدد بود (جدول ۳). با تأخیر در برداشت تعداد برگ‌های سبزی کاهش یافت، و به دلیل توقف تولید برگ جدید و ریزش برگ‌های مسنن در گره‌های پایین بوته سهم برگ از ماده خشک کاهش پیدا کرد.

ساقه مربوط به سورگوم علوفه‌ای شوگرگریز و کمترین آن به رقم جامبو تعلق گرفت و این مسأله را ناشی از ساختار ژنتیکی گیاه و والد آن با ساقه‌های قطور دانستند (Khalilimohale *et al.*, 2007). بیشترین قطر ساقه در مرحله برداشت ساقه‌آغوش و خوشه‌دهی با میانگین ۸/۸۵ و ۹/۰۶ میلی‌متر مشاهده شد (جدول ۳).

در مراحل پایانی برداشت علاوه بر اینکه درصد رطوبت ساقه کمتر می‌باشد، همچنین به دلیل انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه‌ها که مخزن تجمع مواد فتوسنتزی می‌باشند، قطر ساقه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و کاهش می‌یابد. ساقه در میزان بذر ۱۵ کیلوگرم نسبت به ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم از قطر بیشتری برخوردار بود (جدول ۵). با افزایش تراکم بوته، نفوذ نور به درون جامعه گیاهی کاهش می‌یابد که این امر باعث افزایش ارتفاع بوته می‌گردد و در صورتی که همراه با کاهش تجمع ماده خشک باشد منجر به کاهش قطر ساقه می‌گردد. از سوی دیگر، کاهش قطر ساقه در تراکم‌های بالاتر ممکن است به دلیل تغییراتی که در محل استقرار مواد آسیمیلاسیونی در قسمت‌های مختلف گیاهی اتفاق می‌افتد باشد (Paknejad *et al.*, 2001).

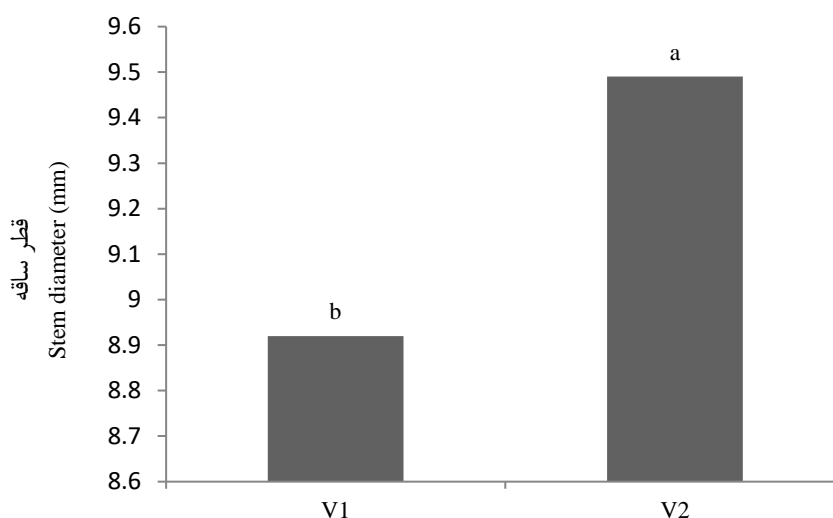
در گزارشی دیگر افزایش قطر ساقه سورگوم با کاهش میزان بذر گزارش شده است (Prajapati *et al.*, 2017).

پایینی بوته خشک شده و از بین می‌روند. در پژوهش‌های دیگری کاهش تعداد برگ با افزایش طول زمان فواصل برداشت نشان داده شده است (Rezvani Moghaddam and Nassirimahallati, 2004; Jafariebilesavar *et al.*, 2012). رقم محلی به دلیل کاهش ارتفاع دارای تعداد برگ کمتری نسبت به اسپیدفید بود.

قطر ساقه

اثر رقم، مرحله برداشت و مقدار بذر بر قطر ساقه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد بود (جدول ۲). رقم اسپیدفید با قطر ساقه با میانگین ۹/۴۹ میلی‌متر نسبت به سورگوم محلی با میانگین ۸/۹۲ میلی‌متر قطر ساقه ضخیم‌تری داشت (شکل ۲). چون ارقام اصلاح شده برای تولید علوفه دارای ارتفاع بلندتری هستند جهت جلوگیری از ورس نیاز به انتخاب ساقه قطورتری می‌باشند که در رقم اسپیدفید این خصوصیت مشهود می‌باشد. در ارزیابی ارقام و لاین‌های جدید سورگوم علوفه‌ای مشاهده شد که قطر ساقه در رقم جدید منصور و رقم اسپیدفید نسبت به بقیه ارقام و لاین‌ها برتری داشت (Ghasemi *et al.*, 2022).

همچنین در گزارش دیگری بیان شد که بیشترین قطر



شکل ۲- اثر رقم بر قطر ساقه

Figure 2- Effect of cultivar on stem diameter

V1: توده محلی، V2: اسپیدفید

V1: Landrace, V2: Speedfeed

عملکرد علوفه تر و خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مرحله برداشت بر عملکرد علوفه تر و خشک در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). روند افزایش عملکرد علوفه تر و خشک نشان داد که در مراحل برداشت خمیری نرم و خمیری سخت نسبت به مراحل برداشت دیگر بالاتر بود (جدول ۳). تأخیر در برداشت بافت‌های نگهدارنده و لیگنینی گیاه را بیشتر می‌کند که این سبب افزایش عملکرد علوفه تر و خشک در گیاه می‌گردد. در پژوهش دیگری نشان داده شده است که تأخیر در برداشت از مرحله خوشه‌دهی به خمیری نرم مقدار ماده خشک را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد که آنها دلیل آن را افزایش تعداد برگ، ارتفاع بوته و طول برگ عنوان کردند (Carmi et al., 2006; Ziki et al., 2019).

عملکرد علوفه تر و خشک در هر دو رقم سورگوم با تأخیر در برداشت افزایش نشان داد. رقم اسپیدفید در مرحله برداشت خمیری سخت با میانگین ۴۹/۷۴۰ و ۱۵/۷۲۰ تن در هکتار بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک را به خود اختصاص داد (جدول ۴). میزان افزایش عملکرد علوفه تر و خشک در سورگوم اسپیدفید نسبت به سورگوم محلی در این مرحله به ترتیب ۱۲۷ و ۱۰۷ درصد به دست آمد. پس از آن رقم اسپیدفید در زمان برداشت خمیری نرم به ترتیب با میانگین ۴۴/۰۶۰ و ۱۳/۰۳۰ تن در هکتار علوفه تر و خشک در رتبه دوم قرار گرفت. افزایش عملکرد علوفه تر در مرحله خمیری نرم در رقم اسپیدفید نسبت به سورگوم محلی زایل بیشتر از ۸۷ درصد به دست آمد. تأخیر در برداشت مقدار بافت‌های نگهدارنده و ساختمانی گیاه را بیشتر از سایر بخش‌ها افزایش داد و به همان نسبت عملکرد علوفه تر و خشک گیاه زیاد شد. مشابیه تحقیق حاضر، پژوهشگرانی تایید نمودند که تأخیر در برداشت از مرحله خوشه‌دهی به خمیری نرم مقدار ماده خشک را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد، که دلیل آنرا افزایش لیگنین و نیز کاهش رطوبت بافت‌های گیاه عنوان کردند (Russell et al., 1992). در مطالعه‌ای دیگر بهترین مرحله برداشت برای سورگوم علوفه‌ای رقم Nes مرحله رشد فیزیولوژیکی بیان شد (Atis et al., 2012).

اثر میزان بذر بر عملکرد علوفه تر در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۲). روند افزایش علوفه تر با افزایش

میزان بذر بیشتر شد بطوری که در میزان بذر ۲۵ کیلوگرم بالاترین عملکرد علوفه تر به دست آمد. این میزان افزایش نسبت به میزان بذر ۱۵ کیلوگرم در هکتار ۱۴ درصد مشاهده شد (جدول ۵). در پژوهشی دیگر که مقایسه سه میزان بذر ۳۰، ۳۵ و ۴۵ کیلوگرم در هکتار را مورد ارزیابی قرار داده بود مشخص شد که میزان بذر ۴۵ کیلوگرم نسبت به ۳۰ و ۳۵ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش ۲۱/۹۱ و ۱۴/۲۱ درصد گردید. ایشان دلیل این افزایش عملکرد علوفه تر را افزایش ارتفاع و تعداد برگ در این تیمار عنوان کردند (Prajapati et al., 2017).

طول برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رقم و اثرات متقابل رقم در مرحله برداشت بر طول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین طول برگ در رقم اسپیدفید و در مرحله برداشت ساقه آغوش، خوشه‌دهی، خمیری نرم و سخت با میانگین ۵۴/۷۳، ۵۳/۳۶، ۵۱/۷۴ و ۵۲/۵۳ سانتی‌متر به دست آمد. این رقم نسبت به سورگوم محلی زایل در این مراحل به ترتیب ۷۲، ۳۷، ۲۷ و ۳۶ درصد طول برگ بیشتری تولید کرد (جدول ۴).

سورگوم محلی در مرحله برداشت ساقه آغوش کمترین طول برگ پرچم را به خود اختصاص داد. دلیل آن می‌تواند این باشد که در این مرحله برداشت هنوز گیاه در حال رشد می‌باشد و برگ‌ها می‌توانند به رشد طولی خود ادامه دهند. افزایش طول برگ در رقم اسپیدفید به دلیل ساختار ژنتیکی رقم، انطباق بهتر با فصل رشد در منطقه و تعداد برگ و شاخص سطح برگ بیشتر می‌باشد که این امر موجب افزایش سطح فتوسنتز کننده و تولید ماده خشک می‌گردد و در نتیجه منجر به افزایش طول برگ می‌شود. در بررسی عملکرد ارقام سورگوم علوفه‌ای گزارش شد که رقم Js-2002 به طور قابل توجهی طول برگ بیشتری را تولید کرد و پس از آن رقم سورگوم-۲۰۱۱ در رتبه دوم قرار گرفت در حالی که رقم JS-263 حداقل طول برگ را تولید کرد که دلیل آن تفاوت ژنتیکی ارقام، تفاوت حاصلخیزی خاک و شرایط محیطی عنوان شد (Zamir et al., 2016). همچنین در تحقیق دیگری تفاوت طول برگ در ارقام سورگوم علوفه‌ای گزارش گردید (Amanullah et al., 2007).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف گیاه سورگوم در تیمارهای مختلف

Table 2- ANOVA for different traits of sorghum influenced by various treatment

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ سبز Green leaves no.	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد علوفه خشک Dry matter yield	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	طول برگ Leaf length	تعداد پنجه Tillers no.
سال Year	1	35833.5**	16.1*	72.2*	84474178*	104875029 ^{ns}	2819.3**	9.7**
خطای a Error a	4	433.1	0.93	6.01	8957952	49150743.1	22.94	0.456
رقم Cultivar	1	223598**	71.8**	46.3*	1039161854**	16012781972**	8914.30**	35.4**
سال × رقم Year × Cultivar	1	3905.7**	16.03*	11.60 ^{ns}	57863404**	3766658.7 ^{ns}	465.73 ^{ns}	1.28 ^{ns}
خطای b Error b	4	121.1	1.51	2.836	1247502	35264064	90.96	0.562
مرحله برداشت Harvest stage	3	1699.5**	11.83**	10.3**	454174619**	1638860765**	69.52 ^{ns}	0.302 ^{ns}
سال × مرحله برداشت Year × harvest stage	3	1039.2 ^{ns}	3.72**	1.21 ^{ns}	8730450 ^{ns}	6071035.9 ^{ns}	272.60**	1.30*
رقم × مرحله برداشت Cultivar × harvest stage	3	485.9**	1.98**	1.15 ^{ns}	46776280**	302569287**	236.10**	0.254 ^{ns}
سال × رقم × مرحله برداشت Year × cultivar × stages	3	645.9 ^{ns}	8.19 ^{ns}	13.08**	4837751.6 ^{ns}	77546073 ^{ns}	71.65 ^{ns}	0.653 ^{ns}
مقدار بذر Seeding rate	2	1672*	0.13 ^{ns}	18.5**	10624089 ^{ns}	206218922*	8.80 ^{ns}	4.09**
سال × مقدار بذر Year × seeding rate	2	35.90 ^{ns}	0.086 ^{ns}	2.95 ^{ns}	1552694 ^{ns}	31690982.4 ^{ns}	102.40*	0.08 ^{ns}
رقم × مقدار بذر Cultivar × seeding rate	2	1689.2*	0.926 ^{ns}	1.22 ^{ns}	596990.8 ^{ns}	17814351.5 ^{ns}	36.73 ^{ns}	2.70**
مرحله برداشت × مقدار بذر Harvest stage × seeding rate	6	482.6 ^{ns}	0.293 ^{ns}	2.42 ^{ns}	5095705.2 ^{ns}	44024222.6 ^{ns}	45.38 ^{ns}	0.214 ^{ns}
سال × رقم × مقدار بذر Year × Cultivar × Seeding rate	2	545.3 ^{ns}	0.832 ^{ns}	1.02 ^{ns}	5262699.9 ^{ns}	44725790.6 ^{ns}	42.85 ^{ns}	0.125 ^{ns}
سال × مرحله برداشت × مقدار بذر Year × harvest stage × Seeding rate	6	243 ^{ns}	0.280 ^{ns}	0.97 ^{ns}	5801403.2 ^{ns}	29557505.2 ^{ns}	22.68 ^{ns}	0.577 ^{ns}
رقم × مرحله برداشت × مقدار بذر Cultivar × harvest stage × Seeding rate	6	487.5 ^{ns}	0.764 ^{ns}	1.82 ^{ns}	1564697.6 ^{ns}	57362816.8 ^{ns}	40.92 ^{ns}	0.81*
سال × رقم × مرحله برداشت × مقدار بذر Year × cultivar × harvest stage × Seeding rate	6	223.6 ^{ns}	0.413 ^{ns}	1.60 ^{ns}	2850224.6 ^{ns}	20778651.4 ^{ns}	35.08 ^{ns}	0.138 ^{ns}
خطای c Error c	88	430	0.405	2.56	6282245.3	59433857.5	34.27	0.327
ضریب تغییرات CV (%)		13.82	7.66	17.74	27.55	24.89	12.60	28.23

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

*، ** and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

جدول ۳- میانگین دو ساله صفات مختلف برای مراحل مختلف برداشت

Table 3- Two-year mean comparisons for different traits in different harvest stages

مرحله برداشت	ارتفاع بوته	تعداد برگ سبز	قطر ساقه	عملکرد علوفه تر	عملکرد علوفه خشک	طول برگ	تعداد پنجه
Harvest stage	Plant height (cm)	Green leaves number	Stem diameter (mm)	Fresh forage yield (t/ha)	Dry matter yield (t/ha)	Leaf length (cm)	Tillers number
T1	116.6c	9.10a	8.85a	20.610c	3.767d	43.2a	2.1a
T2	152.1b	8.72b	9.06a	30.060b	6.803c	46.1a	2.1a
T3	160.3ab	8c	8.03b	33.810a	10.290b	46.2a	2.1a
T4	164.2a	8c	8.05b	35.820a	11.650a	45.4a	1.9a

میانگین‌های هر گروه در هر ستون که در یک حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Means with similar letters have not significant difference at 5% probability level

T1: مرحله ساقه آغوش، T2: مرحله خوشه دهی، T3: خمیری نرم، و T4: خمیری سخت

T1: Botting stem stage, T2: Heading stage, T3: Soft dough, T4: Hard dough

جدول ۴- میانگین دو ساله صفات مختلف برای اثر متقابل مرحله برداشت × رقم

Table 4- Two-year mean comparisons for different traits for the interaction of harvest stage × cultivar

اثر متقابل مرحله برداشت × رقم	ارتفاع بوته	تعداد برگ سبز	عملکرد علوفه خشک	عملکرد علوفه تر	طول برگ
Interaction of harvest stage × cultivar	Plant height (cm)	Green leaf number	Dry matter yield (t/ha)	Fresh forage yield (t/ha)	Leaf length (cm)
V ₁ ×T ₁	93.20e	8.40c	2.485f	13.72e	31.66c
V ₁ ×T ₂	110.92d	7.87d	4.159e	18.94d	38.81b
V ₁ ×T ₃	118.31d	7.60d	7.540d	23.56cd	40.60b
V ₁ ×T ₄	119.10d	7.03e	7.580d	21.89d	38.35b
V ₂ ×T ₁	139.13c	9.80a	5.05e	27.490c	54.73a
V ₂ ×T ₂	193.20b	9.57a	9.447c	41.180b	53.36a
V ₂ ×T ₃	202.30ab	8.35c	13.030b	44.06b	51.74a
V ₂ ×T ₄	215.30a	8.83b	15.720a	49.740a	52.53a

میانگین‌های هر گروه در هر ستون که در یک حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Means with similar letters have not significant difference at 5% probability level

T1: مرحله ساقه آغوش، T2: مرحله خوشه دهی، T3: خمیری نرم، T4: خمیری سخت، V₁: توده محلی، V₂: اسپیدفید

T1: Botting stem stage, T2: Heading stage, T3: Soft dough, T4: Hard dough, V₁: local mass, V₂: Speedfeed

جدول ۵- میانگین دو ساله صفات مختلف برای میزان بذر

Table 5- Two-year mean comparisons for different traits for the seed rate

میزان بذر	ارتفاع بوته	تعداد برگ سبز	قطر ساقه	عملکرد علوفه خشک	عملکرد علوفه تر	طول برگ
Seed rate	Plant height (cm)	Green leaf number	Stem diameter (mm)	Dry matter yield (t/ha)	Fresh forage yield (t/ha)	Leaf length (cm)
S1	153.30a	8.50a	9.10a	7.700a	28.01c	45.50a
S2	149.8b	8.40a	8.50b	8.048a	30.05b	45.40a
S3	147.8b	8.40a	7.90c	8.631a	32.15a	44.70a

میانگین‌های هر گروه در هر ستون که در یک حرف مشترک می‌باشند فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Means with similar letters have not significant difference at 5% probability level

S1: مقدار بذر ۱۵ کیلوگرم در هکتار، S2: مقدار بذر ۲۰ کیلوگرم در هکتار، و S3: مقدار بذر ۲۵ کیلوگرم در هکتار

S1: Seed rate of 15 kg/ha, S2: Seed rate of 20 kg/ha, and S3: Seed rate of 25 kg/ha

وجود داشت (جدول ۲). مقایسه تیمارهای مربوط به اثر متقابل

رقم در مرحله برداشت در مقدار بذر (شکل ۳) نشان داد که

بیشترین تعداد پنجه در رقم اسپیدفید در مرحله برداشت

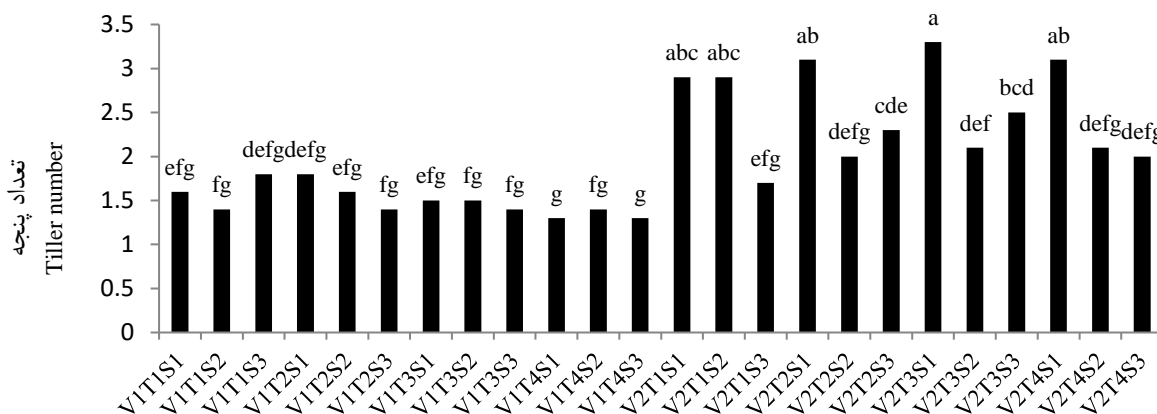
تعداد پنجه

در بررسی اثر متقابل رقم در مرحله برداشت در مقدار بذر از

لحاظ تعداد پنجه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد

می‌گردد. از سوی دیگر باعث کاهش میزان نفوذ نور در کنوپی گیاهی شده و در نتیجه تعداد پنجه در بوته کاهش می‌یابد (Sarikhani and Razmjo, 2007). پژوهشگران دیگری نیز افزایش تعداد پنجه را در گیاه سورگوم در اثر کاهش تراکم گیاهی و در مرحله رشد فیزیولوژیکی گزارش نموده‌اند (Naseralavi and Shamsaddinsaeid, 2008; Atis et al., 2012).

خمیری نرم و در نسبت بذر ۱۵ کیلوگرم با میانگین ۳/۳ عدد بدست آمد. گیاهانی که پنجه بیشتری تولید می‌کنند اکثراً علوفه بیشتری نیز تولید می‌کنند. پنجه‌زنی در سورگوم تحت تأثیر هورمون‌های گیاهی، عوامل ژنتیکی و محیطی است. در بین عوامل محیطی، شدت و کیفیت نور به دلیل نقش آن در تجزیه و از بین بردن هورمون‌ها و تولید انرژی غذایی حائز اهمیت است. افزایش تراکم بوته باعث افزایش رقابت بین بوته‌ها و درون بوته برای عوامل محیطی از جمله نور و مواد فتوسنتزی

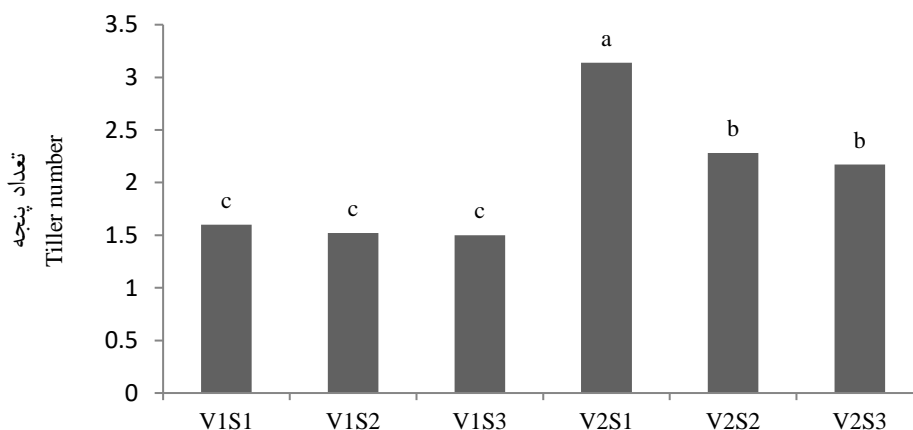


شکل ۳- برهمکنش رقم × مرحله برداشت × مقدار بذر بر تعداد پنجه

Figure 3- Interaction of cultivar × harvest stage × seeding rate on tiller number

V: رقم، T: مرحله برداشت، S: مقدار بذر

V: cultivar, T: Harvest stage, S: Seeding rate



شکل ۴- برهمکنش رقم × مقدار بذر بر تعداد پنجه

Figure 4- Interaction of cultivar × seeding rate on tiller number

کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳/۱۴ عدد مشاهده شد. رقم اسپیدفید در میزان بذر ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار نیز با میانگین ۲/۲۸ و ۲/۱۷ عدد در رتبه دوم و سوم قرار گرفت

برهمکنش رقم در مقدار بذر بر تعداد پنجه در بوته دارای تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). بیشترین تعداد پنجه در رقم اسپیدفید و در میزان بذر ۱۵

سورگوم از نظر طول برگ، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و عملکرد علوفه تر و خشک در بهترین شرایط قرار داشت. در این مرحله برداشت حداکثر طول برگ سبز که از شاخص‌های کیفی علوفه می‌باشد در گیاه وجود داشت. در زمان برداشت خمیری سخت تعداد برگ سبز کاهش و ماده خشک و بافت‌های لیگنینی در گیاه افزایش یافت که خوردن علوفه توسط دام را کاهش می‌دهد. رقم اسپیدفید به دلیل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد پنجه و تولید علوفه تر و خشک بیشتر نسبت به توده محلی در شرایط مطلوبی قرار گرفت. در نهایت می‌توان جهت تولید علوفه مطلوب کشت رقم اسپیدفید با میزان بذر ۲۰ کیلوگرم در هکتار و زمان برداشت خمیری نرم را توصیه نمود.

(شکل ۴). به نظر می‌آید که رقم اسپیدفید به لحاظ ماهیت ژنتیکی هیبریدی اش تعداد پنجه بیشتری نسبت به رقم بومی تولید می‌کند. از طرف دیگر با افزایش میزان بذر فضا برای پنجه‌زنی در بین بوته‌ها کاهش پیدا می‌کند. محققان دیگر نیز کاهش تعداد پنجه در اثر افزایش تراکم گیاهی در سورگوم را بیان کردند (Khalilimohale *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج به دست آمده از این تحقیق چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در مقدار بذر ۲۰ کیلوگرم در هکتار از حداکثر فضای زمین استفاده شد. در زمان برداشت خمیری نرم

References

- Abaduse, G. and Rahnama, A., 2009. Determine the best time to harvest sorghum varieties using physiological growth indices. *Quarterly Scientific Journal of Crop Physiology*, 1(3), pp.89-100. [In Persian].
- Akash, M.W. and Saoub, H.M., 2002. Grain yield of three sorghum varieties as influenced by seeding rate and cutting frequency. *Pakistan Journal of Agronomy*, 1(2-3), pp.101-104. <https://doi.org/10.3923/ja.2002.101.104>
- Amanullah Khan, A., Nawab, K., Khan, A. and Islam, B., 2007. Growth characters and fodder production potential of sorghum varieties under irrigated conditions. *Sarhad Journal Agricultural*, 23, pp.265-268.
- Anonymous., 2021. Annual report of the management of the agricultural jihad of Zahak city. 5 pages. [In Persian].
- Atis, I., Konuskan, O., Duru, M., Gozubenli, H. and Yilmaz, S., 2012. Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. *International Journal of Agricultural and Biology*, 14, pp.879-886.
- Ayub, M., Tanveer, A., Nadeem, M.T. and Tayub, M., 2003. Fodder yield and quality of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as influenced by different tillage methods and seed rates. *Pakistan Journal of Agronomy*, 2(3), pp.179-184. <https://doi.org/10.3923/ja.2003.179.184>
- Azarinasrabad, A. and Bazari, M., 2005. Effects of plant density and cultivar on yield of forage sorghum. *Seed and Plant Journal*, 20(4), pp.475-487. [In Persian].
- Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Hagiladi, A., Yosef, E. and Miron, J., 2006. Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology*, 131(1-2), pp.121-133. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2006.02.005>
- Chattha, M., Iqbal, A., Hassan, M., Chattha, M., Ishaque, W., Usman, M., Khan, S., Fayyaz, M. and Aman Ullah, M., 2017. Forage yield and quality of sweet sorghum as influenced by sowing methods and harvesting times. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 13, pp.301-306. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2017.13.49>

- Damavandi, A., Latifi, N. and Darbanian, N., 2014. The effect of plant density on morphological traits and yield of four forage sorghum cultivars in Damghan region. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandagi)*, 104, pp.171-177. [In Persian].
- Fouman, A., Mehrani, A. and Beheshti, A., 2016. Instructions planting and harvesting sorghum. Agronomy Assistance director of Ministry of Jihad-e-Agriculture, 32p. [In Persian].
- Ghasemi, A., Sharaki, A. and Khazaie, A., 2022. Investigating yield and yield components of new forage sorghum cultivars and lines under normal and salinity conditions. Final report of Seed and Plant Breeding Research Institute, Karaj. 39p. [In Persian].
- Jafariebilesavar, R., Rauf, S. and Imani, A., 2012. Effect of nitrogen and harvest time on fertilizer use efficiency and quality and quantity yield of sorghum. *Journal of Agronomy Science*, 14(2), pp.17-30. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.29498>
- Khaliliemohale, G., Tajbakhsh, M., Fayazmoghadam, A. and Siadat, A., 2007. Effect of plant density on morphological traits in forage sorghum. Seventh Agronomy and Plant Breeding Congress. Karaj, Iran. [In Persian].
- Khavarikehorsani, S., Golbashi, M., Azizi, F., Ashoftebiragi, M. and Fatemi, R., 2010. Evaluation of growth and yield of new hybrids single cross forage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, 2(2), pp.335-342. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/JAG.V2I2.7640>
- Khazaie, A., Fuman, A., Rahjo, V. and Golzardi, F., 2019. Cultivation and characteristics of introduced varieties of sorghum varieties. Publication of agricultural education, 132 pages. [In Persian].
- Mastrorilli, M., Katerii, N. and Rana, G., 1999. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy*, 11, 207-215. [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(99\)00032-5](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(99)00032-5)
- May, A., Fillipe, V. and De, S., 2016. Plant population and row spacing on biomass sorghum yield performance. *Ciencia Rural, Santa Maria*, 46(3), pp.434-439. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141133>
- Mojtahedi, M. and Moadabeshabestari, M., 2008. *Crop Physiology*. University Publication Center, 436 p. [In Persian].
- Naseralavi, S. and Shamsaddinsaeid, M., 2008. Effects of plant densities and row orientation on the seed and forage yield of grass sorghum in Bam. *Journal of Agricultural and Natural Resource Science*, 12(45), pp.91-97. [In Persian].
- Paknejad, F., Tavakoli, M., Nurmohamadi, G. and Siadat, A., 2001. Effects of plant density on physiological indices and forage yeild of sorghum hybrids and a sudangrass cultivar. *Iranian Journal of Crop Science*, 3(1), pp.32-37. [In Persian].
- Prajapati, N., Singh, G., Choudhary, P. and Lal Jat, B., 2017. Effect of seed rate on yield and quality of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* L. Monench) genotypes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(2), pp.339-355. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.038>

- Rahman, M., Fukai, S. and Blamey, F., 2012. Effects of cutting and sowing date on biomass production and nitrogen content of forage sorghum. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(6), pp.123-125.
- Rezvani Moghaddam, P. and Nassirimahallati, M., 2004. Dry matter digestibility and protein contents of three forage sorghum cultivars harvested at different dates. *Iranian Journal of Field Crop (Iranian Journal of Agricultural Sciences)*, 35(4), pp.787-796. [In Persian].
- Russell, J.R., Irlbeck, N.A., Hallauer, A.R. and Buxton, D.R., 1992. Nutritive value and ensiling characteristics of maize herbage as influenced by agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology*, 38, 11-24. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90072-e](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90072-e)
- Sanjana, P. and Belum, V.S., 2019. History of sorghum improvement. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 61-75). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101879-8.00004-8>
- Sarikhani, S.H. and Razmjoo, K.H., 2007. Effect of plant density on components yield and yield of three forage sorghum cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Technology and Natural Resources*, 10(4), pp.241-255. [In Persian].
- Snyman, L.D. and Jubert, W., 1999. Effect of maturity stage and method of preservation on the yield and quality of forage sorghum. *Animal Feed Science and Technology*, 57(1-2), pp.63-73. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00846-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00846-2)
- Twidwell, E.K., Johnson, K.D., Cherney, J.H. and Volence, J.J., 1998. Forage quality and digestion kinetics of switch grass herbage and morphological components. *Crop Science*, 28, pp.778-782. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183x002800050011x>
- Wilman, D. and Rezvanimoghadam, P., 1998. In vitro digestibility and neutral detergent fiber and lignin content of plant parts of nine forage species. *Journal of Agricultural Science*, 131, pp.51-58. <https://doi.org/10.1017/s0021859698005620>
- Zamir, M., Iqbal, A., Ahmad, A., Hussain, M., Asim, M. and Ali, I., 2016. Growth, yield and quality comparison of different forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars harvested at different flowering intervals. *Transylvanian Review*, 9, pp.1550-1560.
- Ziki, S., Zeidan, E., El-Banna, A. and Omar, A., 2019. Influence of cutting date and nitrogen fertilizer levels on growth, forage yield, and quality of Sudan grass in a semiarid environment. *International Journal of Agronomy and Environment*, 2(4), pp.1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/6972639>

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 3, 2025, P. 653-669

Investigating the efficiency of light consumption and yield of different hybrids of corn in the condition of removing leaves and cobs

Eshagh Hojatipour ^a, Hamidreza Miri ^{*b}, Barmak Jafari Haghghi ^b, Hamidreza Ebrahimi ^b, Abdolreza Jafari ^b

^a Ph.D Student, Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran

^b Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran

*Corresponding Author: h.miri@yahoo.com

Received: 9 December 2024

Accepted: 7 June 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.461341.1419

How to cite this article:

Hojatipour, E., Miri, H., Jafari Haghghi, B. and Ebrahimi, H., 2025. Investigating the efficiency of light consumption and yield of different hybrids of corn in the condition of removing leaves and cobs. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 653-669.
<https://doi.org/10.22034/csrar.2025.461341.1419>

Abstract

Introduction: One of the important factors that affects the growth of plants is the amount of light in the vegetation layers, and this condition may have a destructive effect on the yield of the product. Efficient crop species can absorb a larger fraction of light and convert it into biomass with a higher conversion factor. Corn is one of the cereals that shows good tolerance to controlled defoliation. Also, researches have shown that the low light stress is one of the most important factors affecting the plant metabolism and causes a decrease in plant yield. Although there is no radiation deficiency in Iran in terms of the amount of radiation and light conditions, the density of vegetation reduces the penetration of light to the lower layers of vegetation, and this affects the yield of the crop.

Materials and Methods: The study was conducted as a factorial design based on a completely randomized blocks design in 3 replications in 2022-2023 in the agricultural fields of Zafarabad in Shiraz. In order to evaluate the effects of removing leaves and a part of the ear on the light use efficiency and yield of some corn hybrids. The treatments included detopping and removing a part of the ear at 3 levels (control, removal of half of the ear, and removal of two leaves above and below the ear) and 7 corn hybrids (SC704, Konsor, Kordona, Karaj 703, Koosha, Fajr, and Danial 690). Sampling was done once every 14 days, one month after planting, to calculate the physiological indicators of growth.

Results and Discussion: The results showed that the effect of year on CGR, remobilization, and light consumption efficiency was significant. The simple and interaction effects of detopping and hybrid on all studied traits were significant. The highest value of CGR (40.23 g/m² per day) was obtained in the treatment of the removal of two upper and lower leaves of the ear and Danial 690 hybrid. The highest value of RGR (0.0565 g/g per day) was obtained in the treatment of removing two upper and lower leaves of the ear × hybrid SC704. The highest levels of remobilization (169.2 g/m²), the contribution of remobilization in grain (19.85 percent), light use efficiency (2.9 g dry matter per MJ), and grain yield (11260 kg/ha) were obtained in the treatment of removing the two upper and lower leaves of the ear and the Konsor hybrid. The highest value of LAI (6.05) was obtained in hybrid SC704



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

and the lack of detopping. Regarding remobilization, the contribution of remobilization, efficiency of light consumption, and grain yield, the Konsor hybrid had the highest value.

Conclusion: In summary, regarding physiological traits, hybrids SC704 and Karaj 703 had the highest yield. Generally, increasing light penetration into vegetation under the effect of detopping showed a positive impact on the increase of grain yield and the efficiency of light consumption in different cultivars. It is suggested that corn varieties be planted in different regions and agricultural lands of Shiraz city in such a way that there is a desirable distance for receiving light in the lower canopy layers, because at high levels, it is not possible to cut off leaves and part of the ear. This research was also conducted to investigate the light status in different canopy layers, especially the lower parts, and to investigate the yield status. It was carried out at a limited level. For higher levels, varieties with more vertical leaves and light that can reach the lower parts of the canopy can be used. Considering the nutritional value and consumption status of this plant, a higher yield can be achieved, and it is economically viable.

Keywords: Canopy, Crop growth rate, Defoliation, Yield

بررسی کارایی مصرف نور و عملکرد هیبریدهای مختلف ذرت در شرایط حذف برگ و بلال

اسحاق حجتی پور^۱، حمیدرضا میری^{۲*}، برمک جعفری حقیقی^۲، حمیدرضا ابراهیمی^۲، عبدالرضا جعفری^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران

۲- گروه زراعت، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران

* مسئول مکاتبه: h.miri@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.461341.1419

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

چکیده

به منظور بررسی اثر حذف برگ و بلال بر کارایی مصرف نور و عملکرد ذرت، پژوهشی در شیراز انجام شد. تیمارها شامل حذف برگ و بخشی از بلال در ۳ سطح و ۷ هیبرید ذرت بود. بر اساس نتایج، اثر سال بر سرعت رشد گیاه (CGR)، انتقال مجدد و کارایی مصرف نور معنی دار بود. اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بلال و هیبرید بر همه صفات مورد مطالعه معنی دار بود. بیشترین مقدار CGR (۴۰/۲۳) گرم بر متر مربع در روز) در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید دانبال ۶۹۰ به دست آمد. بیشترین مقدار RGR در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال در هیبرید SC704 به میزان ۰/۰۵۶۵ گرم بر گرم در روز به دست آمد. بیشترین مقدار انتقال مجدد (۱۶۹/۲) گرم در متر مربع، سهم انتقال مجدد (۱۹/۸۵ درصد)، کارایی مصرف نور (۲/۹) گرم ماده خشک در مگاژول) و عملکرد دانه (۱۱۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید کنسور به دست آمد. بیشترین مقدار LAI (۶/۰۵) در هیبرید SC704 و عدم حذف به دست آمد. از لحاظ انتقال مجدد، سهم انتقال مجدد، کارایی مصرف نور و عملکرد دانه، هیبرید کنسور و از لحاظ صفات فیزیولوژیکی، هیبریدهای SC704 و کرج ۷۰۳ مقادیر بالا را داشتند. در مجموع افزایش ورود نور به پوشش گیاهی تحت تأثیر حذف بر افزایش عملکرد دانه و کارایی مصرف نور در ارقام مختلف اثر مثبت افزایشی نشان داد. همچنین افزایش ضریب نفوذ نور ناشی از حذف بر بهبود خصوصیات رشدی ارقام مختلف، اثر مثبت افزایشی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، عملکرد، کانوپی، برگ‌زدایی

مقدمه

توده بیان می‌گردد (Boras and Otegui, 2002). افزایش عملکرد ناشی از نور به شرایط محیطی و ژنتیکی بستگی دارد که این فاکتورها بر کارایی مصرف نور مؤثر می‌باشند (Goldani et al., 2010). از جمله شرایط محیطی مهم در افزایش عملکرد گیاهان در حضور نور وجود مواد غذایی می‌باشد (Alizadeh, 2018). از میان عوامل مدیریتی، میزان تابش موجود در محیط تحت کنترل نیست و به فصل سال، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و ترکیبات اتمسفر منطقه بستگی دارد. اما میزان جذب تابش توسط گیاه وابسته به شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و آرایش فضایی اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد (Tohidi et al., 2012). همچنین محققین بیان کردند که کاهش کارایی مصرف نور به ازای واحد نور جذب شده به وسیله اندازه‌گیری میزان ماده خشک تجمع یافته در واحد نور جذب شده در یک دوره زمانی محاسبه می‌شود (Stone and Davis, 2001).

کمبود نور به‌ویژه در شرایط تنش رطوبت، ساختمان پوشش

یکی از عوامل مهمی که بر رشد گیاهان اثرگذار است میزان نور در طبقات مختلف پوشش گیاهی می‌باشد و این موضوع ممکن است تأثیر مخربی بر عملکرد محصول داشته باشد (García-Barrios, 2003). بنابراین اگر یک گونه گیاهی بتواند ضمن جذب کسر بیشتری از نور آن را با ضریب تبدیل بالاتری به زیست توده تبدیل کند در تولید بیشتر زیست توده و محصول موفق‌تر خواهد بود (Mostafavi et al., 2019). با توجه به خطی بودن رابطه بین زیست توده تولیدی و تابش جمعی دریافتی گیاه کارایی مصرف نور به صورت شیب خط رگرسیون بین میزان ماده خشک جمعی و مقدار تابش جذب شده جمعی در طول دوره رشد تعریف می‌شود (Lindquist et al., 2013; Jahan et al., 2005). رقابت بر سر نور یک فرآیند لحظه‌ای استفاده از منبع می‌باشد و کارایی استفاده از نور به کارایی جذب و مصرف آن بستگی دارد. مقدار نور جذب شده و کارایی مصرف نور به‌عنوان دو عامل مهم در تولید زیست

و تولید زیست توده به طور مستقیم مرتبط با میزان تابش جذب شده توسط کانوپی است. برخی از ابزارهای مدیریتی مانند تغییر تراکم و تغییر ساختار کانوپی می‌توانند بر مقدار این شاخص تأثیر داشته باشند (Caviglia et al., 2004).

جذب تابش توسط کانوپی به شاخص سطح برگ، چگونگی آرایش برگ‌ها و خاصیت انعکاس سطح برگ و خاک بستگی دارد. همچنین اندازه و تعداد انشعابات تاج گل گیاه بر نفوذ و جذب تابش توسط کانوپی گیاه مؤثر است. کاهش جذب تابش توسط پوشش گیاهی پس از گرده‌افشانی، ناشی از پیری تدریجی برگ‌های پائین و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی است (Vargas et al., 2002). نتایج مطالعات زیادی در مورد اثرات برگ‌زدایی بر عملکرد دانه گیاهان نشان داده که برگ‌زدایی در نزدیکی مرحله گلدهی منجر به کاهش عملکرد دانه به دلیل کاهش فتوسنتز شد (Abdi et al., 2002). همچنین گزارش شده برگ‌زدایی به دلیل کاهش وزن هزار دانه منجر به کاهش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار کنترل گردید. بنابراین می‌توان گفت برگ‌های میانی ساقه نسبت به سایر برگ‌ها به دلیل سطح بزرگ‌تر و مشارکت فعال در فتوسنتز دارای بیشترین اهمیت هستند (Abbaspour et al., 2003).

همان‌طور که قبلاً بیان شد، وجود رابطه خطی بین نور جذب شده و بیومس در بسیاری از گیاهان زراعی به اثبات رسیده و در این راستا ارزیابی ماده خشک تولیدی در گیاهان زراعی با محاسبه کارآیی مصرف نور انجام می‌شود (Tsubo et al., 2003). در این خصوص محققین گزارش نمودند که تجزیه و تحلیل رشد، یک روش ارزیابی کمی رشد و نمو گیاهان با استفاده از یک سری معادلات ریاضی خاص بوده که در واقع واکنش گونه‌های گیاهی را نسبت به شرایط محیطی تشریح و توصیف می‌نماید (Majdnasiri and Ahmadi, 2004).

به‌منظور دستیابی به بیشترین عملکرد دانه در ذرت، وجود سطح برگ کافی برای دریافت انرژی تابشی ضروری است (Westgate et al., 2004).

به همین دلیل توجه به ویژگی‌های ساختار گیاهی به‌منظور ایجاد سایه‌اندازی که بتواند حداکثر تابش لازم برای فتوسنتز را دریافت و جذب کند، یکی از اهداف مهم می‌باشد. به‌دلیل ظرفیت زیاد فتوسنتزی در ذرت، ساقه می‌تواند منبع ذخیره مازاد تولید و منبع انتقال هیدرات‌های کربن غیر ساختمانی در

گیاهی، الگوی انتشار تابش در داخل پوشش گیاهی و در نهایت، کارآیی مصرف نور را در گیاه تحت تأثیر قرار خواهد داد (Earl and Davis, 2003). محققین اعلام کردند که حذف سطح فتوسنتزی گیاه ذرت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت (Salahi Moghadam and Rahimian Mashhadi, 1992). در پژوهشی گزارش شده که کاهش جذب تابش فعال فتوسنتزی توسط کانوپی که ناشی از کاهش سطح برگ می‌باشد، منجر به پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید نوری و در نهایت پیری زودرس برگ‌های گیاه می‌شود (Earl and Davis, 2003). همچنین گزارش شده که تعداد بلال در بوته با افزایش تراکم بوته روند کاهشی نشان داد و بیشترین تعداد بلال در بوته در تیمار اثر متقابل تراکم، ۵۳۰۰۰ بوته در هکتار و قطع گل تاجی و سه برگ بالای بلال اصلی به‌دست آمد. بیشترین میزان وزن دانه در بلال، در اثر اعمال تیمار قطع گل تاجی به دلیل کاهش رقابت گل تاجی و سنبله ماده در کسب مواد فتوسنتزی به‌دست آمد. در میان تیمارهای حذف برگ و بلال، بالاترین عملکرد دانه در تیمار قطع گل تاجی حاصل شد (Sharifi and Tajbakhsh, 2016). کارآیی مصرف نور ذرت، در شرایط مطلوب (بدون تنش) تا پیش از دوره پر شدن دانه حدود ۳/۵ گرم بر مگازول تابش فعال فتوسنتزی حاصل شد (Kiniry et al., 1998). همچنین در طول دوره پر شدن دانه برای ارقام اصلاح شده و ارقام قدیمی به ترتیب حدود ۳ و ۲/۴ گرم بر مگازول تابش فعال فتوسنتزی گزارش شده است (Emam and Seghateleslami, 2005).

به‌نظر می‌رسد حذف دو برگ بالای بلال ذرت از طریق بهبود میزان نور و افزایش میزان و سرعت فتوسنتز باعث بهبود سرعت کارآیی مصرف نور و به تبع آن، افزایش رشد محصول و تجمع ماده خشک کل ذرت می‌گردد و از این طریق کارآیی مصرف تابش را افزایش می‌دهد. از طرفی برای دستیابی به یک عملکرد مطلوب نیاز به توسعه سریع پوشش گیاهی، دستیابی سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ و همچنین دوام سطح برگ بالاتر برای حداکثر جذب نور و تکمیل رشد گیاه در زمان مطلوب است (Beheshti et al., 2003). تولید ماده خشک گیاهی به‌عنوان تابعی از میزان تابش جذب شده در طول دوره رشد و کارآیی مصرف تابش تحت تأثیر ساختار کانوپی می‌باشد. در همین راستا، نتایج برخی از تحقیقات نشان داده که فتوسنتز

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) در یک مکان به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در اراضی زراعی روستای ظفرآباد واقع در ۸ کیلومتری جنوب شرقی شهر شیراز با مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی واقع شده و ارتفاع ۱۴۸۶ متر از سطح دریا انجام شد. این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق معتدل نیمه‌خشک محسوب می‌شود. بر اساس آمار و اطلاعات بلندمدت هواشناسی در شهر شیراز، در طی دوره رشد متوسط، حداقل و حداکثر ماهانه درجه حرارت هوا بین ۱۴ تا ۳۲ درجه سلسیوس به ترتیب متعلق به ماه‌های اردیبهشت و تیرماه می‌باشد. نزولات جوی منطقه از نوع باران با میانگین سالانه ۲۵۳ میلی‌متر بود (Habibi, 2013). تیمارهای تحقیق شامل حذف برگ و بخشی از بلال، ده روز پس از گرده‌افشانی در ۳ سطح شاهد، حذف نیمی از بلال و حذف دو برگ بالا و پایین بلال و همچنین ۷ هیبرید ذرت شامل SC704، کنسور، کوردونا، کرچ ۷۰۳، کوشا، فجر و دانیال ۶۹۰ بود (جدول ۱).

دوره پس از گلدهی باشد و نقش مهمی در پر کردن دانه‌ها ایفا نماید (Rodrigo et al., 2007).

کارایی مصرف نور بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای واحد نور جذب شده است و واحد آن گرم ماده خشک تولید شده بر مگاژول تشعشع جذب شده می‌باشد. علاوه بر جذب تابش، کارایی مصرف نور دیگر مؤلفه تأثیرگذار بر تولید ماده خشک است (Hosseinpanahi, 2008).

با توجه به اینکه ذرت یکی از محصولات مهم در ایران می‌باشد که در صنایع غذایی و دامداری مورد استفاده می‌باشد، استفاده از روش‌های به‌زراعی برای افزایش عملکرد این محصول ضروری می‌باشد. لذا هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی اثر حذف برگ و بلال بر کارایی مصرف نور و عملکرد دانه هفت هیبرید ذرت در شهرستان شیراز می‌باشد تا میزان تأثیر نور بر خصوصیات عملکردی و افزایش تولید دانه در این گیاه و همچنین پارامترهای خصوصیات دیگر تشریح و تعیین گردد که آیا میزان نور ورودی به قسمت‌های زیرین پوشش گیاهی در افزایش عملکرد دانه تأثیر دارد یا خیر.

جدول ۱- خصوصیات هیبریدهای مورد استفاده در پژوهش

Table 1- Characteristics of hybrids used in the research

هیبرید Hybrid	دوره رشد Growth period (day)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Seed yield (ton/ha)	وضعیت رشدی Growth situation	سال معرفی Year of release	طول بلال Cob length (cm)	تعداد ردیف دانه Number of seed rows
SC704	125-135	320	8-9	دیر رس Late Mature	1359	22-28	16
کنسور Konsor	120-125	290-320	14-16	دیر رس Late Mature	1384	22-26	14-16
کوردونا Kordna	120-125	280-330	13-15	دیر رس Late Mature	1385	24-26	14-16
کرچ ۷۰۳ Karaj703	120	270-300	8-10	میان رس Semimature	1391	16-18	14-16
کوشا Koosha	120	270-290	13-15	میان رس Semimature	1395	16-20	14-16
فجر Fajr	110-115	200-280	10-11	زود رس Premature	1386	18-22	14-16
دانیال ۶۹۰ Danial690	120	280-340	7-9	میان رس Semimature	1396	22-24	14-16

دیسک عمود بر هم کلوخه‌ها خرد و زمین مورد نظر کرت‌بندی شد. سپس نمونه‌های مرکب از خاک کرت‌ها تهیه و جهت

در بهار سال اول در زمینی که به صورت آیش بود پس از آبیاری و گاورو شدن خاک، عملیات شخم انجام و توسط دو

تریپل و ۲۵ کیلوگرم در هکتار پتاس خالص از منبع سولفات پتاسیم نیز قبل از کاشت در سطح کرت‌ها پخش و با خاک مخلوط گردید. بذر هیبریدهای مورد بررسی بر اساس ۷ بوته در هر متر مربع در همه کرت‌ها به‌طور یکسان در ردیف‌هایی به فاصله ۷۵ سانتی‌متر هم‌زمان با رسیدن میانگین دمای هوا به ۹ درجه سلسیوس (در تاریخ ۱۰ فروردین در سال اول و ۷ فروردین در سال دوم) به‌طور منظم با دست کاشته شد.

تعیین میزان عناصر و آزمون خاک به آزمایشگاه ارسال گردید. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲، کود نیتروژن مورد نیاز به میزان ۵۵/۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره برای هر کدام از کرت‌ها توزین و نصف کود نیتروژن در زمان کاشت به زمین داده شد. باقی‌مانده کود نیتروژن نیز در دو مرحله ۱ و ۲ ماه پس از کاشت، به‌صورت سرک مصرف شد. ۳۹/۶ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع سوپرفسفات

جدول ۲- خصوصیات دمایی و بارندگی محل اجرای پژوهش

Table 2- The temperature and rainfall properties of research site

سال Year	میانگین دما Average temperature(mm)		میانگین بارندگی بلند مدت Long-term average rainfall (mm)
	در زمان کاشت At time of planting	میانگین ماهانه Monthly average	
	سال اول First year	12	
سال دوم Second year	12.2	27.2	253

جدول ۳- خصوصیات خاک محل اجرای پژوهش

Table 3- The soil properties of research site

خصوصیات خاک Soil properties	سال اول First year عمق خاک Soil depth (cm)		سال دوم Second year عمق خاک Soil depth (cm)	
	30-0	60-30	30-0	60-30
	شوری Salinity (ds.m ⁻¹)	1.44	1.32	1.36
اسیدیته خاک (pH) Soil acidity	7.1	7.2	7.1	7.3
نیتروژن Nitrogen (%)	0.15	0.08	0.14	0.09
فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	11.4	7.01	8.2	6.9
پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	219	174	198	162
رسی clay (%)	38	35	39	34
لای Silt (%)	43	39	398	39
شن sand (%)	19	26	23	26
مواد آلی Organic mater (%)	1.1	0.87	1.08	0.89
بافت خاک soil texture	لومی رسی clay loam	لومی رسی clay loam	لومی رسی clay loam	لومی رسی clay loam

ده روز پس از اتمام مرحله گرده‌افشانی، حذف برگ و بلال بر

آبیاری به روش غرقایی و با استفاده از تایم‌سنج انجام شد.

اساس تیمارهای تحقیق اجرا گردید و با استفاده از قیچی، برگ‌ها و نصف بلال جدا شده و باقی‌مانده بلال درون غلاف قرار داده شد و به‌وسیله فویل بسته شد. نمونه‌برداری‌ها به‌منظور محاسبه شاخص‌های رشدی، یک ماه پس از کاشت به فاصله هر ۱۴ روز یک‌بار و به تعداد سه بوته در هر برداشت در طول مراحل رشد تا مرحله ظهور ابریشم انجام شد و میانگین صفات LAI^1 ، CGR^2 ، انتقال مجدد، سهم انتقال مجدد و کارایی مصرف نور محاسبه گردید. سرعت رشد گیاه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$CGR = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$W_2 - W_1$: تغییرات وزن خشک و $T_2 - T_1$ فاصله زمانی نمونه‌برداری می‌باشد).

برای تعیین کارایی مصرف نور، ضریب استهلاک نوری و میزان تابش تجمعی جذب شده در طول دوره رشد اندازه‌گیری و کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل تجمعی (گرم بر متر مربع) و میزان تابش فعال فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع) برای هر کدام از تیمارها محاسبه گردید (Tsubo and Walker, 2002).

برای اندازه‌گیری ضریب استهلاک نوری با استفاده از دستگاه نورسنج، یک بار شدت نور در بالای جامعه گیاهی (I_0) و یک بار بر روی زمین یعنی زیر کانونی گیاهی (I_i) اندازه‌گیری و پس از محاسبه شاخص سطح برگ بر اساس رابطه‌های ۲ و ۳ ضریب استهلاک نوری محاسبه شد.

$$L_n I_i / I_0 = -K \cdot LAI \quad (2)$$

$$K = L_n I_0 / I_i / LAI \quad (3)$$

I_i : شدت نور در لایه I ام جامعه گیاهی،

I_0 : شدت نور در بالای جامعه گیاهی،

K: زاویه برگ‌ها و LAI: شاخص سطح برگ

برای تعیین شاخص سطح برگ و اندازه‌گیری میزان تابش خورشیدی در محدوده تابش فعال فتوسنتزی در روزهای آفتابی بین ساعات ۱۲ تا ۱۴ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل CI-203 کمپانی Delta-T انگلستان و تابش‌سنج دستی مدل HT-309 کمپانی HT Instruments کشور ایتالیا که به‌طور همزمان میزان تابش در بالا و پایین پوشش گیاهی را اندازه‌گیری

می‌کند، استفاده شد.

همراه با اندازه‌گیری شاخص سطح برگ میزان تابش در بالا و پایین پوشش گیاهی در سه نقطه از هر کرت به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و از میانگین آنها به عنوان تابش دریافتی در محدوده طیف تابش فعال فتوسنتزی استفاده شد (Hammer and Wright, 2000).

همچنین به‌منظور محاسبه انتقال مجدد ماده خشک در مرحله ابریشم‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک، ۱۵ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت برداشت شد و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از خشک شدن، وزن آنها محاسبه شد. میزان انتقال ماده خشک از اندام رویشی به دانه با استفاده از روش پیشنهادی محققین محاسبه شد (Pampana, 2009; Ding et al., 2016).

بدین منظور در پایان دوره رشد، عملکرد دانه و وزن خشک اندام‌های رویشی محاسبه و با استفاده از رابطه ۴ میزان انتقال مجدد تعیین گردید.

(۴)

ماده خشک در مرحله رسیدگی (بجز دانه) - ماده خشک در مرحله گرده‌افشانی = میزان انتقال مجدد
برای محاسبه سهم انتقال مجدد، از رابطه ۵ استفاده شد:

(۵)

۱۰۰ * عملکرد دانه / میزان انتقال مجدد = سهم انتقال مجدد

تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق اثر سال به‌عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شد. پس از جمع‌بندی داده‌های مورد نیاز، ابتدا برای تعیین یکنواختی داده‌های تحقیق، آزمون بارتلت انجام و سپس تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ورژن ۹/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد انجام گردید.

تحلیل داده‌ها بر اساس میانگین مربعات داده‌ها پس از آنالیز آماری و سطح معنی‌داری انجام شد.

مقایسه میانگین‌ها مورد کاوش قرار گرفت و میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک داشتند و در یک کلاس آماری قرار گرفتند و با هم اختلاف معنی‌دار نشان ندادند.

²-Crop growth rate

¹-Leaf area index

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بخشی از بلال و هیبرید در سطح آماری ۱ درصد بر شاخص سطح برگ (LAI^1) معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. بررسی نتایج حاصل از جدول مقایسه اثر متقابل حذف و هیبرید برای LAI نشان داد که بین میانگین‌ها اختلاف وجود داشته و بیشترین مقدار LAI در هیبرید SC704 بدون حذف، به میزان ۶/۰۵ به دست آمد و این تیمار با تیمار هیبریدهای کوردونا، کوشا و فجر در شرایط بدون سرزنی در یک کلاس آماری قرار گرفته و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار LAI نیز معادل ۲/۸۶ در هیبرید دانبال ۶۹۰ و حذف دو برگ بالا و پایین بلال به دست آمد و با هیبریدهای کوشا و کرج ۷۰۳ بدون سرزنی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار بدون حذف

(شاهد) بود و کمترین شاخص سطح برگ مربوط به تیمار حذف بود (شکل ۱). با کاهش شاخص سطح برگ، نفوذ نور به درون پوشش گیاهی افزایش یافت و این امر علاوه بر افزایش میزان فتوسنتز برگ‌های پایینی، سبب افزایش میزان LAI و سرعت رشد محصول (CGR^2) گردید. محققین گزارش کردند به دلیل کمبود نور زمانی که گیاه در معرض تراکم بیش از حد قرار می‌گیرد، توسعه سطح برگ کاهش می‌یابد (Vargas et al., 2003). در چنین شرایطی سرعت زوال برگ‌ها افزایش یافته و ذخیره کربوهیدراتی گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین در شرایط تراکم بیش از حد به علت رقابت شدید بین بوته‌ای، گیاه قادر نخواهد بود که کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد کامل گیاه را فراهم کند. در نتیجه گسترش سطح برگ متوقف شده و گیاه به مرور زمان ضعیف می‌شود (Valentinuz and Tollenar, 2004).

جدول ۴- خلاصه نتایج تجزیه واریانس مرکب

Table 4- Result summary of composite variance analysis

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean Squires							ضریب استهلاک نوری Light extinction coefficient
		شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	سرعت رشد نسبی RGR	انتقال مجدد Remobilization	سهم انتقال مجدد Remobilization contribution	کارایی مصرف نور Light use efficiency	عملکرد دانه Seed yield	
سال Year	1	0.0005 ^{ns}	259.7 ^{**}	0.001 [*]	15.57 ^{**}	5.4 ^{ns}	1.63 [*]	12686.14 ^{ns}	0.001 ^{ns}
خطای بلوک Blok error	4	2.43	1.3	0.00043	126.42	5.21	0.34	11566.3	0.003
حذف Removing	2	62.82 ^{**}	752.96 ^{**}	0.000066 ^{ns}	9884.35 ^{**}	29.83 ^{**}	15.7 ^{**}	718154.6 ^{**}	1.22 ^{**}
سال×حذف Year* Removing	2	0.018 ^{**}	1.53 ^{**}	0.000017 ^{ns}	0.0054 ^{ns}	0.102 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	196.6 ^{ns}	0.004 ^{ns}
هیبرید Hybrid	6	0.34 ^{**}	35.6 ^{**}	0.0008 ^{**}	170.4 ^{**}	10.29 ^{**}	0.36 ^{**}	29102.7 ^{**}	0.022 ^{**}
سال×هیبرید Y*Hybrid	6	0.02 ^{**}	1.15 ^{**}	0.000042 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.057 ^{ns}	0.001 ^{ns}	254.08 ^{ns}	0.0027 ^{ns}
حذف×هیبرید R*H	12	0.314 ^{**}	16.02 ^{**}	0.00034 ^{**}	231.87 ^{**}	11.98 ^{**}	0.33 ^{**}	45407.7 ^{**}	0.015 ^{**}
سال×حذف×هیبرید Y*R*H	12	0.018 ^{**}	1.38 ^{**}	0.000026 ^{**}	0.0054 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.001 ^{ns}	227.22 ^{ns}	0.003 ^{ns}
خطا Error	72	0.005	0.26	0.00005	0.057	2.42	0.0008	7810.7	0.0028
ضریب تغییرات (درصد) CV(%)		9.8	12.6	18.77	7.16	9.52	8.35	9.7	9.64

² - Crop growth rate¹ - Leaf area index

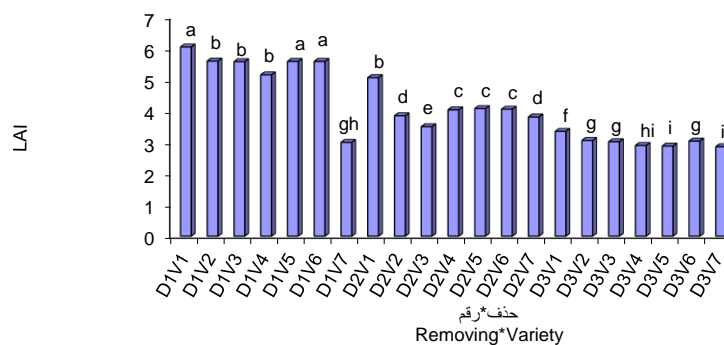
جدول ۵- خلاصه نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌های تحقیق

Table 5- Means comparison results of research data interaction effects

حذف Removing	هیبریدهای ذرت Hybrids	میانگین صفات Mean Triats							
		شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR (gr/m ² /day)	سرعت رشد نسبی RGR (gr/gr/day)	انتقال مجدد Remobilization (gm ⁻²)	سهم انتقال مجدد Remobilization contribution (%)	کارآیی مصرف نور Light use efficiency (gr/MJ)	عملکرد دانه Seed yield (gm ⁻²)	ضریب استهلاک نوری Light extinction coefficient (gr/MJ)
D ₁	V ₁	6.05a	32.64d	0.0455e	135.8m	14.14e	1.58n	857.9eg	0.554b
	V ₂	5.6b	31.16efg	0.0435f	139.7l	18.22b	1.64m	984.6e	0.72a
	V ₃	5.58b	31.6e	0.0265o	135n	15.76d	1.75o	857.1ej	0.715a
	V ₄	5.16b	31.62e	0.0385h	135.3n	18.07b	1.86k	786k	0.755a
	V ₅	5.59a	31.46ef	0.0365j	126.2p	15.78d	1.12p	639.3m	0.698a
	V ₆	5.59a	28.24ij	0.0315m	116.3q	13.62f	1.08r	636.8m	0.735a
	V ₇	3gh	31.43ef	0.0358h	131.6o	15.8d	1.33q	701.9l	0.755a
D ₂	V ₁	5.07b	29.5h	0.0475d	149h	16.95c	2.11j	913.5h	0.505b
	V ₂	3.85d	27.7j	0.0382h	149.5g	19.28ab	2.22i	928g	0.575b
	V ₃	3.5e	27.72j	0.0323l	141.6j	15.64d	2.62e	906.2h	0.575b
	V ₄	4.04c	30.7g	0.04g	149.1h	16.38c	2.37g	913.2h	0.585b
	V ₅	4.08c	30.46g	0.038hi	145.4i	15.34d	2.3h	920.4g	0.575b
	V ₆	4.06c	30.41g	0.0405g	141.1k	16.38c	2.37g	871.7i	0.611ab
	V ₇	3.81d	28.72hi	0.045ef	145.6i	15.7d	2.34gh	920.6gh	0.545b
D ₃	V ₁	3.35f	40.23a	0.0565a	155.34f	16.78c	2.34gh	1019c	0.345c
	V ₂	3.06g	33.94c	0.0323l	169.2a	19.85a	2.9a	1126a	0.365c
	V ₃	3.02g	39.73a	0.0285n	159.5e	16.09c	2.94f	1023c	0.375c
	V ₄	2.9hi	39.9a	0.0375i	167.5b	16.78c	2.7cd	1006d	0.415c
	V ₅	2.8i	37.6b	0.034k	164.3c	15.24d	2.51f	1008d	0.365c
	V ₆	3.04g	36.9b	0.053ab	155f	15.6d	2.67d	963.5f	0.355c
	V ₇	2.86i	33.5c	0.0552a	163.9d	15.53d	2.8b	1069b	0.355c
LSD (5%)		0.115	0.83	0.012	0.39	2.53	0.046	143.8	0.086

–D₁: D₁، D₂ و D₃ به ترتیب عدم حذف، حذف نیمی از بلال و حذف دو برگ بالا و پایین بلال، V₁ (SC704)، V₂ (کنسور)، V₃ (کوردونا)، V₄ (کرچ ۷۰۳)، V₅ (کوشا)، V₆ (فجر)، و V₇ (دانیال ۶۹۰)

–D: D₁, D₂ and D₃, respectively, no reprimand, removal of half of the cob and removal of two leaves at the top and bottom of the cob and V₁ (SC704), V₂ (Conzor), V₃ (Cordona), V₄ (Karaj 703), V₅ (Kosha), V₆ (Fajr), and V₇ (Danial 690)



شکل ۱- اثر متقابل حذف و هیبرید بر شاخص سطح برگ

Figure 1- The interaction effect of remove and cultivar on leaf area index

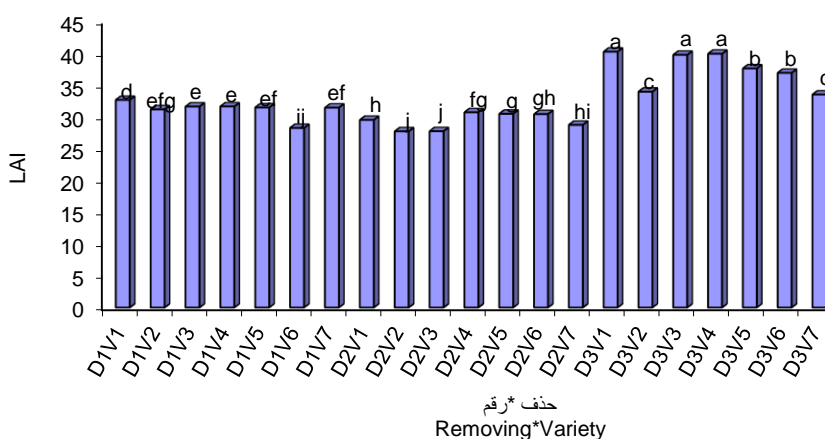
–D₁: D₁، D₂ و D₃ به ترتیب عدم حذف، حذف نیمی از بلال و حذف دو برگ بالا و پایین بلال، V₁ (SC704)، V₂ (کنسور)، V₃ (کوردونا)، V₄ (کرچ ۷۰۳)، V₅ (کوشا)، V₆ (فجر)، و V₇ (دانیال ۶۹۰)

–D: D₁, D₂ and D₃, respectively, no reprimand, removal of half of the cob and removal of two leaves at the top and bottom of the cob and V₁ (SC704), V₂ (Conzor), V₃ (Cordona), V₄ (Karaj 703), V₅ (Kosha), V₆ (Fajr), and V₇ (Danial 690)

سرعت رشد محصول گیاه (CGR)

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بخشی از بلال و هیبرید در سطح آماری ۱ درصد بر CGR معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. بررسی نتایج حاصل از جدول مقایسه اثر متقابل حذف و هیبرید برای CGR نشان داد که بیشترین مقدار CGR در تیمار ترکیبی حذف دو برگ بالا و پایین بلال در هیبرید دانیال ۶۹۰ به میزان ۴۰/۲۳ گرم بر متر مربع در روز به دست آمد و این تیمار با تیمارهای حذف دو برگ بالا و پایین بلال در هیبریدهای SC704 و کرج ۷۰۳ در یک کلاس آماری قرار گرفته و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار CGR نیز معادل ۲۷/۷ گرم بر متر مربع در روز در تیمار ترکیبی حذف نیمی از

بلال در هیبرید کنسور به دست آمد که با تیمارهای حذف نیمی از بلال در هیبرید کوردونا و تیمار شاهد در هیبرید فجر اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد علاوه بر سن گیاه، افزایش پوشش گیاهی بیش از حد مطلوب به علت رقابت بین بوته‌ای باعث تسریع در کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و پیری شود که می‌تواند دلایل کاهش سرعت رشد محصول باشد. سرعت رشد محصول بر مقدار مواد تجمع یافته در بافت‌ها مؤثر است که می‌تواند برای انتقال مجدد به دانه مفید باشد. به طوری که با شکل‌گیری دانه و به علت کاهش وزن ساقه‌ها که حاصل حرکت و توزیع مجدد ذخایر غذایی به دانه‌هاست، سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد (Popp et al., 2006).



شکل ۲- اثر متقابل حذف و هیبرید بر سرعت رشد نسبی

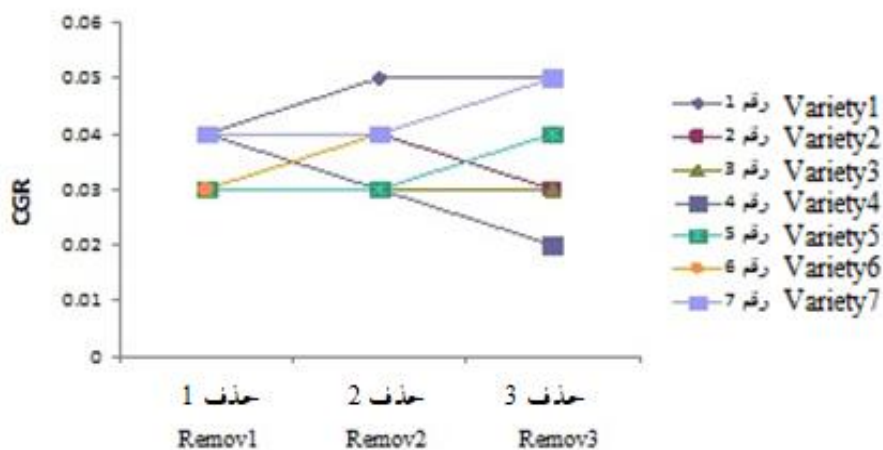
Figure 2- The interaction effect of cultivar and cultivar on relative growth rate

سرعت رشد نسبی (RGR¹)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بخشی از بلال و هیبرید در سطح آماری ۱ درصد بر RGR معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. بررسی نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین اثر متقابل حذف برگ و بلال و هیبرید برای RGR نشان داد که بیشترین مقدار RGR در تیمار ترکیبی حذف دو برگ بالا و پایین بلال در هیبرید دانیال ۶۹۰ به میزان ۰/۰۵۵۲ گرم بر گرم در روز به دست آمد و این تیمار با تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال در هیبرید SC704 در یک کلاس آماری قرار گرفته و با هم

اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار RGR نیز معادل ۰/۰۲۶۵ گرم بر گرم در روز در تیمار ترکیبی عدم حذف در هیبرید کوردونا به دست آمد (شکل ۳). طول دوره رشد و شرایط محیطی مساعد از جمله درجه حرارت و میزان تابش، سرعت ماده‌سازی را افزایش می‌دهد. این شرایط برای تیمارهای حذف به علت نفوذ نور در یک دوره طولانی‌تر به درون پوشش گیاهی سبب افزایش سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و ماده خشک گردید (Vargas et al., 2002).

¹ - Relative growth rate



شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد نسبی هیبریدهای مختلف در سطوح حذف

Figure 3- The trend of changes in the relative growth rate of different hybrids at the levels of breeding

ساختار کانوبی می‌توانند بر مقدار این شاخص تأثیر داشته باشند (Caviglia et al., 2004).

انتقال مجدد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بخشی از بلال و هیبرید، در سطح آماری ۱ درصد بر صفت انتقال مجدد معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار حذف در هیبرید برای میانگین انتقال مجدد نشان داد که بیشترین مقدار انتقال مجدد در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید کنسور به میزان ۱۶۹/۲ گرم در متر مربع و کمترین مقدار آن نیز معادل ۱۱۶/۳ گرم در متر مربع در تیمار عدم حذف و هیبرید فجر به‌دست آمد. گزارش شده که میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و بیشترین میزان آن در تیمار تنش متوسط خشکی دیده شده است (Lak et al., 2007). در شرایط آبیاری مطلوب و فراهم بودن عناصر غذایی از طریق کاهش پیری برگ‌ها موجب افزایش فتوسنتز جاری در مرحله پیر شدن دانه‌ها و در نتیجه کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی می‌شود (Yang et al., 2001). در پژوهشی به‌منظور مطالعه اثر برگ‌زدائی و فاصله ردیف کاشت بر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ارقام ذرت دلنه‌ای گزارش کردند که میزان مواد فتوسنتزی تولید شده در دوره رشد زایشی با وجود حذف برگ‌های بالا یا پائین بلال تنها به دانه‌ها انتقال نیافته بلکه

ضریب استهلاک نوری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بخشی از بلال و هیبرید، در سطح آماری ۱ درصد بر ضریب استهلاک نوری معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال در تیمار هیبرید برای ضریب استهلاک نوری نشان داد که بیشترین مقدار این صفت در تیمارهای عدم قطع دو برگ بالا و پایین بلال و هیبریدهای کرج ۷۰۳ و دانیال ۶۹۰ به میزان ۰/۷۵۵ گرم بر مگاژول حاصل شد که در این سطح از حذف دو برگ بالا و پایین بلال بین ارقام کنسور، کوردونا، کوشا و فجر اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. کمترین مقدار ضریب استهلاک نوری نیز معادل ۰/۳۴۵ گرم بر مگاژول در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید SC704 حاصل گردید. ضمناً در این سطح از تیمار حذف برگ از لحاظ صفت مذکور، بین ارقام اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها در هر سه سطح تیمار حذف برگ و بلال، کمترین مقدار ضریب استهلاک نوری در هیبرید SC704 نشان داده شد و این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالای این هیبرید در استفاده از نور می‌باشد. تولید ماده خشک گیاهی به عنوان تابعی از میزان تشعشع جذب شده در طول دوره رشد و کارایی مصرف تشعشع تحت تأثیر ساختار کانوبی می‌باشد. در همین راستا، نتایج برخی از تحقیقات نشان داده که فتوسنتز و تولید زیست توده به‌طور مستقیم مرتبط با میزان تشعشع جذب شده توسط کانوبی است. برخی از ابزارهای مدیریتی مانند تغییر تراکم و تغییر

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج پژوهش‌های این محققین مطابقت دارد.

پژوهشگران در مطالعه‌ای بر روی اثر تراکم و میزان رطوبت بر میزان تابش دریافتی توسط ذرت بیان کردند که با افزایش تراکم ذرت از ۳ به ۱۲ بوته در متر مربع، مقدار تابش در سطح بلال از ۴۸ درصد به ۱۵ درصد کاهش یافت و هنگامی که تراکم از ۳ به ۷/۵ بوته در متر مربع افزایش یافت، میزان تابش در سطح زمین ۲۰ درصد کاهش پیدا کرد. در این تحقیق نیز با کاهش تاج گیاه، میزان نور ورودی به طبقات پایین کانوبی افزایش یافت (Hashemi et al., 2005).

محققین گزارش کردند که افزایش تجمع ماده خشک نتیجه جذب بیشتر تابش فعال فتوسنتزی است، به طوری که آرایش کاشت مربع نسبت به کاشت لوزی و مستطیل از کارایی مصرف نور بالاتری برخوردار است (Beheshti et al., 2003).

نتایج مطالعات روی کارایی مصرف تابش در تجمع زیست توده قبل از پر شدن دانه برای پنج غله زراعی نشان داده چنانچه تنش‌های زیستی و غیر زیستی وجود نداشته باشد، تجمع ماده خشک گیاهی بستگی به مقدار تابش جذب شده کانوبی دارد (Kocheki et al., 2012).

موضوع کارایی مصرف نور از جمله مسائل مهم در روابط عملکرد گیاه می‌باشد، به طوری که محققین بسیاری برای پی بردن به موضوع نقش شدت نور در کارایی مصرف نور و افزایش عملکرد به تحقیقات مختلفی روی آورده‌اند. بررسی کارایی مصرف نور بر شاخص‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی هیبریدهای ذرت در تراکم‌های مختلف کاشت نشان داد که تنظیم تراکم در واحد سطح سبب افزایش نفوذ نور به بخش‌های پایین پوشش گیاهی شده و این امر منجر به افزایش کارایی مصرف نور خواهد شد (Goldani et al., 2010).

همچنین گزارش شده که تعداد برگ در گیاه ثابت بوده که این یک پدیده ژنتیکی است، بنابراین با افزایش تراکم تعداد برگ در واحد سطح افزایش می‌یابد و این به افزایش شاخص سطح برگ منجر می‌شود (Gonzalo et al., 2006).

بر اساس نتایج برخی تحقیقات در شرایط عدم حذف برگ و بلال، کاهش ورود نور به درون پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش جذب تابش عامل کاهش کارایی مصرف نور بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Lindquist et al., 2005). پژوهشگران

بخشی از آن در اندام‌های دیگر (کاه) ذخیره شده است که خود نشان‌دهنده محدودیت مخزن در گیاه ذرت می‌باشد. البته با حذف برگ نه تنها مواد فتوسنتزی انتقال یافته به دانه، بلکه بخشی که به سایر اندام‌ها منتقل گردید کاهش معنی‌داری نشان داد (Rafiei et al., 2013).

سهام انتقال مجدد

نتایج حاصل از تجزیه مرکب واریانس نشان داد که اثر سال بر میانگین سهم انتقال مجدد در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. اثرات ساده و متقابل حذف و هیبرید بر این صفت در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار حذف در هیبرید برای میانگین سهم انتقال مجدد نشان داد که بیشترین مقدار سهم انتقال مجدد در تیمار شاهد و هیبرید فجر به میزان ۱۹/۸۵ گرم در متر مربع و کمترین مقدار سهم انتقال مجدد نیز معادل ۱۳/۹۲ گرم در متر مربع در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید کنسور به دست آمد.

کارایی مصرف نور

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بخشی از بلال و هیبرید بر کارایی مصرف نور در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال در تیمار هیبرید برای کارایی مصرف نور نشان داد که بیشترین مقدار کارایی مصرف نور در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید کنسور به میزان ۲/۹ گرم ماده خشک در مگاژول حاصل شد. کمترین مقدار کارایی مصرف نور نیز معادل ۱/۰۸ گرم ماده خشک در مگاژول در تیمار عدم حذف و هیبرید فجر به دست آمد. میزان جذب تابش توسط گیاه وابسته به شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و آرایش فضایی اندام‌های هوایی گیاه می‌باشد (Tohidi et al., 2012).

کارایی مصرف نور بالاتر در حالت حذف را می‌توان به علت نفوذ بیشتر نور به درون پوشش گیاهی و در نتیجه اثرپذیری مقدار کلروفیل و آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز در پاسخ به تغییر کیفیت نور دانست. اثر شدت و کیفیت نور بر مقدار و توزیع رنگدانه‌ها، کلروفیل و آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (Ghobadi et al., 2015).

در هیبریدهای مختلف ذرت مقایسه و گزارش شد که وزن دانه به سرعت رشد دانه وابسته است و در هیبریدهای جدید تقاضای بلال برای مواد پرورده نسبت به هیبریدهای قدیمی زیادتر است که این موضوع به تعداد بیشتر دانه در هر بلال گیاه و یا پتانسیل بیشتر وزن دانه‌ها بستگی داشت (Echarte et al., 2006).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج این تحقیق و نتایج تحقیقات دیگر محققین می‌توان گفت ذرت از جمله غلاتی است که نسبت به عمل برگ‌زدایی کنترل شده تحمل خوبی نشان می‌دهد. همچنین پژوهش‌ها نشان داده که تنش کمبود نور یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فعالیت‌های متابولیکی گیاه بوده و سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیق، محدودیت مبدأ و مقصد دو عامل مهم در کاهش عملکرد گیاه ذرت می‌باشد. اگرچه محدودیت مبدأ معمولاً تابع عوامل محیطی مانند نور، دما، رطوبت و... می‌باشد، محدودیت مقصد بیشتر با ژنتیک گیاه مرتبط است. هر چند در ایران به لحاظ میزان تابش و شرایط نوری کمبود تابش وجود ندارد، اما تراکم پوشش گیاهی سبب کاهش ضریب نفوذ نور به طبقات پایین پوشش گیاهی می‌گردد و این امر بر میزان عملکرد محصول اثرگذار است.

عملکرد دانه در ذرت تابعی از تغذیه مناسب، آب و نور می‌باشد و در شرایط بهینه با رسیدن شاخسازهای رشد به سطح بهینه و مطلوب، میزان عملکرد نیز افزایش می‌یابد. حذف برگ گیاه سبب نفوذ نور به درون پوشش گیاهی شده و تا حد زیادی می‌تواند از اثرات تنش کمبود نور در گیاه جلوگیری نماید. بر اساس نتایج این پژوهش از لحاظ انتقال مجدد، سهم انتقال مجدد، کارایی مصرف نور و عملکرد دانه، برترین هیبرید کنسور و از لحاظ صفات فیزیولوژیکی هیبریدهای SC704 و کرج ۷۰۳ نسبت به سایر هیبریدها برتری نسبی نشان دادند. در مجموع، افزایش ضریب نفوذ نور ناشی از حذف دو برگ بالا بر بهبود خصوصیات رشدی ارقام مختلف اثر مثبت افزایشی نشان داد. در شرایط تنش نوری کاهش شاخص سطح برگ گیاه ذرت سبب کاهش میزان جذب نور و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود. با عنایت به اینکه قطع برگ در ذرت در سطوح مزرعه برای کشاورزان امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا اصلاح ارقام دارای برگ‌های

در رابطه با کارایی مصرف نور کمتر در ارقام دیررس به نتایج مشابهی دست یافتند (Goldani et al., 2010).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های پژوهش نشان داد اثرات ساده و متقابل حذف برگ و بلال و هیبرید بر عملکرد دانه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود.

مقایسه میانگین اثر متقابل حذف برگ و بلال در هیبرید نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد در تیمار حذف دو برگ بالا و پایین بلال و هیبرید کنسور به میزان ۱۱۲۶۰ کیلوگرم در متر مربع و کمترین مقدار آن نیز معادل ۶۳۶۸ کیلوگرم در متر مربع در تیمار عدم حذف و هیبرید فجر به دست آمد. در پژوهش حاضر با توجه به تکمیل دوره رشدی برگ‌های پایینی نسبت به برگ‌های جوان بالایی با حذف دو برگ بالا میزان نور در طبقات پایین افزایش یافت که منجر به افزایش میزان فتوسنتز و افزایش عملکرد دانه گردید. همچنین در تیمارهای مختلف حذف، بیشترین عملکرد دانه در هیبرید کنسور حاصل گردید. بعضی از پیامدهای مطلوب که در اثر حذف برگ‌های بالا بوجود می‌آیند، شامل نفوذ بهتر نور به داخل پوشش گیاهی، کاهش میزان خوابیدگی بوته، کاهش رقابت گل‌آذین نر و بلال برای مواد فتوسنتزی، همچنین بعضی از واکنش‌های گیاه در هنگام وارد شدن تنش از قبیل انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه و برگ‌ها به دانه، افزایش راندمان فتوسنتزی برگ‌های باقی‌مانده، افزایش غلظت کلروفیل و فعالیت آنزیم PEP کربوکسیداز، افزایش میزان قندهای محلول و نهایتاً افزایش عملکرد دانه می‌باشد (Boras and Otegui, 2002).

مطالعه اثر شدت و زمان حذف برگ و بلال بر عملکرد دانه ذرت در شرایط خوزستان نشان داده که تیمار بدون حذف بیشترین و تیمار قطع کامل بوته از بالای بلال در پایان گرده‌افشانی، کمترین عملکرد دانه را داشته و عمل حذف باعث کاهش ۱۸ درصد در عملکرد دانه گردید (Afarinesh, 2005). محققین گزارش نمودند که حذف دو یا چهار برگ بالای بوته ذرت نه تنها باعث کاهش عملکرد دانه نمی‌شود، بلکه می‌تواند منجر به افزایش تعداد دانه در بلال و وزن دانه‌ها و بهبود عملکرد دانه ذرت شود (Mehraeen et al., 2014).

در آزمایشی دیگر، عملکرد و وزن دانه در دست‌ورزی منبع

توجه به نتایج این تحقیق هیبریدهای SC704 و کرج ۷۰۳ برای کاشت در شرایط شهرستان شیراز توصیه می‌گردد.

عمودی در راستای نفوذ نور به طبقات پایین پوشش گیاهی حائز اهمیت می‌باشد و باید توسط به‌نژادگران این موضوع مورد بررسی قرار گیرد. همچنین برای دستیابی به عملکرد بهینه با

References

- Abbaspour, F., Shakiba, M.R., Alyari, H. and Valizade, M., 2003. Effects of defoliation on yield and yield components of sunflower. *Journal of Agricultural Knowledge*, 12(4), 71-77. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/28708/en>
- Abdi, S., Fayaz Moghadam, A. and Ghadimzade, M., 2007. Effect of different levels of defoliation at reproductive stage on grain yield and oil percent of two hybrid sunflower. *Journal of Water and Soil Science*, 11(40), 245-255. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1386.11.40.20.0>
- Afarinesh, A., 2005. Studying the effect of intensity and time of weeding on corn grain yield in Khuzestan conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 7(4), 337-346. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1384.7.4.5.3>
- Alizadeh, A., 2018. *The Relationship Between Water, Soil and Plants*. Astan Quds Publications. 480 pages. [In Persian].
- Beheshti, A., Koochaki, A. and Nassiri Mahallati, M., 2003. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Seed and Plant*, 18(4), 417-431. [In Persian with English abstract]. <https://doi.org/10.22092/spj.2017.110754>
- Boras, L. and Otegui, D., 2002. Maze kernel composition and post flowering and source sink ratio. *Crop Scienc*, 42, 780-790. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.7810>
- Caviglia, O.P., Sadras, V.O. and Andrade, F.H., 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*, 87(2-3), 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.002>
- Ding, J., Zir, Y., Li, C., Peng, Y., Zhu, X. and Guo, W., 2016. Dry matter accumulation partitioning and remobilization in high yielding wheat under rice-wheat rotation in China. *Agronomy Journal*, 108, 604-614. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0114>
- Earl, H. J. and Davis, R. F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95, 688-696. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880>
- Echarte, L., Andrade, F. H., Sadras, V. O. and Abbate, P., 2006. Kernel weight and its response to source manipulations during grain filling in Argentinean maize hybrids released in different decades. *Field Crops Researches*, 96, 307-312. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.07.013>
- Emam, Y. and Seghateleslami, M. J., 2005. *Crop yield*. Shiraz Daneshgahi Press, 376p. [In Persian].
- García-Barrios, L., 2003. Plant-plant interactions in tropical agriculture. In J. Vandermeer (Ed.), *Tropical Agroecosystems* (pp. 1-58). New York, NY: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039887>

- Ghobadi, R., Mondani, F. and Shirkhani, A., 2015. The effect of different levels of irrigation on radiation absorption, light use efficiency and dry weight of three varieties of corn. *Journal of Agriculture*, 29(1), 136-146. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2016.109572>
- Goldani, M., Rezvani Moghadam, P., Nassiri Mahallati, M. and Kaffi, M., 2010. Radiation use efficiency of maize (*Zea mays* L.) hybrids with different growth types in response to density. *Journal of Plant Production Research*, 18(1), 1-28. [In Persian]. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1390.18.1.1.0>
- Gonzalo, M., Vyon, T., Hlland, J. and McIntgre, M., 2006. Mapping density response in maize: A direct approach for testing genotype and treatment interaction. *Genetics*, 173(1), 331-348. <https://doi.org/10.1534/genetics.105.045757>
- Habibi, F., 2013. The effect of density and planting arrangement on the seed and fodder of corn hybrids. Master's thesis, Islamic Azad University, Khorasgan branch. 115 pages. [In Persian].
- Hammer, G. L. and Wright, G. C., 2000. A theoretical analysis of nitrogen and radiation effects on radiation use efficiency in peanut. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45(3), 575-589. <https://doi.org/10.1071/ar9940575>
- Hashemi, M., Herbet, G. and Putnam, H., 2005. Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal*, 97, 839-846. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.0241>
- Hosseinpanahi, F., 2008. Evaluation of yield, yield component and radiation use efficiency in corn/potato intercropping. M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B. and Ehyayi, H. R., 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. *Industrial Crops and Products*, 43, 606-611. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.012>
- Kiniry, J. R., Landivar, J. A., Witt, M., Gerik, T. J., Cavero, J. and Wade, L. J., 1998. Radiation use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crop Research*, 56, 265-270. [https://doi.org/10.1016/s0378-4290\(97\)00092-0](https://doi.org/10.1016/s0378-4290(97)00092-0)
- Kocheiki, A., Khorramdel, R. S., Fallahpour, F. and Melti, F., 2012. Evaluating the efficiency of light absorption and consumption in the cultivation of a row mixture of wheat and canola. *Iranian Agricultural Research Journal*, 11(4), 533-542. [In Persian].
- Lak, S., Naderi, A., Siadat, S. A., Aynehband, A. and Noormohammadi, Gh., 2007. Effects of water deficiency stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid SC704 at different nitrogen rates and plant population. *Iranian Journal of Agricultural Science Natural Resours*, 14(2), 63-76. [In Persian with English Summary].
- Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Walters, D. T., Cassman, K. J. and Dobermann, A., 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, 97, 72-78. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0072>

- Majdnasiri, B. and Ahmadi, M. R., 2004. The effect of planting season and plant distance on the distribution and amount of light absorption in the plant community of different safflower genotypes. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *Q6*(1). [In Persian].
- Mehraeen, S., Maqsoudi, K. and Imam, Y., 2014. Effect of removal of leaves above and below the ear on grain yield and yield components in maize hybrid SC704. *Iran Journal of Agricultural Sciences*, *15*(2). [In Persian].
- Mostafavi, M. H., Nasiri Mahallat, M. and Kouchaki, A., 2019. Validation of light extinction coefficient and evaluation of the light use efficiency of sesame with the use of various biological and chemical fertilizers. *Journal of Plant Ecophysiology*, *37*, 121-133. [In Persian].
- Pampana, S., Ercoli, L., Masoni, A. and Arduini, I., 2009. Remobilization of dry matter and nitrogen in maize as affected by hybrid maturity class. *Italian Journal of Agronomy*, *2*, 39-46. <https://doi.org/10.4081/ija.2009.2.39>
- Popp, M., Edwards, J., Manning, P. and Purcel, L., 2006. Plant population density and maturity effects on profitability of short-season maize production in the midsouthern USA. *Agronomy Journal*, *98*, 760-765. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0201>
- Rafiei, G. H., Rafiei, M. and Khorgami, A., 2013. Retranslocation of photosynthetic materials in grain corn cultivars under the influence of selection and planting row spacing. First National Conference on Sustainable Development Strategies (Agriculture, Natural Resources and Environment). [In Persian]. <https://civilica.com/doc/197162>
- Rodrigo, G. S., Westgate, M. E. and Andrade, F. H., 2007. Source/sink ratio and the relationship between maximum water content, maximum volume, and final dry weight of maize kernels. *Field Crops Research*, *101*, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.09.004>
- Salahi Moghadam, W. H. and Rahimian Mashhadhi, W. H., 1992. Investigating the effect of defoliation treatments at different densities and dates of seeding on grain and fodder yield in corn. Final report of the research project, Research Vice-Chancellor of Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian].
- Sharifi, P. and Tajbakhsh, M., 2016. Investigating the effects of post-pollination and plant density on the yield and yield components of single-cross 704 corn variety. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, *11*(41). [In Persian].
- Stone, P. J., Wilson, D. R., Ried, J. B. and Gillespie, G. N., 2001. Water deficit effects on sweet corn. I: Water use, radiation use efficiency, growth and yield. *Aust. J. Agric. Res.*, *52*, 103-113. <https://doi.org/10.1071/ar99146>
- Tohidi, M., Nadery, A., Siadat, S. and Lak, S., 2012. Variables productivity of light interception in grain maize hybrids at various amount of nitrogen. *World Applied Sciences Journal*, *16*, 86-93.
- Tsubo, M. and Walker, S., 2002. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, *110*, 203-215. [https://doi.org/10.1016/s0168-1923\(01\)00287-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1923(01)00287-8)
- Tsubo, M., Mukhala, E., Ogindo, H. O. and Walker, S., 2003. Productivity of maize-bean intercropping in a semiarid region of South Africa. *Water Science and Technology*, *29*, 381-388. <https://doi.org/10.4314/wsa.v29i4.5038>

- Valentinuz, O. and Tollenar, M., 2004. Vertical profit of leaf area and leaf senescence during the grain-filling period in maize. *Crop Science*, 44, 827-834. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.8270>
- Vargas, L. A., Andersen, M. N., Jensen, C. R. and Jorgensen, V. J., 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of miscanthus sinensis goliath from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*, 22, 1-14. [https://doi.org/10.1016/s0961-9534\(01\)00058-7](https://doi.org/10.1016/s0961-9534(01)00058-7)
- Westgate, M. E., Otegui, M. E. and Andrade, F. H., 2004. Physiology of the corn plant. In C. Wayne Smith, J. Betran, & E. C. A. Runge (Eds.), *Corn: Origin, History, Technology and Production* (pp. 235-271). John Wiley and Sons, Inc.
- Yang, J., Jianhua, Z., Zhiqing, W., Qingsen, Z. and Wei, W., 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. *Field Crops Researches*, 71, 47-55. [https://doi.org/10.1016/s0378-4290\(01\)00147-2](https://doi.org/10.1016/s0378-4290(01)00147-2)

The effect of biochar on some agronomic and functional traits of barley cultivars (*Hordeum vulgare*)

Kosar Sheikhi ^a, Arash Fazeli ^{*a}, Mohammad Soleiman Beigi ^b

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

^b Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Ilam University, Ilam, Iran

*Corresponding Author: a.fazeli@ilam.ac.ir

Received: 17 February 2024

Accepted: 19 April 2024

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.442253.1399

How to cite this article:

Sheikhi, K., Fazeli, A. and Soleiman-Beigi, M., 2025. The effect of biochar on some agronomic and functional traits of barley cultivars (*Hordeum vulgare*). *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(3), 671-684. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.442253.1399>

Abstract

Introduction: Although the use of fertilizer in poor soils is necessary to increase soil fertility and optimal plant growth, in recent years, the use of chemical fertilizers has caused a lot of environmental damage. Currently, one of the well-known ways to minimize the use of chemical fertilizers is the use of resources and soil modifier compounds, including biochar. Biochar is a carbon-rich material that has recently shown promising results for the sustainable management of agro-ecosystems, increased plant growth, and soil health. Biochar enhances the capacity for water retention and nutrient absorption, ensuring timely delivery to the plant.

Material and Methods: This study was conducted at Ilam University's research greenhouse from 2022 to 2023. The experiment followed a factorial design and utilized a completely randomized approach with three replications. The treatments consisted of three different barley cultivars (HOR8887, HOR7496, and HOR9793) and three levels of biochar (control or zero, 2 g/kg, and 4 g/kg). To create the biochar, natural asphalt was used, which is a readily available and cost-effective material commonly found in underground mines. It is characterized by its hard, black composition and high melting temperature. The process of synthesizing the chemical biochar involved sulfonating Iranian natural asphalt with concentrated sulfuric acid, resulting in the formation of potassium natural asphalt sulfonate (K-NAS). Initially, one gram of Iranian natural asphalt was mixed with 5 ml of concentrated sulfuric acid and stirred at room temperature for 15 minutes. The reaction mixture was then heated for two hours at 220 degrees Celsius and gradually added to water and ice. The resulting product, natural asphalt sulfonic acid (NASA), was washed twice with distilled water and dried at 100°C. Subsequently, one gram of NASA was mixed with 20 ml of 10% potassium hydroxide solution and stirred for one hour at room temperature. The solvent was evaporated, and the mixture was dried at 100 degrees Celsius to obtain potassium natural asphalt sulfonate (K-NAS), also known as chemical biochar.

Results and Discussion: The results of this experiment showed that there was a significant difference between the barley cultivars for the number of fertile tillers, flag leaf length, spike length, plant height, peduncle length, and hundred seed weight at the probability level of 1%. Biochar had a positive and significant effect on flag leaf length, spike length, awn length, number of seeds per spike, and hundred



seed weight at the probability level of 5%; But it showed a non-significant effect on other functional traits. But it showed a non-significant effect on other functional traits. The results showed that the highest number of claws per plant was related to the HOR9793 variety with a level of 4 gr of biochar and an average of 14.8. In cultivar HOR7496, the highest number of seeds per spike 23.4, was obtained with the consumption of 4 gr/kg of biochar. The highest weight of 100 seeds, corresponding to the variety HOR8887, was obtained at the rate of 4.34 grams when consuming 4 gr/kg of biochar.

Conclusion: Our experiment's overall findings indicate that utilizing 4 g/kg of this biochar can significantly impact both the yield and its components in greenhouse conditions. Consequently, considering the plentiful availability and cost-effectiveness of this particular biochar, we strongly recommend conducting further field studies.

Keywords: Chemical Biochar, Growth, Sustainable Agriculture, Soil Fertility

تأثیر بیوچار بر برخی صفات زراعی و عملکردی ارقام جو (*Hordeum vulgare*)کوثر شیخی^۱، آرش فاضلی^{۱*}، محمد سلیمان بیگی^۲

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

۲- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

* مسئول مکاتبه: a.fazeli@ilam.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2024.442253.1399

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

چکیده

اگر چه استفاده از کود در خاک‌های فقیر جهت افزایش حاصلخیزی خاک و رشد گیاهان امری ضروری است، اما در سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی باعث آسیب‌های زیست محیطی فراوانی شده است. لذا استفاده از بیوچار می‌تواند این خسارت‌ها را به حداقل برساند. به این منظور پژوهشی در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه رقم جو زراعی (HOR8887, HOR7496, HOR9793) و سه سطح بیوچار شامل شاهد، دو و چهار گرم در کیلوگرم بود. نتایج نشان داد بین ارقام جو برای صفات تعداد پنجه بارور، طول برگ پرچم، طول ریشک، ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن صد دانه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین، بیوچار بر صفات طول برگ پرچم، طول سنبله، طول ریشک، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تأثیر مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت؛ اما بر روی سایر صفات عملکردی اثر غیر معنی‌داری نشان داد. طبق نتایج به دست آمده، بیشترین تعداد پنجه در بوته، مربوط به رقم HOR9793 با سطح چهار گرم بیوچار و میانگین ۱۴/۸ بوده است. در رقم HOR7496 با مصرف چهار گرم در کیلوگرم بیوچار بیشترین تعداد دانه در سنبله (۲۳/۴) به دست آمد. بیشترین وزن صد دانه نیز، مربوط به رقم HOR8887 در مصرف چهار گرم در کیلوگرم بیوچار به میزان ۴/۳۴ گرم به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد استفاده از چهار گرم در کیلوگرم بیوچار بیشترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط گلخانه داشته است.

واژه‌های کلیدی: بیوچار شیمیایی، حاصلخیزی خاک، رشد، کشاورزی پایدار

مقدمه

چالش‌های بیشتری را نشان می‌دهد. در بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهایی با جمعیت متراکم و یا اکوسیستم‌های متنوع که نیاز به حفاظت دارند، گسترش کشاورزی به زمین‌های جدید برای افزایش تولید یک گزینه نیست (Hossain et al., 2020). برعکس، در جایی که عملکرد کشاورزان منجر به تخریب زمین و زوال خاک و منابع طبیعی می‌شود که بهره‌وری آینده به آن بستگی دارد، تحقیقات فوری و توجه سیاستی برای متوقف کردن و معکوس کردن کاهش تخریب زمین و کیفیت نامطلوب خاک با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای کشاورزی مورد نیاز است (Hossain et al., 2020). در این راستا معرفی راه‌حلهایی نوین به منظور تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا ضروری می‌باشد. اخیراً استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی منجر به اثرات مضر بر خواص خاک، میکروارگانیسم‌های ارزشمند خاک، کیفیت آب و سلامت انسان شده است (Hafez et al., 2020). بیوچار یک ماده غنی از کربن که توسط تجزیه در اثر حرارت تولید می‌شود، اخیراً نتایج امیدوار کننده‌ای را

جو یکی از مهم‌ترین محصولات غلات خانواده *Poaceae* است و نه تنها در ایران بلکه در سراسر جهان از محصولات مهم است (Hafez et al., 2020). ارزش اقتصادی بالایی دارد و در صنایع غذایی و صنعتی کاربرد دارد. جو با شرایط مختلف سازگار است و به چندین عامل غیرزیستی از جمله تنش‌های غیرزیستی مقاوم است (El-Esawi et al., 2022). جو به عنوان یکی از محصولات استراتژیک نقش مهمی در امنیت غذایی مردم ایران دارد و تأمین به اندازه آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گزارش محققان نشان می‌دهد، علیرغم پیشرفت قابل توجه در افزایش تولیدات کشاورزی، برآورده کردن نیاز غذایی در حال تغییر و افزایش نیازهای غذایی جمعیت‌های آینده همچنان جزء چالش‌های مهم است (Hossain et al., 2020). این امر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مشاهده می‌شود. تغییرات آب‌وهوا و تنوع بازارهای ناپایدار و کاهش منابع زمین قابل کشت که ناشی از شهرنشینی و صنعتی شدن است،

آرامی به آب و یخ اضافه گردید. محصول (سولفونیک اسید آسفالت طبیعی (NASA)) دو بار با آب مقطر شسته شد و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. در نهایت یک گرم از این ماده و ۲۰ میلی لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت یک ساعت در دمای اتاق هم‌زده شدند؛ سپس حلال تبخیر شد و با خشک کردن در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در فر؛ سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم (K-NAS) یا همان بیوچار شیمیایی به دست آمد (Falah et al., 2020).

با توجه به اهمیت ویژه گیاه جو و نیز مزایای بیوچار مورد استفاده؛ آزمایش حاضر با هدف بررسی تاثیر بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم بر برخی صفات زراعی و عملکردی گیاه جو انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه رقم جو زراعی (HOR8887, HOR7496, HOR9793) و سه سطح بیوچار شامل شاهد یا صفر، دو و چهارگرم در کیلوگرم بود. در این آزمایش از گلدان‌های به قطر ۲۱ سانتی‌متر استفاده شد که به میزان پنج کیلوگرم خاک ظرفیت و دارای تهویه انتهایی بودند آماده و کدگذاری شدند.

عملیات کاشت در ۱۶ دی ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. به این صورت که ابتدا در کف گلدان‌ها مقداری شن به صورت یک لایه یک تا دو سانتی‌متری جهت بهبود زهکشی و تهویه ریخته شد، سپس سه کیلوگرم از خاک معمول مزرعه را که به نسبت دو به یک با ماسه ترکیب شده بود؛ وزن کرده و در داخل هر گلدان ریخته شد. مابقی ظرفیت خالی گلدان‌ها را که معادل دو کیلوگرم خاک بود؛ با مخلوطی از خاک و مقادیر مورد نظر تیمارها از سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم پر شدند، سپس چهار عدد بذر سالم از ارقام زراعی جو مورد نظر در گلدان کاشته شد. در نهایت برای تمام گلدان‌ها آبیاری کامل صورت گرفت. ارقام جو مورد استفاده از موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK) آلمان تهیه شدند و از خاک معمول مزرعه دانشگاه ایلام نیز برای کاشت بذور استفاده شد، که مشخصات

برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های کشاورزی نشان داده است که می‌تواند رشد گیاه را افزایش داده و سلامت خاک را بهبود بخشد (Ghadirnezhad Shiade et al., 2024). ساختار بیوچار به گونه‌ای است که قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی است، به طوری که آب و مواد مغذی را جذب کرده و زمانی که گیاه نیاز دارد، در اختیارش می‌گذارد (Yaghoby et al., 2014). توانایی بالای بیوچار در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، مربوط به خصوصیات فیزیکی از قبیل ساختار متخلخل و سطح ویژه بالای بیوچار است (Ghadirnezhad et al., 2024). تحقیقات نشان داده است، افزودن بیوچار به خاک می‌تواند بر دسترسی گیاه به آب، عملکرد محصول، اصلاح ساختاری خاک و نیز بهره‌وری آب تاثیرگذار باشد. بنابراین می‌توان گفت اصلاح خاک با بیوچار باعث حفظ بیش‌تر آب و مواد مغذی در خاک شده و از این طریق زمینه را برای تولید محصول بیشتر فراهم می‌کند (Rajkovich et al., 2012). یافته‌های محققان نشان داد که افزودن بیوچار که گندم به خاک موجب بهبود شاخص‌های رشد گندم، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش عملکرد شده است (Li et al., 2015). با سنتز بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم اعلام کردند که این نوع بیوچار سازگار با محیط زیست بوده، سمیت کمی دارد و استفاده از آن می‌تولند؛ زیادی هزینه‌ها و کاربرد سایر کودهای شیمیایی رایج که خسارات جبران ناپذیری بر محیط زیست وارد می‌کنند را کاهش دهد (Falah et al., 2020).

برای تهیه بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم، از آسفالت طبیعی استفاده شده است. آسفالت طبیعی یک ماده طبیعی، ارزان و در دسترس است و اغلب در معادن زیرزمینی به عنوان یک ماده ی سخت و سیاه رنگ با دمای ذوب نسبتاً بالا یافت می‌شود. جهت سنتز این بیوچار شیمیایی، آسفالت طبیعی ایران با اسید سولفوریک غلیظ، سولفون شده و سپس به سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم (K-NAS) (بیوچار شیمیایی)، تبدیل گردید. به این صورت که ابتدا مخلوطی از آسفالت طبیعی ایران (یک گرم) و اسید سولفوریک غلیظ (۵ میلی لیتر) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق هم‌زده شدند. سپس مخلوط حاصل از واکنش به مدت دو ساعت در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و در نهایت به

LSD در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد انجام شد. به منظور تعیین میزان و نوع همبستگی هر یک از صفات با یکدیگر نیز از نرم افزار JMP نسخه ۱۶ استفاده شد.

فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده به شرح جدول ۱ می‌باشد. عملیات برداشت نیز در ۲۲ خرداد ماه به وسیله دست انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار ۱/4 SAS9 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Soil physical and chemical characteristics

سیلنتی لومی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	هدایت الکتریکی	کربن آلی	اسیدیته
Silty-Loam	Total N(%)	Absorbable P (ppm)	Absorbable K(ppm)	EC*10 ³ (ds/m)	Organic C(%)	pH
	0/07	12.50	310	0.32	0.63	7.3

بیوچار، با میانگین ۸/۰۵ سانتی متر می‌باشد.

نتایج و بحث

تعداد پنجه بارور: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت تعداد پنجه بارور (جدول ۲)، در بین ارقام مختلف جو اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. از طرفی اثر سطوح مختلف بیوچار بر تعداد پنجه بارور غیر معنی‌دار بود و اثر متقابل رقم × کود بیوچار در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. در پژوهشی با بررسی تاثیر یک نوع بیوچار زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی ارقام گندم و جو مشخص شد که تاثیر بیوچار بر تعداد پنجه بارور در بوته غیر معنی‌دار بوده است (Afrashteh and Koolivand, 2021). این نتیجه با نتیجه پژوهش حاضر مطابقت داشته است. نتایج نشان داد، کمترین تعداد پنجه بارور در رقم HOR7496 در سطح دو گرم بیوچار با میانگین ۴/۳ و بیشترین تعداد پنجه بارور در رقم HOR8887 دارای تیمار شاهد (بدون بیوچار) با میانگین ۸/۵ مشاهده شد. همان‌طور که در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود، رقم HOR8887 در سه سطح بیوچار بیشترین تعداد پنجه بارور را نسبت به دو رقم دیگر داشته است. اما بین سطوح مختلف بیوچار در این رقم (HOR8887) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

طول سنبله: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت طول سنبله (جدول ۲) نشان داد، که بیوچار بر طول سنبله اثر معنی‌داری دارد، که این نتیجه با نتایج تحقیقی که در آن مشخص شد، کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش طول بلال در گیاه ذرت می‌شود؛ مطابقت داشته است (Arif et al., 2012). اما با نتایج مطالعه دیگری که اعلام شد، بیوچار بر طول سنبله گندم اثر غیر معنی‌داری دارد؛ متفاوت بود (Gebremedhin et al., 2015). مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، رقم HOR8887 با تیمار دو گرم بیوچار و میانگین ۸/۲ سانتی‌متر دارای بیشترین طول سنبله و ارقام HOR7496 و HOR9793 دارای تیمار شاهد (بدون کود بیوچار) و با میانگین ۷/۱ سانتی‌متر، کمترین طول سنبله را دارا بودند.

طول برگ پرچم: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت طول برگ پرچم (جدول ۲)، بین ارقام جو تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید. اثر بیوچار بر صفت طول برگ پرچم، در سطح احتمال پنج درصد نیز معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، کمترین طول برگ پرچم مربوط به رقم HOR7496 با تیمار چهار گرم بیوچار و میانگین ۴/۴۸ سانتی‌متر و بیشترین طول برگ پرچم مربوط به رقم HOR8887 و تیمار دو گرم

طول ریشک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت طول ریشک (جدول ۲) نشان داد، بین ارقام مختلف جو تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد و اثر بیوچار بر صفت طول ریشک نیز، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) کمترین طول ریشک در رقم HOR7496 دارای تیمار شاهد (بدون کود بیوچار) با میانگین ۱۱/۵ سانتی‌متر و بیشترین طول ریشک در رقم HOR8887 با سطوح دو و چهار گرم بیوچار و میانگین ۱۵/۵۸ سانتی‌متر مشاهده شد.

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت ارتفاع بوته (جدول ۲) نشان داد، بین ارقام جو در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما اثر بیوچار بر ارتفاع بوته و اثر متقابل رقم × بیوچار بر ارتفاع بوته غیر معنی‌دار بود. این

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و عملکردی

Table 2- Results of analysis of variance (mean square) of morphological and functional traits

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	تعداد پنجه Number of claws	تعداد پنجه بارور Number of fertile claws	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	عرض برگ پرچم Flag leaf width (cm)	طول سنبله spike length (cm)	طول ریشک Awn length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
رقم Cultivar	2	13.1 ^{ns}	18.8 ^{**}	6.911 ^{**}	0.006 ^{ns}	0.365 ^{ns}	18.8 ^{**}	566.5 ^{**}
بیوچار Biochar	2	15.1 ^{ns}	1.129 ^{ns}	2.163 [*]	0.012 ^{ns}	1.394 [*]	4.2 [*]	27.3 ^{ns}
رقم × بیوچار Cultivar × Biochar	4	12.5 ^{ns}	2.411 [*]	3.067 ^{**}	0.015 ^{ns}	0.318 ^{ns}	0.645 ^{ns}	12.2 ^{ns}
خطا Error	18	7.4	0.709	0.541	0.006	0.385	1.04	33.9
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation%	-	26.1	14.7	12.4	14.5	8.2	7.4	11.5

ns, * and ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه ی جدول ۲.

Table 2 Continued.

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	طول پدانکل Peduncle Length (cm)	تعداد سنبله Number of Spike	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	تعداد دانه در بوته Number of seeds per Shrub	وزن خشک سنبله Spike dry weight (gr)	وزن صد دانه 100 weight seeds (gr)	عملکرد دانه Seed yield (gr/kg)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (gr/kg)
رقم Cultivar	2	27.8 ^{**}	3.6 ^{ns}	17.3 ^{ns}	1446.5 ^{ns}	16.6 ^{ns}	0.9 ^{**}	14.6 ^{ns}	45.9 ^{ns}
بیوچار Biochar	2	2.8 ^{ns}	0.8 ^{ns}	20.5 [*]	231.4 ^{ns}	0.7 ^{ns}	0.45 [*]	0.6 ^{ns}	1.4 ^{ns}
رقم × بیوچار Cultivar × Biochar	4	1 ^{ns}	0.3 ^{ns}	11.8 ^{ns}	1015.1 ^{ns}	13.7 ^{ns}	0.02 ^{ns}	6.2 ^{ns}	30.3 ^{ns}
خطا Error	18	2.6	1	4.9	1307.1	13.4	0.12	7.5	39.6
ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation%	-	12	18.1	11.1	28.3	17	8.9	16.6	15.6

ns, * and ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ارتفاع بوته و رقم HOR9793 با سطح دو گرم بیوچار و میانگین ۶۱/۷ سانتی متر، بیشترین ارتفاع بوته را دارا بودند.

طول پدانکل: نتایج تجزیه واریانس داده‌های صفت طول پدانکل (جدول ۲) نشان می‌دهد، که بین ارقام جو در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری وجود دارد. اما اثر بیوچار بر طول پدانکل غیر معنی دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، رقم HOR8887 با تیمار چهار گرم بیوچار و میانگین ۱۱/۵ سانتی متر کمترین طول پدانکل و رقم

نتیجه با پژوهش انجام شده در این زمینه که نشان دهنده عدم تاثیر بیوچار بر ارتفاع بوته ارقام گندم بوده است؛ مطابقت داشت (Gebremedhin et al., 2015). اما با نتایج تحقیقی که در آن اعلام شد ارتفاع گیاه باقلا با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار به خاک نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی داری افزایش یافته است؛ مغایرت داشت (Abbaspour et al., 2019). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، رقم HOR8887 با تیمار چهار گرم بیوچار و میانگین ۴۰/۸ سانتی متر، کمترین

همراه کود شیمیایی تاثیر مثبت و معنی‌داری را بر عملکرد دانه نسبت به مصرف بیوچار به تنهایی داشت؛ مطابقت دارد (Abbaspour et al., 2019). نتایج سایر مطالعات نیز نشان داد که افزودن بیوچار به خاک می‌تواند عملکرد دانه گندم را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (Albuquerque et al., 2015; Gebremedhin et al., 2013). نتایج این مطالعات با نتیجه پژوهش حاضر متفاوت بوده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) با وجود این که برای صفت عملکرد دانه، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین ارقام و سطوح مختلف کود بیوچار مشاهده نشد؛ اما در مجموع کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم HOR7496 با تیمار دو گرم بیوچار و میانگین ۱۳/۸ گرم بر کیلوگرم و بیشترین عملکرد دانه، مربوط به رقم HOR9793 با تیمار دو گرم بیوچار و میانگین ۱۸/۲ گرم بر کیلوگرم بوده است.

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس داده‌های صفت عملکرد بیولوژیک (جدول ۲) نشان داد، که بیوچار بر عملکرد بیولوژیک اثر غیر معنی‌داری دارد. نتیجه پژوهش حاضر با نتایج مطالعه انجام شده در این زمینه که با بررسی سطوح مختلف بیوچار (۲، ۵ و ۱۰ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک) بر گیاه زنیان اعلام شد؛ تیمار دو گرم بیوچار، بیشترین اثر مثبت و معنی‌دار را بر عملکرد بیولوژیک دارد (Khashei et al., 2019). نتایج تحقیقی که نشان داد کاربرد سطوح ۵ و ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوچار سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت شده است، مغایرت داشته است (Singh and Smider, 2014). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) برای صفت عملکرد بیولوژیک، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین ارقام و سطوح مختلف کود بیوچار مشاهده نشد. سایر محققین نیز گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش عملکرد محصول و افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی عملکرد دانه گندم می‌شود (Albuquerque et al., 2013). همچنین کاربرد بیوچار منجر به افزایش ارتفاع، وزن تر و قطر اندام هوایی گیاه سویا شده است (Mukherje et al., 2014). علاوه بر این‌ها، افزودن بیوچار کاه گندم در سطوح ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ تن در هکتار به خاک موجب بهبود شاخص‌های رشد گندم، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش عملکرد شده است (Li et al., 2015). با کاربرد دو سطح بیوچار (۲ و ۴ تن در هکتار) و دو سطح کمپوست (۳/۵ و ۷ تن در هکتار) بر عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی گندم در یک آزمایش گلخانه‌ای مشخص شد که بیوچار عملکرد دانه و

HOR9793 با سطح دو گرم بیوچار و میانگین ۱۶/۱ سانتی‌متر بیشترین طول پدانکل را دارا بودند.

تعداد دانه در سنبله: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت تعداد دانه در سنبله (جدول ۲) نشان داد، که بیوچار بر تعداد دانه در سنبله اثر معنی‌داری دارد. نتیجه پژوهش حاضر با نتایج تحقیقی که نشان داد، سطوح بقایای گیاهی (بیوچار زیستی) بر تعداد دانه در بلال اثر معنی‌دار و افزایشی دارد مطابقت داشته است (Saadatian et al., 2014). اما با نتایج پژوهشی که با بررسی تاثیر بیوچار زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم و جو، مشخص شد که بیوچار زیستی بر تعداد دانه در سنبله اثر غیر معنی‌داری دارد، متفاوت بوده است (Afrashteh Koolivand, 2021). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، رقم HOR7496 دارای تیمار شاهد (بدون کود بیوچار) و سطح دو گرم بیوچار با میانگین ۱۷/۵ کمترین تعداد دانه در سنبله و رقم HOR7496 با سطح چهار گرم بیوچار و میانگین ۲۳/۴، بیشترین تعداد دانه در سنبله را دارا بودند.

وزن صد دلنه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) بیوچار، بر صفت وزن صد دانه تاثیری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. هم‌چنین اثر بیوچار بر وزن صد دانه ارقام جو در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. این نتیجه با نتایج پژوهشی که با بررسی سطوح مختلف بیوچار (۲، ۵ و ۱۰ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک) بر گیاه زنیان اعلام شد، تیمار ۱۰ گرم بیوچار اثر مثبت و معنی‌داری بر وزن صد دلنه گیاه زنیان دارد، مطابقت داشته است (Khashei et al., 2019). اما با نتایج تحقیقی که گزارش شد، تیمار بیوچار تاثیر معنی‌داری بر وزن صد دانه گندم ندارد، متفاوت بود (Gebremedhin et al., 2015). مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، کمترین وزن صد دانه مربوط به رقم HOR9793 دارای تیمار شاهد (بدون تیمار بیوچار) با میانگین وزن ۳/۳۰۴ گرم و بیشترین وزن صد دانه مربوط به رقم HOR8887 با سطح چهار گرم بیوچار و میانگین وزن ۴/۳۴ گرم بوده است.

عملکرد دانه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت عملکرد دانه (جدول ۲) بیوچار بر عملکرد دانه اثر غیر معنی‌داری نشان داد، که این نتیجه با نتایج تحقیقی که با بررسی اثر بیوچار بر گیاه سیاه دانه اعلام شد؛ استفاده از بیوچار اثر غیر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد اما مصرف بیوچار به

جدول ۳- انحراف معیار و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی

Table 3- standard deviation and average comparison of investigated traits

رقم cultivar	سطوح کود Fertilizer levels	تعداد پنجه بارور Number of fertile claws	طول برگ پرچم Flag leaf length(cm)	طول سنبله Spike length (cm)	طول ریشک Awn length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
HOR7496	Non-Fer	4.9 ^{bc} ± 0.083	6.72 ^{cb} ± 0.21	7.1 ^b ± 0.2	11.5 ^d ± 0.546	47.1 ^{cde} ± 1.62
HOR7496	Fer-2gr	4.3 ^c ± 0.382	5.86 ^{bcd} ± 0.2	7.2 ^{ab} ± 0.3	11.9 ^{cd} ± 0.577	50 ^{b-d} ± 4.39
HOR7496	Fer-4gr	5.1 ^{bc} ± 0.553	4.48 ^e ± 0.43	7.8 ^{ab} ± 0.6	13.3 ^{cb} ± 0.514	51 ^{cbd} ± 5.83
HOR9793	Non-Fer	4.9 ^{bc} ± 0.3	4.82 ^{de} ± 0.21	7.1 ^b ± 0.6	13.6 ^b ± 1.318	56.7 ^{abc} ± 4.1
HOR9793	Fer-2gr	4.5 ^c ± 0.25	5.47 ^{cde} ± 0.46	7.9 ^{ab} ± 0.2	14.2 ^{ab} ± 0.363	61.7 ^a ± 1.91
HOR9793	Fer-4gr	5.6 ^{bc} ± 0.3	5.2 ^{de} ± 0.45	8.1 ^{ab} ± 0.3	14.4 ^{ab} ± 0.19	59.1 ^{ab} ± 0.12
HOR8887	Non-Fer	8.5 ^a ± 0.577	5.697 ^{b-d} ± 0.07	7.3 ^{ab} ± 0.1	14.06 ^{ab} ± 0.11	43.6 ^{de} ± 2.94
HOR8887	Fer-2gr	7.6 ^a ± 0.866	8.05 ^a ± 0.94	8.2 ^a ± 0.4	15.58 ^a ± 0.221	46 ^{de} ± 1.1
HOR8887	Fer-4gr	6.1 ^b ± 0.583	6.873 ^{ab} ± 0.08	7.7 ^{ab} ± 0.2	15.58 ^a ± 0.521	40.8 ^c ± 3.93

Fer مخفف /Fertilizer حروف مشترک یا مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین تیمارها می باشد

Common or similar letters indicate no significant difference between treatments

ادامه ی جدول ۳.

Table 3 Continued.

رقم cultivar	سطوح کود Fertilizer levels	طول پدانکل Peduncle Length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن صد دانه seeds ۱۰۰Weight (gr)	عملکرد دانه Seed yield (gr/kg)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (gr/kg)
HOR7496	Non-Fer	12.5 ^{bc} ± 1.08	17.5 ^c ± 2.37	3.86 ^{abc} ± 0.12	16.4 ^a ± 0.35	41.4 ^a ± 3.58
HOR7496	Fer-2gr	14.3 ^{ab} ± 0.87	17.5 ^c ± 0.75	4.26 ^a ± 0.06	13.8 ^a ± 2.19	34.8 ^a ± 2.25
HOR7496	Fer-4gr	13.5 ^{abc} ± 1.29	23.4 ^a ± 0.64	4.12 ^{ab} ± 0.09	15.3 ^a ± 0.69	37.4 ^a ± 1.33
HOR9793	Non-Fer	14.5 ^{ab} ± 0.8	20.2 ^{abc} ± 1.67	3.304 ^c ± 0.09	17.8 ^a ± 2.71	42.7 ^a ± 3
HOR9793	Fer-2gr	16.1 ^a ± 1.02	22.9 ^a ± 1.62	3.78 ^{abc} ± 0.2	18.2 ^a ± 1.73	41.3 ^a ± 3.12
HOR9793	Fer-4gr	15.5 ^a ± 0.81	21.4 ^{ab} ± 0.64	3.6 ^{bc} ± 0.17	17.1 ^a ± 0.87	42.5 ^a ± 2.31
HOR8887	Non-Fer	12.06 ^{bc} ± 0.54	18.5 ^{bc} ± 0.58	3.84 ^{abc} ± 0.17	14.9 ^a ± 1.21	37.9 ^a ± 3.81
HOR8887	Fer-2gr	12 ^{bc} ± 0.74	18 ^{bc} ± 0.76	4.23 ^a ± 0.35	17 ^a ± 1.67	43.8 ^a ± 6.18
HOR8887	Fer-4gr	11.5 ^c ± 1.08	20.05 ^{abc} ± 1.18	4.34 ^a ± 0.33	17.9 ^a ± 1.33	41.8 ^a ± 4.79

Fer مخفف /Fertilizer حروف مشترک یا مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین تیمارها می باشد

Common or similar letters indicate no significant difference between treatments

کاربرد بیوچار ۵ درصد وزنی بر تعداد خوشه گندم در گلدان و تعداد سنبله در خوشه اثر مثبتی داشته است (Akhtar et al., 2015). تحقیقات دیگر نشان می دهد که افزودن بیوچار به صورت جداگانه یا ترکیب با عصاره جلبک دریایی، در مقایسه با گیاهان شاهد تاثیر محرکی بر اکثر خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد دارد و نشان می دهد، کاربرد بیوچار در سطوح

کاه گندم را به ترتیب با مقادیر ۱۵/۷ و ۱۶/۵ درصد به طور معنی داری افزایش می دهد (Gebremedhin et al., 2015). مطالعات توسط محققین دیگر نشان داد که کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش طول بلال در گیاه ذرت می شود، در حالی که بیوچار بر طول سنبله گندم تاثیر معنی داری نداشت (Arif et al., 2012; Gebremedhin et al., 2015).

سرعت رشد نیز با در نظر گرفتن پارامترهای رشد (ارتفاع بوته و قطر ساقه)، افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2020). در پژوهشی دیگر، با ساخت بیوچار از ضایعات آلی (ضایعات میوه و سبزیجات) به عنوان کود زیستی و تاثیر آن در دو سطح (۰/۵ و ۱ درصد) بر عملکرد گندم و حاصلخیزی خاک مشخص شد، که رشد و عملکرد گندم با حداکثر غلظت بیوچار بیشترین میزان را داشته است (Aziz *et al.*, 2020).

پایین (۲ درصد وزنی) بر رشد و عملکرد گندم، تاثیر مثبتی دارد (Salim, 2016). با بررسی تاثیر سه سطح بیوچار (۰، ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار) و سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، کمبود آب متوسط و کمبود آب شدید) بر خصوصیات فیزیکی خاک، رشد، عملکرد و کیفیت گوجه فرنگی، در پژوهش گلخانه‌ای مشخص شد که افزایش سطح آبیاری و بیوچار می‌تواند خواص فیزیکی خاک و عملکرد گوجه فرنگی را به طور موثری افزایش دهد،

جدول ۴- نتایج ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در ارقام جو

Table 4 - Results of simple correlation coefficients between studied traits in barley cultivars

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1																				
2	0.674**	1																			
3	0.418**	0.581**	1																		
4	0.382**	0.395**	0.788**	1																	
5	0.573**	0.551**	0.501**	0.551**	1																
6	0.605**	0.625**	0.569**	0.522**	0.846**	1															
7	0.491**	0.242**	0.29**	0.482**	0.726**	0.652**	1														
8	0.481**	0.217**	0.308**	0.438**	0.685**	0.626**	0.844**	1													
9	0.576**	0.775**	0.588**	0.445**	0.621**	0.656**	0.370**	0.340**	1												
10	0.485**	0.372**	0.389**	0.462**	0.712**	0.734**	0.793**	0.742**	0.474**	1											
11	0.526**	0.397**	0.316**	0.323**	0.488**	0.521**	0.418**	0.431**	0.375**	0.415**	1										
12	0.649**	0.520**	0.535**	0.549**	0.671**	0.737**	0.641**	0.568**	0.519**	0.573**	0.644**	1									
13	0.668**	0.568**	0.567**	0.585**	0.681**	0.743**	0.622**	0.559**	0.585**	0.541**	0.645**	0.969**	1								
14	0.428**	0.467**	0.612**	0.700**	0.760**	0.741**	0.614**	0.578**	0.587**	0.699**	0.368**	0.507**	0.52**	1							
15	0.650**	0.526**	0.500**	0.506**	0.703**	0.783**	0.692**	0.617**	0.509**	0.637**	0.612**	0.975**	0.933**	0.525**	1						
16	0.560**	0.667**	0.688**	0.695**	0.792**	0.857**	0.610**	0.579**	0.716**	0.669**	0.502**	0.725**	0.773**	0.875**	0.730**	1					
17	0.537**	0.703**	0.706**	0.655**	0.753**	0.846**	0.51**	0.497**	0.732**	0.610**	0.481**	0.684**	0.735**	0.847**	0.689**	0.989**	1				
18	0.270**	0.669**	0.582**	0.308**	0.407**	0.545**	0.028**	0.106**	0.586**	0.214**	0.261**	0.298**	0.394**	0.472**	0.303**	0.672**	0.751**	1			
19	0.559**	0.667**	0.691**	0.696**	0.789**	0.857**	0.606**	0.577**	0.714**	0.664**	0.502**	0.726**	0.774**	0.873**	0.730**	0.999**	0.990**	0.674**	1		
20	0.556**	0.694**	0.696**	0.659**	0.777**	0.864**	0.566**	0.543**	0.727**	0.641**	0.499**	0.711**	0.762**	0.844**	0.718**	0.994**	0.996**	0.728**	0.995**	1	
21	0.565**	0.519**	0.580**	0.728**	0.817**	0.807**	0.801**	0.731**	0.610**	0.755**	0.509**	0.761**	0.796**	0.865**	0.764**	0.934**	0.873**	0.416**	0.932**	0.900**	1

۱- تعداد پنجه Number of claws -۲- تعداد پنجه بارور Number of fertile claws -۳- طول برگ پرچم Flag leaf length -۴- عرض برگ پرچم flag leaf width -۵- طول سنبله Spike Length -۶- طول ریشک Awn Length -۷- ارتفاع بوته Plant Height -۸- طول پدانکل Peduncle Length -۹- تعداد سنبله Number of Spikes -۱۰- تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike -۱۱- تعداد دانه در بوته Number of seeds per Shrub -۱۲- وزن خشک سنبله Spike dry weight -۱۳- وزن خشک گیاه Plant dry weight -۱۴- وزن صد دانه Weight 100 seeds -۱۵- عملکرد دانه Grain yield -۱۶- روز تا جوانه زنی Day to germination -۱۷- روز تا پنجه زنی Day until clawing -۱۸- روز تا ساقه دهی Day to stemming -۱۹- روز تا ظهور برگ پرچم Day until the appearance of the flag leaf -۲۰- روز تا سنبله دهی Day to spike -۲۱- روز تا رسیدگی کامل Day until complete handling

روز تا ساقه دهی با تعداد دانه در سنبله (۰/۲۱۴*) همبستگی مثبت و معنی داری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی داری بین سایر صفات مشاهده گردید؛ وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد دانه با وزن صد دانه نیز توسط دیگران نیز گزارش شده است (Kamali and Sharifi, 2010; Tawakoli, 2012).

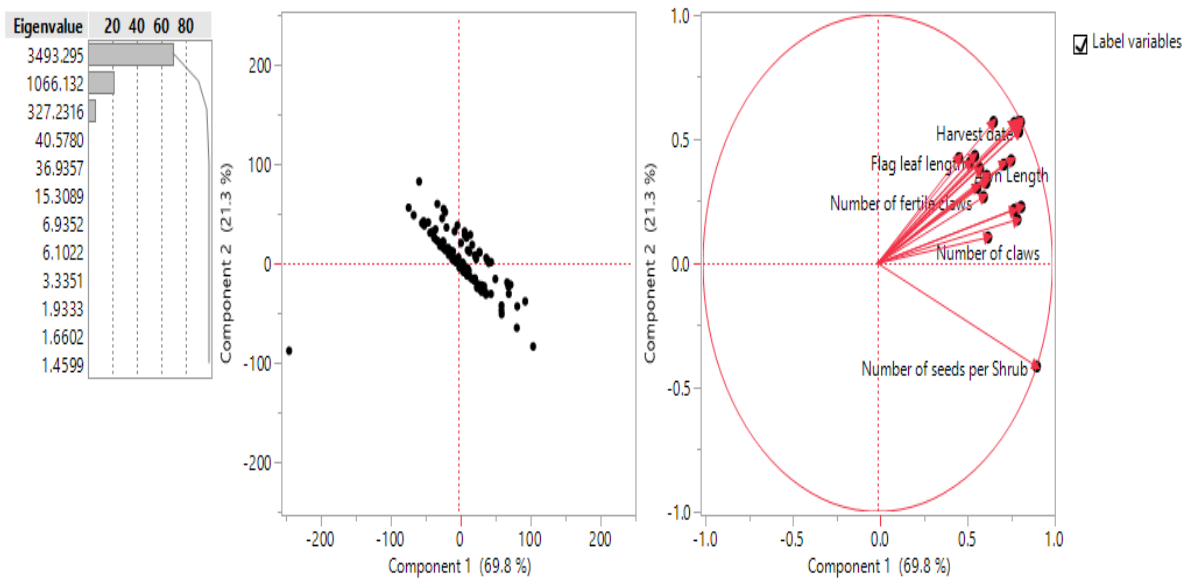
همبستگی بین صفات

بررسی روابط همبستگی بین صفات مورد مطالعه (جدول ۴) نشان داد، که بین صفات روز تا ساقه دهی با ارتفاع بوته (۰/۲۸^{ns}) و روز تا ساقه دهی با طول پدانکل (۰/۱۰۶^{ns}) همبستگی مثبت و غیر معنی داری وجود دارد. از طرفی بین صفات طول پدانکل با تعداد پنجه بارور (۰/۲۱۷*) و هم چنین

جدول ۵- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات مورد بررسی

Table 5- The results of decomposition into principal components for the investigated traits

Traits صفات	مولفه اول First component	مولفه دوم Second component
تعداد پنجه Number of claws	0.034	0.01
تعداد پنجه بارور Number of fertile claws	0.019	0.018
طول برگ پرچم Flag leaf length	0.017	0.023
عرض برگ پرچم flag leaf width	0.001	0.001
طول سنبله Spike Length	0.021	0.021
طول ریشک Awn Length	0.041	0.041
ارتفاع بوته Plant Height	0.129	0.122
طول پدانکل Peduncle Length	0.036	0.029
تعداد سنبله Number of Spikes	0.016	0.020
تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	0.054	0.055
تعداد دانه در بوته Number of seeds per Shrub	0.767	-0.634
وزن خشک سنبله Spike dry weight	0.072	0.029
وزن خشک گیاه Plant dry weight	0.134	0.067
وزن صد دانه Weight 100 seeds	0.009	0.015
وزن کل دانه‌ها Total weight of seeds	0.054	0.027
روز تا جوانه زنی Day to germination	0.035	0.044
روز تا سبز شدن Day until green	0.042	0.054
روز تا پنجه زنی Day until clawing	0.074	0.097
روز تا ساقه دهی Day to stemming	0.142	0.235
روز تا ظهور برگ پرچم Day until the appearance of the flag leaf	0.263	0.335
روز تا سنبله دهی Day to spike	0.297	0.377
روز تا رسیدگی کامل Day until complete handling	0.404	0.481
مقادیر ویژه Eigenvalues	3493.2	1066.1
درصد واریانس نسبی Relative variance percentage	69.8	21.3
درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage	69.8	91.1



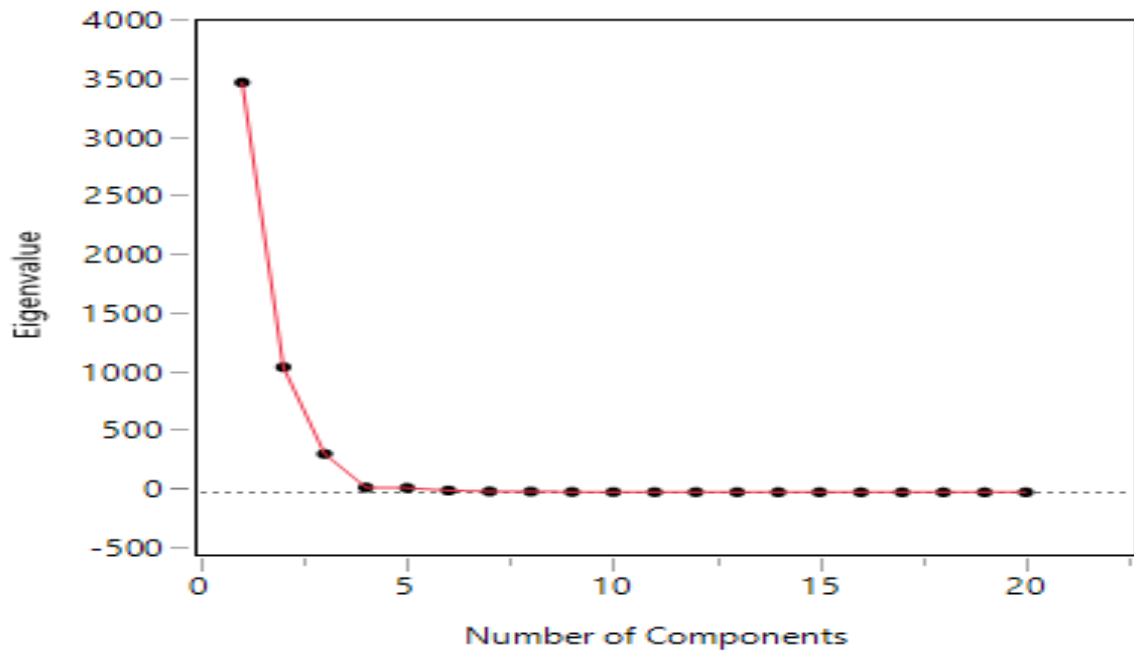
شکل ۱- نمایش بای پلات صفات مورد بررسی بر اساس اولین و دومین مولفه اصلی

Figure 1- Biplot display of investigated traits based on the first and second principal components

بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات فنولوژیکی مشاهده شد. در بین صفات مورفولوژیکی نیز بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌داری به ترتیب بین عملکرد دانه با وزن خشک سنبله با وزن خشک بوته (**/۰/۹۷۵)، وزن خشک سنبله با وزن خشک بوته (**/۰/۹۶۹)، و وزن خشک بوته با ارتفاع بوته مشاهده شد (Moshfeghi *et al.*, 2014).

مشابهی ارائه نمودند (Guarda *et al.*, 2004; Frederick *et al.*, 1995; Samarah, 2005).

همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در سنبله با ارتفاع بوته مشاهده شد (Moshfeghi *et al.*, 2014).



شکل ۲- نمودار اسکری پلات حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات مورد بررسی

Figure 2- The scree plot diagram resulting from the analysis of the main components of the studied traits

شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم استفاده شد و تاثیر آن بر برخی صفات مورفولوژیکی ارقام جو بررسی گردید. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که استفاده از بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم به عنوان اصلاح کننده خاک، در سطوح دو و چهار گرم بر کیلوگرم بر برخی صفات مورفولوژیکی از قبیل طول برگ پرچم، طول سنبله، طول ریشک، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تاثیر معنی دار و بر روی سایر صفات مورفولوژیکی و عملکردی تاثیر غیر معنی داری نشان داد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیکی نیز نشان داد؛ بین ارقام جو، برای صفات تعداد پنجه بارور، طول برگ پرچم، طول ریشک، ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن صد دانه تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. با توجه به منابع مختلفی که به عنوان بیوچار مورد استفاده قرار گرفته و تاثیر مثبت بر افزایش تولید و پارامترهای رشد گیاهان دارند؛ اما بیوچار شیمیایی آسفالت طبیعی پتاسیم که یک منبع طبیعی و فراوان در غرب کشور است، می‌تواند گزینه مناسبی برای اصلاح خاک‌ها و استفاده در مزارع، باغ‌ها و نواحی جنگل‌کاری بادش که نقش موثری در اصلاح خاک دارد، باشد. که به منظور دستیابی به نتایج بهتر در پژوهش‌های آتی می‌توان غلظت‌های بالاتر این نوع بیوچار را در کنار کودهای معدنی و آلی در دسترس کشاورزان بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی سایر گیاهان به اجرا گذاشت.

References

- Abbaspour, F., Asghari, H.R., Rezvani Moghaddam, P., Abbasdokht, H., Shabahang, J. and Baig Babaei, A., 2019. Effects of biochar on soil fertility and water use efficiency of black seed (*Nigella sativa* L.) under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(1), pp.39–52. <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.63344>
- Afrashteh, M. and Koolivand, D., 2021. The effect of biochar on increasing plant resistance to pathogens. *Journal of Biosafety*, 14(2), pp.17–30. <https://doi.org/20.1001.1.27170632.1400.14.2.2.1>
- Akhtar, S.S., Andersen, M.N. and Liu, F.L., 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201, pp.368–378. <https://doi.org/10.1111/jac.12132>
- Albuquerque, J.A., Salazar, P., Barron, V., Torrent, J., del Campillo, M.D., Gallardo, A. and Villar, R., 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, pp.475–484. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0128-3>

تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Components Analysis (PCA)) برای صفات مورد

بررسی

تجزیه به مولفه‌های اصلی روشی برای کاهش حجم داده‌ها و توجیه تغییرات کل داده‌ها می‌باشد. تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که مولفه اول (۶۹/۸) و مولفه دوم (۲۱/۳) در مجموع ۹۱/۱ درصد از تغییرات کل متغیرها را توجیه می‌نمایند که صفاتی همچون تعداد دانه در بوته و روز تا رسیدگی در مولفه اول بیشترین ضریب عاملی مثبت را دارا بودند، در حالی که به استثنای تعداد دانه در بوته، بقیه صفات برای مولفه دوم ضریب عاملی مثبت داشتند (جدول ۵، شکل ۱ و ۲).

نتیجه‌گیری کلی

اگرچه استفاده از کود در خاک‌های فقیر جهت افزایش حاصلخیزی خاک و رشد بهینه گیاهان امری ضروری است، اما در سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی باعث آسیب‌های زیست‌محیطی فراوانی شده است که در حال حاضر یکی از راه‌های شناخته شده برای به حداقل رساندن مصرف کودهای شیمیایی، بهبود حاصلخیزی خاک، مقابله با کم آبی و به منظور تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا استفاده از منابع ایمن مانند کودهای زیستی و ترکیبات اصلاحگر خاک از جمله بیوچار است. بدین منظور در تحقیق حاضر برای نخستین بار از بیوچار

- Arif, M., Ali, A., Umair, M., Munsif, F., Ali, K., Inamullah, M.S. and Ayub, G., 2012. Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture*, 28, pp.191–195. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010113>
- Aziz, S., Yaseen, L., Jamal, A., Farooq, U., Qureshi, Z., Tauseef, I. and Ali, M. I., 2020. Fabrication of biochar from organic wastes and its effect on wheat growth and soil microflora. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2). <https://doi.org/10.15244/pjoes/99825>
- El-Esawi, M.A., Alaraidh, I.A., Alsahli, A.A., Ali, H.M., Alayafi, A.A., Witczak, J. and Ahmad, M., 2018. Genetic variation and alleviation of salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecules*, 23(10), 2488. <https://doi.org/10.3390/molecules23102488>
- Falah, S., Soleiman-Beigi, M. and Kohzadi, H., 2020. Potassium natural asphalt sulfonate (K-NAS): Synthesis and characterization as a new recyclable solid basic nanocatalyst and its application in the formation of carbon-carbon bonds. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(10), e5840. <https://doi.org/10.1002/aoc.5840>
- Frederick, J.R. and Comberato, J.J., 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat in south eastern coastal plain: Physiological responses. *Agronomy Journal*, 87, pp.527–533. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030021x>
- Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D. and Belay, T., 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers and Pesticides*, 6, pp.1–4. <https://doi.org/10.4172/jbfbp.1000158>
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Minkina, T., Wong, M.H. and Rajput, V.D., 2024. Biochar application in agroecosystems: A review of potential benefits and limitations. *Environment, Development and Sustainability*, 26, pp.19231–19255. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03470-z>
- Guarda, G., Padovan, S. and Delogu, G., 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21, pp.181–192. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001>
- Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E. and Abdelaal, K., 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agronomy*, 10(5), 630. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050630>
- Hossain, A., Krupnik, T.J., Timsina, J., Mahboob, M.G., Chaki, A.K., Farooq, M. and Hasanuzzaman, M., 2020. Agricultural land degradation: Processes and problems undermining future food security. In *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* (pp. 17–61). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_2
- Kamali, M.J. and Sharifi, H.R., 2010. Variation in developmental stages and its relationships with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions: II–Yield and its components. *Seed and Plant Production Journal*, 26(1), pp.1–23. <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110391>
- Khashei, A., Shahidi, A., Yaghoobzadeh, M. and Dastourani, M., 2019. Effect of biochar application and water tension levels on yield and yield components of medicinal plant (*Trachyspermum ammi*). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2), pp.319–328.

- Li, Z., Qi, X., Fan, X., Wu, H., Du, Z., Li, P. and Lü, M., 2015. Influences of biochars on growth, yield, water use efficiency and root morphology of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(12), pp.119–124.
- Moshfeghi, N., Khazaei, H.R. and Kafi, M., 2014. The study of morphological characteristics of old and new barely cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), pp.641–648. <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45147>
- Mukherje, A., Lal, R. and Zimmerman, A.R., 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*, 487, pp.26–36. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.141>
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. and Lehmann, J., 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3), pp.271–284. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7>
- Saadatian, B., Ahmadvand, G., Soleymani, F. and Vejdani Aram, S., 2014. Evaluation of wheat residual effects in rotation on emergence, leaf area, and yield components of corn (*Zea mays* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1), pp.91–98. <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36645>
- Salim, B.B.M., 2016. Influence of biochar and seaweed extract applications on growth, yield and mineral composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) under sandy soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), pp.257–265. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2016.06.001>
- Samarah, N.H., 2005. Effect of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*, 25, pp.145–149. <https://doi.org/10.1051/agro:2004064>
- Singh, B. and Smider, B., 2014. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191, pp.99–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.024>
- Tawakoli, A., 2012. Examining correlation coefficients of traits, causality analysis and drought tolerance indices in wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(3), pp.198–206. <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i1.14506>
- Yaghoby, M., Amerian, M. and Asghar, H., 2014. Comparison of the effect of biological and biofertilized fertilizers on some physiological traits in bean growing. In *The 2nd National Conference of the Desert with the Approach of the Management of Arid and Desert Areas*. Semnan University.
- Zhang, C., Li, X., Yan, H., Ullah, I., Zuo, Z., Li, L. and Yu, J., 2020. Effects of irrigation quantity and biochar on soil physical properties, growth characteristics, yield and quality of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 241, 106263. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106263>

Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 7, No. 3, Autumn 2025

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

Reaction of the henna plant (*Lawsonia inermis* L.) to salicylic acid and sodium nitroprusside as growth stimulants under drought stress 627

Faramarz Chamani, Hassan Farahbakhsh, amin passandi pour

Effect of seeding rate and harvesting time on forage yield and some agronomic characteristics of two sorghum cultivars 639

Ahmad Ghasemi, Mohammad Reza Asgharipour, Ali Shahraki

Investigating the efficiency of light consumption and yield of different hybrids of corn in the condition of removing leaves and cobs 653

Eshagh Hojatipour, Hamidreza Miri, Barmak Jafari Haghighi, HamidReza Ebrahimi, Abdolreza Jafari

The effect of biochar on some agronomic and functional traits of barley cultivars (*Hordeum vulgare*) 671

Kosar Sheikhi, Arash Fazeli, Mohammad Soliman Beigi



- Comparison of two semi-traditional and mechanized rice farming systems using energy and economic indices (case study: Dorud county)** 463
Marzieh Hadifard, Khosro Azizi, Sajjad Rahimi-Moghaddam, Hamed Eyni-Nargeseh
- The effect of growth promoting materials on the yield and concentration of nutrient elements of wheat under drought stress** 479
Reza Soleimani, Fereydoun Nourgolipoor
- Effect of deficit irrigation, planting date and biofertilizers on soil bacteria population, root colonization, some morphological traits and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield** 493
Mohammad Jabbari Oranj, Hossein Moghadam, Mohammad Reza Jahansouz, Ali Ahmadi, Babak Motesharezadeh
- Genetic variation for yield and some morphological traits in common millet genotypes in Birjand climatic condition** 507
Ali Azarinasrabad, Ardalan Mehrani, Reza Ataei, Asadollah Nakhaei
- Effects of salinity stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of leaf and root during vegetative growth of two cultivars of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.)** 519
Nasrin Shirzadi, Maryam Nasr Esfahani, Seifollah Bahramikia, Hamed Khodayari
- The effect of the combined application of mycorrhiza with vermicompost and chemical fertilizers on licorice root and seed production and agronomic efficiency of fertilization** 541
Mohadeseh Shahdadnejad, Gholamreza Khajoei -Nejad, Ghasem Mohammadi-Nejad, Jalal Ghanbari
- The effect of zeolite on reducing of groundwater salinity and the growth of blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz) in arid areas** 561
Shahram Riahinia, Zahra Ramezani, zahra Danaeipour
- Investigating the possibility of determining the appropriate date of sugar beet harvest using some quantitative and qualitative root traits in the field** 575
Mohammad Ali Javaheri
- Biochar mitigates the adverse effects of saline water irrigation on loam and sandy loam agricultural soils in the Sistan plain** 593
Ehsan Salari, Masoomeh Delbari, Abdolrahman Rahimian Boogar, Peyman Afrasiab
- Effective factors on precipitation use efficiency of dryland wheat and barley genotypes** 607
Alireza Khodashenas

The list is continued on the back cover.....