تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

دانشگاه زابل

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

جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲

تأثیر زمان برداشت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه لاین‌ها و ارقام ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) در منطقه بیرجند ۳۲۷
علی آذری نصرآباد؛ حامد جوادی؛ رضا عطایی

مطالعه تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر عملکرد قند هیبریدهای چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) ۳۴۵
سعید صادق زاده حمایتی؛ علی صارمی راد؛ رحیم محمدیان؛ علی جلیلیان؛ جواد رضایی؛ مستانه شریفی؛ عادل پدرام

تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در گندم: جنبه‌های زراعی و مورفو- فیزیولوژیکی ۳۶۵
مهدی جودی؛ محمد اسماعیل پور؛ شهرام مهری

انگشت‌نگاری ژنتیکی بخشی از ژرم‌پلاسم خربزه ایران با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره ۳۸۳
طاهره شهرکی؛ محمدرضا ناروئی راد؛ حمیدرضا گنجعلی؛ حسین کمال الدینی؛ حمیدرضا مبصر

ارزیابی اثر اندازه مزرعه بر کارایی مصرف منابع و پایداری تولید سیب زمینی با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان فریمان) ۳۹۵
مهسا مصطفوی بابوکانی؛ یوسف هاشمی نژاد؛ محمد آرمین؛ حمید مروی؛ کوروش شجاعی نوفرست

ارزیابی تنوع صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف رازیانه با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره ۴۱۳
شهرام ریاحی نیا؛ مریم دانش گیلوایی

مطالعه تحمل فیزیولوژیکی چغندرقند به تنش خشکی با مصرف اسید سالیسیلیک ۴۲۹
عباس ابهری؛ مجید سید آبادی؛ منصوره کرمانی

شبیه سازی عملکرد و زیست توده کینوا تحت مدیریت های مختلف زراعی با استفاده از مدل AquaCrop ۴۴۷
مهرنوش گلابی؛ شهرام لک؛ عبدالعلی گیلانی؛ مجتبی علوی فاضل؛ اصلان اگدرنژاد

بررسی عملکرد علوفه و شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط ماشک و جو تحت تأثیر کود زیستی ازتوبارور-۱ و سوپرجاذب ۴۶۵
نورالله طولابی؛ عیسی خمری؛ علیرضا سیروس مهر؛ ماشاء الله دانشور؛ محمد گلوی؛ مهدی دهمرده

تأثیر تنش خشکی و کود شیمیایی نیتروژن بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد در سه رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild) ۴۸۷
زینب زمانی؛ احسان زیدعلی؛ حمزه علی علیزاده؛ امین فتحی

بررسی اثرات تلقیح قارچ‌های مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه ۵۰۱
سید حمید رضا رمضانی؛ مرتضی قربانی

تأثیر تیمار نانوذره طلا روی ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری (*Rosmarinus officinals* L.) در دو بازه زمانی مختلف تیمار دهی ۵۲۵
مهران جهانتیغ؛ محمود سلوکی؛ براتعلی فاخری؛ نفیسه مهدیه نژاد؛ عباس بهاری؛ مهدی توکلی زاده

نشریه تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک

جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲

این نشریه بر اساس آیین نامه نشریات علمی مصوب ۹۸/۰۲/۰۹ در ارزیابی سال ۱۴۰۱ موفق به کسب رتبه ب شده است و در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) نیز نمایه می شود.

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه زابل

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 مجنون‌حسینی، استاد گروه زراعت، دانشگاه تهران

دکتر محمدرضا شکیبا، استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز

دکتر سیدمحسن موسوی‌نیک، استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل

دکتر محمد صدقی، استاد گروه زراعت، دانشگاه اردبیل

دکتر خسرو عزیزی، استاد گروه زراعت، دانشگاه لرستان

دکتر عبدالعلی غفاری، دانشیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

دکتر بهنام کامکار، استاد گروه زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد

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

دکتر محمود رمرودی، 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 یوزونجی‌ییل، ترکیه

ویراستاران: دکتر اسماعیل سیدآبادی، عباس نصیری ده سرخی

صفحه آرا: فاطمه فتحی

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

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

پست الکترونیک: csraa@uoz.ac.ir, csraa.uoz1@gmail.com **وبگاه**: www.cropscience.uoz.ac.ir

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

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

چه مقالاتی را می‌توان ارسال نمود؟

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

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

دستورالعمل و راهنمای تهیه مقاله

نگارش مقاله باید با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Word 2003 یا نسخه‌های بالاتر صورت بگیرد. تنظیمات صفحات مقاله باید در حالت صفحه A4 با ۲/۵ سانتی‌متر (یک اینچ) حاشیه به‌صورت 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 شکل ها، همچنین اطلاعات داخل آنها، سایز ۸ برای کلمات انگلیسی استفاده شود). نام‌های غیرفارسی در متن با فونت Times New Roman سایز ۱۱ درج می‌شوند.

مشخصات مقاله و نویسندگان

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

مقاله به طور کلی باید شامل بخش‌های زیر باشد:

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

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

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

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

در پاراگراف آخر بخش مقدمه، می‌بایست جنبه های نوآوری، ضرورت و اهداف انجام پژوهش به طور کامل شرح داده شود.

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

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

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

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

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

نتیجه گیری کلی: این بخش 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 صورتی‌که 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) نیز ارائه گردد dor و یا doi استفاده شود. در ضمن در انتهای هر منبع آدرس [In Persian] از عبارت.

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

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

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

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

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

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

تعهدنامه

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

نکات مهم دیگر

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

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۴۳-۳۲۷

مقاله پژوهشی

تأثیر زمان برداشت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه لاین‌ها و ارقام ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) در منطقه بیرجند

علی آذری نصرآباد[1*]، حامد جوادی[2]، رضا عطایی[3]

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

۲- دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، بیرجند، ایران

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

* مسئول مکاتبه: azari_ali2003@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۸/۳۰ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.356760.1267**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر زمان برداشت بر عملکرد علوفه لاین‌ها و ارقام ارزن دم‌روباهی آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل زمان برداشت به‌عنوان فاکتور اصلی در چهار سطح (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن) و لاین‌ها و ارقام ارزن دم‌روباهی (شامل لاین‌های امیدبخش KFM5 و KFM93-17 و رقم باستان) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر زمان برداشت بر ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، عملکرد تر ساقه، عملکرد علوفه سبز، عملکرد خشک ساقه، عملکرد خشک برگ، عملکرد علوفه خشک، نسبت برگ به ساقه، درصد پروتئین خام و عملکرد پروتئین معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد علوفه سبز (۱۳۶۶۶/۶ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد علوفه خشک (۴۷۷۸/۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۴۸۳/۵ کیلوگرم در هکتار) از برداشت در ۷۰ روز پس از سبز شدن حاصل شد که تفاوت آماری معنی‌داری با زمان برداشت در ۶۰ روز پس از سبز شدن نداشت. تأخیر در زمان برداشت موجب کاهش نسبت برگ به ساقه و درصد پروتئین خام شد. بیشترین تعداد برگ در بوته (۱۱ برگ)، قطر ساقه (۱۱ میلی‌متر)، عملکرد خشک ساقه (۲۰۸۵/۵ کیلوگرم در هکتار) از رقم باستان و بیشترین نسبت برگ به ساقه (۰/۴) از لاین امیدبخش KFM93-17 حاصل شد؛ بنابراین بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، جهت تولید علوفه اضطراری ارزن دم‌روباهی در منطقه بیرجند می‌توان از رقم باستان و برداشت علوفه ۶۰ روز پس از سبز شدن استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: باستان، درصد پروتئین، علوفه، نسبت برگ به ساقه

مقدمه

کشور ایران از نظر اقلیمی در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. اثرات سوء تغییر اقلیم و هم‌چنین واقع شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک، همواره کشور ما را درگیر بحران‌هایی از قبیل خشکی، سیل، سرما، گرما و خسارات موجودات زنده کرده است. در صورت عدم چاره‌اندیشی مناسب این مشکلات می‌توانند به کاهش منابع غذایی و به خطر افتادن امنیت غذایی کشور منجر شوند. در شرایطی که با بروز حوادث غیرمترقبه، منابع غذایی دام‌ها از بین می‌رود، تولید علوفه به شکل اضطراری به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر و فوری مطرح می‌باشد. گیاهان مناسب جهت تولید علوفه اضطراری باید دارای شرایط و خصوصیات ویژه‌ای باشند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به داشتن سرعت سبز شدن و نرخ رشد بالا و هم‌چنین پتانسیل تولید علوفه با کمیت و کیفیت مناسب در کوتاه‌ترین زمان ممکن اشاره کرد. ارزن از جمله گیاهانی است که به دلیل کوتاهی طول دوره رشد و مقاومت نسبی به خشکی می‌تواند در اکثر مناطق کشور که از نظر تأمین آب و یا طول دوره مناسب برای رشد و نمو گیاهان مشکل دارند مورد استفاده قرار گیرد و در تولید غذا برای دام و طیور نقش مهمی بازی کند. ارزن‌های دم‌روباهی و معمولی به‌عنوان مهم‌ترین ارقام این گونه در کشور ایران مطرح می‌باشند (Shoushi Dezfuli and Mehrani, 2010). ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) در استان خراسان جنوبی از قدیم‌الایام با نام گاورس شناخته شده و مورد کشت و کار است. تحمل کم‌آبی، استفاده بهینه از رطوبت خاک،

پنجه‌زنی قابل‌توجه و جبران خسارت‌های احتمالی وارده و نیز مصرف دوگانه آن به‌عنوان علوفه سبز و دانه از ویژگی‌های بارز آن می‌باشد (Karimi, 1989).

کیفیت علوفه از عوامل مهم در تولید و مدیریت گیاهان علوفه‌ای است، زیرا افزایش کیفیت علوفه موجب بهبود بازده تغذیه می‌گردد. بر اساس پارامترهای خوراکی، علوفه باید دارای غلظت ماده خشک مطلوب برای تخمیر مناسب پس از تغذیه، قابلیت هضم بالا برای حداکثر جذب، بازده تبدیل به‌وسیله حیوان و محتوای پروتئین بالا برای کاهش نیازهای پروتئینی دام باشد (McDonald *et al.*, 1995). محتوای پروتئین علوفه یکی از مهم‌ترین معیارها برای ارزیابی کیفیت علوفه است (Assefa and Ledin, 2001).

زمان برداشت و رقم مناسب از جمله عوامل مهم در مدیریت زراعی محصولات به شمار می‌آید و سبب دسترسی به حداکثر عملکرد کمی و کیفی خواهد بود (Ronga *et al.*, 2020). علوفه‌ای که در مراحل اولیه رشد رویشی برداشت می‌گردد، بالاترین ارزش غذایی را برای دام دارد. با افزایش سن گیاه، در زمان برداشت تغییر زیادی در خوش‌خوراکی و قابلیت هضم آن ایجاد می‌گردد (Sepehr, 1998). با تعیین زمان مناسب برداشت جهت تأمین علوفه دام، می‌توان هم از لحاظ کمی و هم از نظر خصوصیات کیفی، خوش‌خوراکی و ارزش غذایی علوفه، حداکثر تولید و عملکرد را به دست آورد. برداشت دیرهنگام ارزن به‌منظور استفاده از علوفه آن موجب افزایش عملکرد کمی می‌گردد؛ این در حالی است که با نزدیک شدن به پایان دوره رشد گیاه، کیفیت علوفه آن کاهش می‌یابد. این دو عامل عکس هم عمل می‌کنند، بنابراین بایستی مناسب‌ترین زمان برداشت علوفه ارزن را تعیین نمود تا در نتیجه آن بالاترین عملکرد با بهترین کیفیت حاصل گردد.

تأثیر زمان برداشت بر عملکرد و ارزش غذایی محصولات علوفه‌ای توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (Glamoclija *et al.*, 2011; Teixeira *et al.*, 2017; Ronga *et al.*, 2020). در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۵، ۶۰ و ۷۵ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین ارتفاع بوته و عملکرد علوفه سبز از زمان‌های برداشت ۶۰ و ۷۵ روز پس از کاشت، بیشترین قطر ساقه و عملکرد خشک علوفه از زمان برداشت ۷۵ روز پس از کاشت و بیشترین نسبت برگ به ساقه از زمان برداشت ۴۵ روز پس از کاشت حاصل شد (Tariq *et al.*, 2011). در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۰، ۵۰ و ۶۰ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در گیاه، سطح برگ، عملکرد علوفه‌تر، عملکرد علوفه خشک و درصد ماده خشک از زمان برداشت ۶۰ روز پس از کاشت حاصل شد و بیشترین درصد پروتئین علوفه مربوط به زمان برداشت ۴۰ روز پس از کاشت بود (Ayub *et al.*, 2009). در بررسی سه زمان برداشت در ذرت شامل ۴۵، ۵۵ و ۶۵ روز پس از کاشت گزارش شد هنگامی که ذرت در ۵۵ روز نسبت به ۴۵ روز برداشت شد عملکرد علوفه تازه افزایش یافت اما تفاوت آماری معنی‌داری بین ۵۵ روز و ۶۵ روز پس از کاشت وجود نداشت (Salama, 2019). هم‌چنین برداشت علوفه سبز در ۶۵ روز پس از کاشت موجب کاهش معنی‌دار پروتئین خام شد. نتایج تحقیقی که به‌منظور بررسی تأثیر زمان برداشت (مراحل شیری، خمیری نرم، خمیری سفت و رسیدگی فیزیولوژیک دانه) بر روی هفت ژنوتیپ دومنظوره دانه‌ای- علوفه‌ای سورگوم انجام شد نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک و وزن خشک پانیکول از زمان رسیدگی فیزیولوژیک دانه، بیشترین وزن‌تر ساقه و برگ از مرحله شیری شدن، بیشترین وزن‌تر پانیکول از مرحله خمیری سفت و بیشترین عملکرد علوفه سیلویی از مراحل شیری، خمیری نرم و خمیری سفت حاصل شد (Khalilian *et al.*, 2021). نتایج مطالعه بر روی سورگوم (Beck *et al.*, 2007; Ayub *et al.*, 2003a)، در گیاه باجرا (Malai *et al.*, 1980)، در ارزن (Bukhari, 2009) و در ذرت (Ayub *et al.*, 2003b) حاکی از آن بود که تأخیر در برداشت موجب افزایش ماده خشک و کاهش درصد پروتئین خام علوفه در این گیاهان شد. نتایج تحقیقی نشان داد که با بلوغ گیاه، عملکرد علوفه، محتوای ماده خشک، محتوای نشاسته و محتوای انرژی معمولاً افزایش می‌یابد (Seleiman *et al.*, 2017).

با توجه به موارد فوق، پژوهش در خصوص گیاهان علوفه‌ای مقاوم به شرایط اقلیمی خراسان جنوبی به‌ویژه ارزن ضروری می‌باشد. لذا این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد علوفه لاین‌ها و ارقام ارزن دم‌روباهی در زمان‌های مختلف برداشت و در منطقه بیرجند به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بیرجند واقع در ۲۰ کیلومتری جاده بیرجند-خوسف با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا اجرا شد. این منطقه از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک می‌باشد. با استناد به میانگین ۱۵ ساله آمار هواشناسی ایستگاه بیرجند مشخص گردید که متوسط بارندگی در این منطقه ۹۸/۴ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱ و حداقل دمای آن ۱۷- می‌باشد و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. به‌منظور تعیین برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical properties of the test soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی خاک Electrical conductivity of soil (ms cm^{-1})	pH	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium (ppm)
0-30	لوم Loam	3.21	8.14	0.032	5.38	214.2
30-60	لوم Loam	3.30	8.00	0.024	4.28	196.3

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل زمان برداشت به‌عنوان فاکتور اصلی در چهار سطح (۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن) و لاین‌ها و ارقام ارزن دم‌روباهی شامل (لاین‌های امیدبخش KFM93-17، KFM5 و رقم باستان) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. لاین‌های مورد آزمایش در این پروژه جزو لاین‌های امیدبخش ارزن دم‌روباهی هستند که طی چند سال گذشته مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در این آزمایش جهت تکمیل اطلاعات درباره پتانسیل تولید علوفه اضطراری مورد ارزیابی تکمیلی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول پنج‌متر بود. عملیات کاشت در اوایل تیرماه انجام شد. برداشت در کرت‌های مختلف بر اساس تیمارهای آزمایشی مربوطه در ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ روز پس از کاشت انجام شد.

عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل خرداد سال ۹۹ آغاز گردید. بدین منظور ابتدا توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس کلوخه‌ها توسط دو دیسک عمود بر هم خرد شده و با استفاده از لولر تسطیح انجام گرفت. سپس بر اساس نتایج آزمون خاک به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۷۰ کیلوگرم در هکتار اوره قبل از کاشت به خاک اضافه شد. کاشت بذور در تاریخ اول تیر به روش خشکه‌کاری و با دست انجام گردید. قبل از کاشت، بذور به‌وسیله قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به میزان ۲ در هزار ضدعفونی گردید. میزان بذر مورد استفاده ۱۰ کیلوگرم در هکتار بود. عمق کاشت ۲ تا ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم کاشت در نظر گرفته شده ۶۰۰ هزار بوته در هکتار بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد. آبیاری مزرعه به طریقی نشتی و با مدار ۷ روز انجام گردید. پس از استقرار بوته‌ها میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته از منبع اوره در مرحله پنجه‌زنی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله ساقه‌دهی به‌صورت سرک به طور یکنواخت در فاصله ردیف‌های کاشت پخش شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی و در مرحله ۴ تا ۶ برگی انجام شد. آفت یا بیماری خاصی در طول دوره رشد ارزن مشاهده نشد.

به‌منظور تعیین برخی صفات مورفولوژیک گیاه، تعداد ۵ بوته از هر کرت فرعی به طور تصادفی انتخاب و ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، قطر ساقه و تعداد پنجه در بوته در آن‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین اجزای عملکرد علوفه ارزن از جمله وزن ساقه و برگ و تعیین نسبت برگ به ساقه، تعداد ۵ بوته از بخش‌های میانی هر کرت و با رعایت اثرات حاشیه‌ای و

به‌صورت تصادفی از سطح زمین برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. جهت تعیین عملکرد علوفه، از دو ردیف وسط هر کرت با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کلیه ردیف‌ها (اثر حاشیه‌ای)، بوته‌ها برداشت و بعد از توزین عملکرد علوفه‌تر محاسبه شد. از علوفه برداشتی هر تیمار نمونه‌ای یک کیلوگرمی به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس نمونه‌های هر کرت، در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت (تا ثابت شدن وزن نمونه) خشک گردید تا از آن برای تعیین عملکرد علوفه خشک و هم‌چنین تجزیه کیفی علوفه استفاده شود. جهت تعیین عملکرد کیفی ابتدا میزان ازت علوفه به روش کجلدال اندازه‌گیری شد و سپس میزان پروتئین علوفه و عملکرد پروتئین علوفه با استفاده از روابط زیر بدست آمد (Mohajer *et al.*, 2012):

۶/۲۵ × درصد نیتروژن علوفه = درصد پروتئین علوفه

درصد پروتئین × عملکرد علوفه خشک = عملکرد پروتئین علوفه

پس از جمع‌آوری داده‌ها مزرعه‌ای و انجام برخی محاسبات لازم، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شده و اشکال مورد نیاز توسط نرم‌افزار اکسل ترسیم شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت، رقم و اثرمتقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته از زمان برداشت ۷۰ روز پس از سبز شدن و لاین KFM5 (۱۰۶/۶ سانتی‌متر) و کمترین آن از زمان برداشت ۴۰ روز پس از سبز شدن و لاین‌های KFM93-17 و KFM5 (به ترتیب ۳۵/۷ و ۳۹/۹ سانتی‌متر) حاصل شد (شکل ۱).

با توجه به اینکه تأخیر در برداشت امکان بهره‌برداری بیشتر از منابع محیطی از جمله مواد غذایی، آب و نور به گیاه می‌دهد گیاه فرصت بیشتری جهت رشد رویشی داشته و لذا انتظار می‌رود ارتفاع بوته در تیمار ۷۰ روز پس از سبز شدن بیشتر باشد. هم‌چنین بیشترین ارتفاع بوته در لاین KFM5 مشاهده شد که به دلیل خصوصیات ژنتیکی این لاین می‌باشد. نتایج پژوهش‌های انجام شده مشخص نمود که با تأخیر در زمان برداشت ارتفاع بوته افزایش می‌یابد (Ayub *et al.*, 2009; Tariq *et al.*, 2011; Atis *et al.*, 2012; Jafari *et al.*, 2013; Ghanbari *et al.*, 2010; Abdoli, 2020). نتایج گزارش محققان متعدد نیز حاکی از تأثیر ارقام و لاین‌های ارزن بر ارتفاع بوته می‌باشد (Azari Nasrabad, and *et al.*, 2021; Mirzaee, 2012; Rezazadeh *et al.*, 2019; Fatemi).

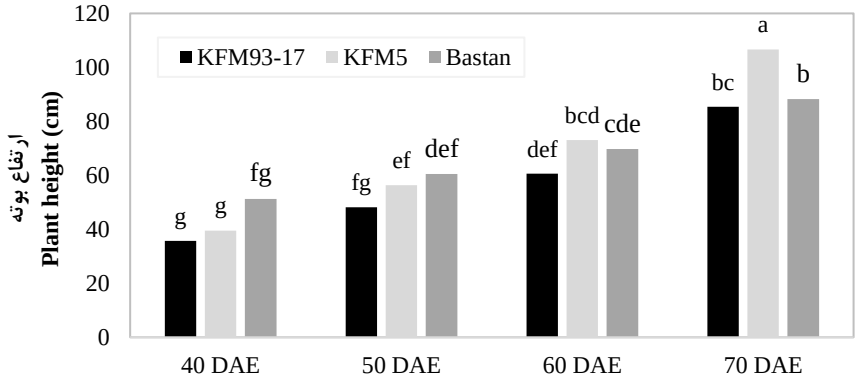
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر زمان برداشت بر برخی صفات مورفولوژیکی ارقام ارزن دم‌روباهی

Table 2- Analysis of variance (mean squares) the effect of harvest time on some morphological traits of millet cultivars

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant
بلوک Replication	2	67.5 *	2.19 ns	0.28 ns	1.6*
زمان برداشت Harvest time (a)	3	4306.3 **	0.01 ns	0.08 ns	9.3 **
اشتباه (a) Error a	6	11.3	0.49	0.07	0.26
رقم Variety (b)	2	460.3 **	18.23*	5.86 *	82.06 **
زمان برداشت × رقم a × b	6	124.6 **	0.0006 ns	0.17 ns	6.78 **
اشتباه (b) Error b	16	25.1	0.71	0.25	0.3
ضریب تغییرات C.V (%)		7.8	8.7	13.6	33.1

*، ** و ns به ترتیب مفهوم معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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



زمان برداشت (روز پس از سبز شدن)
Harvest time (days after emergence)

شکل ۱- مقایسه میانگین اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر ارتفاع بوته ارزن دم‌روباهی

Figure 1- Comparison of the mean interaction between harvest time and cultivar on plant height of millet

تعداد برگ در بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشـــان داد که اثر رقم بر تعداد برگ در بوته در ســطح احتمال پنج درصــد معنی‌دار بود اما اثر زمان برداشــت و اثرمتقابل زمان برداشــت و رقم بر این صــفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که بیشـــترین تعداد برگ در بوته از رقم باســـتان (۱۱ برگ در بوته) حاصــل شــد و پس از آن لاین‌های KFM5 (۹/۵ برگ در بوته) و KFM93-17 (۸/۵ برگ در بوته) قرار داشـــتند (جدول ۳). در تحقیقی کـه بـه‌منظور ارزیـابی عملکرد علوفـه پنج لاین امیـدبخش ارزن دم‌روبـاهی شـــامـل KFM14، KFM7، KFM15،FM5 و KFM20 در بیرجند انجام شـــد مشـــخص گردید اثر لاین‌های امیدبخش بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار بود (Azari Nasrabad and Mirzaee, 2012).

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک، عملکرد خشک ساقه و نسبت برگ به ساقه در ارقام و لاین‌های ارزن دم‌روباهی

Table 3- Comparison of the mean of some morphological traits, dry stem yield and leaf to stem ratio in foxtail millet cultivars and lines

رقم Variety	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	قطر ساقه Stem diameter (mm)	عملکرد خشک ساقه Stem dry yield (kg ha^{-1})	نسبت برگ به ساقه Leave/Stem
KFM93-17	8.5 b	8.5 c	1640.8 b	0.46 a
KFM5	9.5 ab	9.5 b	1843.1 ab	0.43 a
Bastan	11.0 a	11.0 a	2085.5 a	0.35 b

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤۰/۰۵).

In each column, with at least one similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

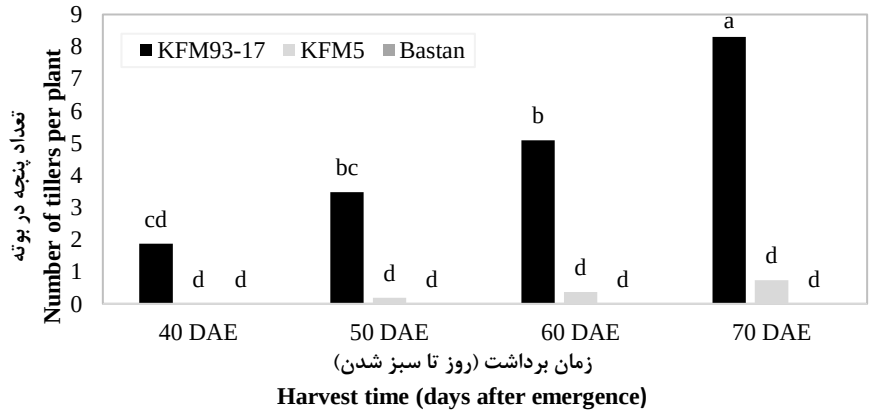
قطر ساقه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشـــان داد که اثر رقم بر قطر ســاقه در ســطح احتمال پنج درصــد معنی‌دار بود اما اثر زمان برداشت و اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایســـه میانگین حاکی از آن بود که بیشترین قطر ساقه از رقم باستان (۱۱ میلی‌متر) حاصل شد و پس از آن لاین‌هـای KFM5 (۹/۵ میلی‌متر) و KFM93-17 (۸/۵ میلی‌متر) قرار داشتند (جدول ۳). در تحقیقی که به‌منظور ارزیابی عملکرد علوفه پنج لاین امیدبخش ارزن دم‌روباهی شامل KFM14، KFM7، KFM15،FM5 و KFM20 در بیرجنـد انجام شـد مشـخص گردید اثر لاین‌های امیدبخش بر قطر ساقه معنی‌دار بود (Azari Nasrabad and Mirzaee, 2012). نتایج تحقیقی که به‌منظور بررســـی اثر ۱۳ ژنوتیپ ارزن انجام شـــد مشـــخص نمود کـه اثر ژنوتیـپ بر قطر ســـاقـه معنی‌دار بود

(Nakhaei *et al.*, 2013). نتایج تحقیقی که به‌منظور بررسی رقم باستان و لاین‌های KFM5 و KFM20 ارزن دم‌روباهی انجام شد نشان داد که اثر رقم بر قطر ساقه معنی‌دار بود. در این پژوهش بیشترین قطر ساقه از رقم باستان حاصل شد (Khazaei *et al.*, 2016).

تعداد پنجه در بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت، رقم و اثرمتقابل آن‌ها بر تعداد پنجه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تأخیر در برداشت موجب افزایش تعداد پنجه در بوته در لاین امیدبخش KFM93-17 شد. به‌طوری‌که تأخیر در برداشت از ۴۰ به ۷۰ روز پس از سبز شدن موجب افزایش ۴/۴۶ برابری تعداد پنجه در لاین KFM93-17 شد (شکل ۲). تأخیر در برداشت موجب افزایش تعداد پنجه در لاین KFM5 شد اما این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود. هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد که رقم باستان فاقد تعداد پنجه در بوته بود (شکل ۲). در تحقیقی که به‌منظور ارزیابی عملکرد علوفه پنج لاین امیدبخش ارزن دم‌روباهی شامل KFM14، KFM7، KFM5،KFM15 و KFM20 در بیرجند انجام شد مشخص گردید اثر لاین‌های امیدبخش بر تعداد پنجه در بوته معنی‌دار بود (Azari Nasrabad and Mirzaee, 2012). در تحقیقی که به‌منظور بررسی اثر پنج رقم ارزن دانه‌ای (باستان، چماقی، پیشاهنگ، گاورس سفید و گاورس زرد) انجام شد تعداد پنجه در بوته تحت تأثیر ارقام قرار گرفت (Ghafari *et al.*, 2019). در تحقیقی بیان شد که در غلات پنجه‌زنی علاوه بر عوامل محیطی توسط عوامل ژنتیکی و نوع رقم کنترل می‌شود. به نظر می‌رسد که تأخیر در زمان برداشت از طریق افزایش طول دوره رشد و فراهم کردن شرایط محیطی مساعدتر از جمله نور و حرارت موجب افزایش تعداد پنجه در بوته می‌شود (Normohamadi *et al.*, 2007).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر تعداد پنجه در بوته ارزن دم‌روباهی

Figure 2- Comparison of the mean interaction between harvest time and cultivar on number of tillers per plant of millet

عملکرد تر ساقه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر عملکرد تر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما اثر رقم و اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأخیر در برداشت موجب افزایش عملکرد تر ساقه شد. به‌طوری‌که تأخیر از ۴۰ به ۷۰ روز پس از سبز شدن موجب افزایش ۴/۸ برابری عملکرد تر ساقه شد (جدول ۵). نتایج تحقیقات انجام گرفته روی گیاه سورگوم علوفه‌ای (Rezvani Moghaddam and Nasiri Mahallati, 2004; Atis *et al.*, 2012; Jafari *et al.*, 2013; Khalilian *et al.*, 2021) و ذرت علوفه‌ای (Ghanbari *et al.*, 2010) بیانگر آن است که با تأخیر در برداشت عملکرد تر ساقه افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که تأخیر در زمان برداشت علوفه به گیاه فرصت می‌دهد تا رشد رویشی بیشتری داشته باشد و عملکرد ساقه افزایش یابد (Fathi *et al.*, 1998).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر زمان برداشت بر اجزای عملکرد، عملکرد و برخی صفات کیفی ارقام ارزن دم‌روباهی

Table 4- Analysis of variance (mean squares) Effect of harvest time on yield components, yield and some quality traits of millet cultivars

منابع تغییر Sources of variable	درجه آزادی df	عملکرد تر ساقه Stem fresh yield	عملکرد تر برگ Leave fresh yield	عملکرد علوفه سبز Fresh yield	عملکرد خشک ساقه Stem dry yield	عملکرد خشک برگ Leaves dry yield	عملکرد علوفه خشک Dry yield	نسبت برگ به ساقه Leave/ Stem	درصد پروتئین خام Percent of crude protein	عملکرد پروتئین Protein yield
بلوک Replication	2	737432.5 ns	1612974.6 ns	4430833.3 ns	64037.6 ns	104964.7 ns	321470.2 ns	0.001 ns	0.24 ns	5682.1 ns
زمان برداشت Harvest time (a)	3	112264546.**	2877775.6 ns	127032963**	16667207.7 **	*527962.5	22557660.9**	0.247 **	**51.53	216612**
اشتباه (a) Error a	6	1878169.8	778780.5	4659351.8	140765.7	52802.7	338216.9	0.0008	0.78	5980.2
رقم Variety (b)	2	1339506.1 ns	3652337.4 ns	660833.3 ns	594868.8 *	70909.9 ns	255230.9 ns	*0.04	*7.78	3751.5 ns
زمان برداشت × رقم a × b	6	1821035.4 ns	3328370.7 ns	6659351.8 ns	84570.3 ns	185732.6 ns	286904.9 ns	0.009 ns	**12.14	1838.2 ns
اشتباه (b) Error b	16	1164623	1248807	3265972.2	97607.3	84931.1	252822.9	0.008	2.10	3475.6
ضریب تغییرات C.V (%)		16.54	28.9	17.4	16.82	29.1	17.58	21.9	11.31	17.17

*، **و ns به ترتیب مفهوم معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

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

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر زمان برداشت بر اجزای عملکرد، عملکرد و برخی صفات کیفی ارقام و لاین‌های ارزن دم‌روباهی

Table 5- Comparison of the mean effect of harvest time on yield components, yield and some quality traits in foxtail millet cultivars and lines

زمان برداشت (روز پس از سبز شدن) Harvest times (Days after emergence)	عملکرد تر ساقه Stem fresh yield (kg ha^{-1})	عملکرد علوفه سبز Fresh yield (kg ha^{-1})	عملکرد خشک ساقه Stem dry yield (kg ha^{-1})	عملکرد خشک برگ Leaves dry yield (kg ha^{-1})	عملکرد خشک علوفه Dry yield (kg ha^{-1})	نسبت برگ به ساقه Leave/Stem	عملکرد پروتئین Protein yield (kg ha^{-1})
40	2088.4 c	5388.8 b	510.8 c	795.7 b	1306.5 b	0.63 a	146.9 b
50	5490.1 bc	9633.3 ab	1062.2 c	788.89 b	1851.1 b	0.42 b	292.6 ab
60	8334.1 ab	12844.4 a	2284.6 b	1213.3 a	3498.0 a	0.33 c	450.1 a
70	10184.9 a	13666. a	3568.4 a	1210.2 a	4778.6 a	0.25 d	483.5 a

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤۰/۰۵).

In each column, with at least one similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

عملکرد تر برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت، رقم و اثرمتقابل آن‌ها بر عملکرد تر برگ معنی‌دار نبود (جدول ۴). به نظر می‌رسد در تاریخ برداشت‌های زودتر (۴۰ و ۵۰ روز پس از سبز شدن) دمای هوا پایین‌تر و میزان رطوبت نسبی برگ بیشتر بوده، اما در تاریخ برداشت‌های دیرتر (۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن) هوا گرم‌تر و گیاهان با تنش خشکی مواجه بوده‌اند و لذا رطوبت نسبی برگ کم شده است؛ بنابراین برآیند عوامل فوق موجب شده تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد تر برگ نداشته باشد.

عملکرد علوفه سبز

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر عملکرد علوفه سبز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما اثر رقم و اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأخیر در برداشت موجب افزایش عملکرد علوفه سبز شد. به‌طوری‌که تأخیر از ۴۰ به ۶۰ و ۷۰ روز موجب افزایش به ترتیب ۲/۳ و ۲/۵ برابری عملکرد علوفه سبز شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین زمان برداشت ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن از لحاظ عملکرد علوفه سبز وجود نداشت (جدول ۵). در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۵، ۶۰ و ۷۵ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین عملکرد علوفه سبز از زمان‌های برداشت ۶۰ و ۷۵ روز پس از کاشت حاصل شد (Tariq *et al.*, 2011). در تحقیقی دیگر که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۰، ۵۰ و ۶۰ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین عملکرد علوفه‌تر از زمان برداشت ۶۰ روز پس از کاشت حاصل شد (Ayub *et al.*, 2009). در تحقیقی سه زمان برداشت ذرت شامل ۴۵، ۵۵ و ۶۵ روز پس از کاشت بررسی شد و نتایج نشان داد هنگامی که ذرت در ۵۵ روز نسبت به ۴۵ روز برداشت شد عملکرد علوفه تازه افزایش یافت اما تفاوت آماری معنی‌داری بین ۵۵ روز و ۶۵ روز پس از کاشت وجود نداشت (Salama, 2019). نتایج تحقیقات انجام گرفته روی گیاه سورگوم علوفه‌ای (Rezvani Moghaddam and Nasiri Mahallati, 2000; Khalilian *et al.*, 2021) و ذرت علوفه‌ای (Abdoli, 2019) بیانگر آن است که با تأخیر در برداشت عملکرد تر ساقه افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقی در خصوص سورگوم بیانگر آن بود که جهت تولید علوفه‌تر بهتر است در اواخر مرحله رشد رویشی (و با آغاز گل‌دهی) برداشت انجام شود (Golzardi *et al.*, 2019). نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که تأخیر در زمان برداشت علوفه به گیاه فرصت می‌دهد تا رشد رویشی بیشتری داشته باشد و عملکرد زیست‌توده افزایش یابد (Fathi *et al.*, 1998). احتمالاً دلیل افزایش عملکرد علوفه سبز با تأخیر در زمان برداشت، افزایش طول دوره رشد گیاه و در نتیجه افزایش تولید مواد فتوسنتزی جهت رشد رویشی گیاه می‌باشد.

عملکرد خشک ساقه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر عملکرد خشک ساقه در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر عملکرد خشک ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأخیر در برداشت موجب افزایش عملکرد خشک ساقه شد. به‌طوری‌که تأخیر از ۴۰ به ۷۰ روز پس از سبز شدن موجب افزایش ۶/۹ برابری عملکرد خشک ساقه شد (جدول ۵). رضوانی‌مقدم و نصیری محلاتی (Rezvani Moghaddam and Nasiri Mahallati, 2004) نیز اثر پنج زمان برداشت (مرحله شروع گل‌دهی و یک، دو، سه و چهار هفته پس از شروع گل‌دهی) را بر عملکرد سه رقم سورگوم علوفه‌ای بررسی و بیان کردند که با تأخیر در برداشت درصد ساقه و عملکرد علوفه افزایش یافت. نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که تأخیر در زمان برداشت علوفه به گیاه فرصت می‌دهد تا رشد رویشی بیشتری داشته باشد و عملکرد زیست‌توده افزایش یابد (Fathi *et al.*, 1998). پژوهش‌های انجام شده مشخص نمود که با تأخیر در زمان برداشت، درصد ساقه نسبت به برگ افزایش می‌یابد، در نتیجه علوفه بیشتری تولید می‌گردد (Gardner and Wiggans, 1959).

بیشترین عملکرد خشک ساقه با میانگین ۲۰۸۵/۵ کیلوگرم در هکتار از رقم باستان حاصل شد و لاین‌های KFM5 و KFM93-17 با میانگین به ترتیب ۱۸۴۳/۱ و ۱۶۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار پس از آن در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج تحقیقی بر روی ۷ ژنوتیپ سورگوم دومنظوره نشان داد که اثر ژنوتیپ بر عملکرد خشک ساقه معنی‌دار بود (Khalilian *et al.*, 2021).

عملکرد خشک برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر عملکرد خشک برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما اثر رقم و اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأخیر در برداشت موجب افزایش عملکرد خشک برگ شد. به‌طوری‌که تأخیر از ۴۰ به ۶۰ و ۷۰ روز موجب افزایش به ترتیب ۵۲/۴ و ۵۲ درصدی عملکرد خشک برگ شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین زمان برداشت ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن از لحاظ عملکرد خشک برگ وجود

نداشت (جدول ۵). نتایج پژوهش‌های انجام شده حاکی از آن است که تأخیر در زمان برداشت علوفه به گیاه فرصت می‌دهد تا رشد رویشی بیشتری داشته باشد و عملکرد زیست‌توده افزایش یابد (Fathi *et al.*, 1998). تأخیر در برداشت موجب افزایش طول دوره رشد شده و از طریق افزایش سطح برگ موجب افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی لازم برای رشد و توسعه برگ و درنهایت افزایش عملکرد خشک برگ می‌شود.

عملکرد خشک علوفه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر عملکرد خشک علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما اثر رقم و اثرمتقابل آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأخیر در برداشت موجب افزایش عملکرد علوفه خشک شد. به‌طوری‌که تأخیر از ۴۰ به ۶۰ و ۷۰ روز موجب افزایش به ترتیب ۲/۶ و ۳/۶ برابری عملکرد علوفه سبز شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین زمان برداشت ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن از لحاظ عملکرد علوفه خشک وجود نداشت (جدول ۵). در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۵، ۶۰ و ۷۵ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین عملکرد خشک علوفه از زمان برداشت ۷۵ روز پس از کاشت حاصل شد (Tariq *et al.*, 2011). در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۰، ۵۰ و ۶۰ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین عملکرد علوفه خشک و درصد ماده خشک از زمان برداشت ۶۰ روز پس از کاشت حاصل شد (Ayub *et al.*, 2009). نتایج تحقیقی که بر روی ارقام ارزن و به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (مرحله ظهور خوشه، مرحله شیری شدن و مرحله بلوغ بذر) انجام شد بیشترین علوفه خشک از زمان برداشت در مرحله شیری شدن دانه حاصل شد (Mohajer *et al.*, 2012). در تحقیقی تأثیر زمان‌های مختلف برداشت بر عملکرد علوفه سورگوم بررسی شد که بیشترین عملکرد ماده خشک (۲۶ تن در هکتار) با برداشت علوفه در ۷۵ روز پس از کاشت و کمترین عملکرد (۸ تن در هکتار) با برداشت در ۴۵ روز پس از کاشت سورگوم حاصل شد (Muhammad *et al.*, 2002). نتایج مطالعه محققان مختلف بر سورگوم علوفه‌ای، باجرا، ارزن و ذرت حاکی از آن بود که تأخیر در برداشت موجب افزایش ماده خشک در این گیاهان شد (Malai *et al.*, 1980; Gran and Stock, 1994; Prostko *et al.*, 1998; Ayub *et al.*, 2003a; Ayub *et al.*, 2003b; Beck *et al.*, 2007; Bukhari, 2009; Atis *et al.*, 2012; Golzardi *et al.*, 2019). پژوهش‌های انجام شده مشخص نمود که با تأخیر در زمان برداشت، زیست‌توده، درصد ماده خشک، ارتفاع بوته و درصد ساقه نسبت به برگ افزایش می‌یابد، در نتیجه علوفه بیشتری تولید می‌گردد (Gardner and Wiggans, 1959). نتایج تحقیقی نشان داد که با بلوغ گیاه، عملکرد علوفه، محتوای ماده خشک، محتوای نشاسته و محتوای انرژی معمولاً افزایش می‌یابد (Seleiman *et al.*, 2017). احتمالاً تأخیر در زمان برداشت موجب بهره‌برداری مناسب‌تر گیاه از شرایط محیطی شده از طریق افزایش ارتفاع بوته و تعداد پنجه (شکل‌های ۱ و ۲) زمینه افزایش سطح سبز گیاه و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر را فراهم نموده و درنهایت موجب افزایش وزن خشک ساقه و برگ (جدول ۵) و درنهایت افزایش عملکرد خشک علوفه شده است.

نسبت برگ به ساقه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر نسبت برگ به ساقه در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴).

تأخیر در برداشت موجب کاهش نسبت برگ به ساقه شد. به‌طوری‌که برداشت در ۷۰، ۶۰ و ۵۰ روز پس از سبز شدن نسبت به ۴۰ روز پس از سبز شدن موجب کاهش به ترتیب ۶۰/۳، ۴۷/۶ و ۳۳/۳ درصدی نسبت برگ به ساقه شد (جدول ۵). تحقیقات نشان داده است رابطه مستقیمی بین درصد وزنی برگ و کیفیت علوفه وجود دارد. به‌طوری‌که هر چه درصد وزنی برگ کمتر باشد، کیفیت علوفه نیز کمتر خواهد بود و بالعکس (Rezvani-Moghaddam and Nasiri-Mahallati, 2000). بنابراین انتظار می‌رود که با تأخیر در برداشت، نسبت برگ به ساقه کمتر شده و کیفیت علوفه نیز کاهش یابد. در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۵، ۶۰ و ۷۵ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین نسبت برگ به ساقه از زمان برداشت ۴۵ روز پس از کاشت حاصل شد (Tariq *et al.*, 2011). در تحقیقی اثر پنج زمان برداشت (مرحله شروع

گل‌دهی و یک، دو، سه و چهار هفته پس از شروع گل‌دهی) را بر عملکرد سه رقم سورگوم علوفه‌ای بررسی و بیان شد که با تأخیر در برداشت درصد برگ کاهش و درصد گل و ساقه و عملکرد علوفه افزایش یافت (Rezvani Moghaddam and Nasiri Mahallati, 2004). در تحقیقی که به‌منظور بررسی اثر زمان‌های برداشت (شروع گل‌دهی، دو هفته بعد از گل‌دهی و چهار هفته بعد از گل‌دهی) در سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید انجام شد بیشترین نسبت برگ به ساقه از زمان برداشت در شروع گل‌دهی حاصل شد (Jafari *et al.*, 2013). در تحقیقی گزارش شد که تعداد برگ در هر گیاه و نسبت برگ به ساقه با تأخیر در برداشت از بلوغ فیزیولوژیک تا مرحله رسیدگی کامل ذرت کاهش می‌یابد (Bolsen *et al.*, 1996). پژوهش‌های انجام شده مشخص نمود که با تأخیر در زمان برداشت درصد ساقه نسبت به برگ افزایش می‌یابد، در نتیجه علوفه بیشتری تولید می‌گردد (Gardner and Wiggans, 1959).

زمان برداشت بر نسبت اجزای عملکرد مؤثر است. هرقدر فواصل برداشت کوتاه‌تر باشد، نسبت برگ به ساقه بیشتر و درمجموع کیفیت علوفه بهتر خواهد شد (Tolera and Sundstol, 1999). با تأخیر در زمان برداشت درصد اجزای گیاهی تغییر می‌کند، به‌طوری‌که درصد وزن ساقه از کل عملکرد ماده خشک ۲۰ درصد افزایش و درصد برگ ۴۴ درصد کاهش می‌یابد (Tolera and Sundstol, 1999). در آزمایش دیگری گزارش گردید که با افزایش سن گیاه، سهم برگ در عملکرد از ۴۷ درصد به ۲۶ درصد کاهش پیدا می‌کند (Twidwell *et al.*, 1988). زمان برداشت در هر گیاه علوفه‌ای عامل مؤثر در کیفیت علوفه تولیدی محسوب می‌شود و چنان‌که در شروع گل‌دهی برداشت صورت گیرد، کیفیت علوفه تولیدی افزایش خواهد یافت (Twidwell *et al.*, 1988).

بیشترین نسبت برگ به ساقه به طور مشترک از لاین‌های KFM93-17 و KFM5 (به ترتیب با میانگین ۰/۴۶ و ۰/۴۳) حاصل شد و کمترین آن متعلق به رقم باستان (۰/۳۵) بود (جدول ۳). با توجه به اینکه بیشترین عملکرد خشک ساقه متعلق به رقم باستان بود و پس از آن لاین‌های KFM5 و KFM93-17 قرار داشتند (جدول ۴) لذا نسبت برگ به ساقه در رقم باستان کمتر از سایر لاین‌ها بود.

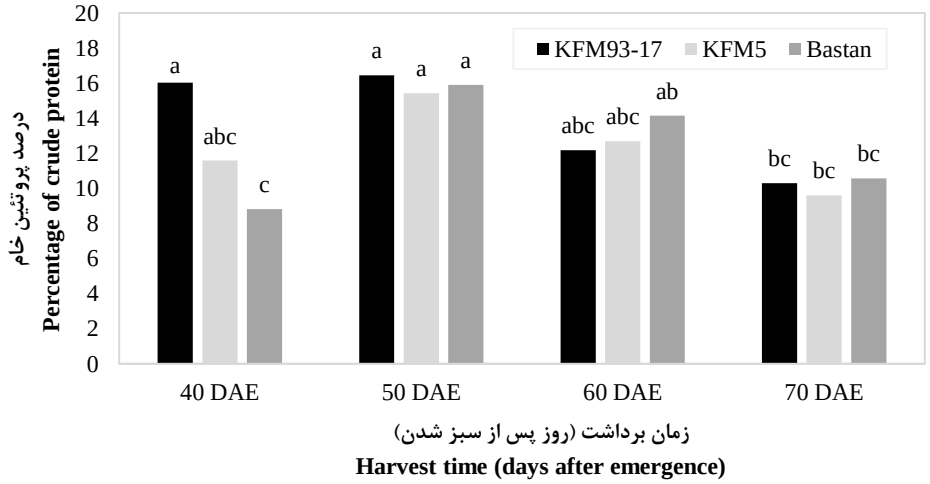
درصد پروتئین خام

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت و اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر درصد پروتئین در سطح احتمال یک درصد و اثر رقم بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که واکنش ارقام و لاین‌ها به درصد پروتئین خام نسبت به زمان‌های برداشت متفاوت بود. به‌طوری‌که در لاین KFM93-17 بیشترین درصد پروتئین به طور مشترک از زمان‌های برداشت ۴۰ و ۵۰ روز پس از سبز شدن (به ترتیب ۱۶ و ۱۶/۴ درصد) حاصل شد و با تأخیر در زمان برداشت درصد پروتئین در این لاین کاهش یافت. در لاین KFM5 بیشترین درصد پروتئین از زمان برداشت ۵۰ روز پس از سبز شدن (۱۵/۴ درصد) حاصل شد و تفاوت آماری معنی‌داری بین زمان برداشت ۴۰ و ۶۰ روز پس از سبز شدن وجود نداشت اما با تأخیر در برداشت به ۷۰ روز درصد پروتئین کاهش یافت. در رقم باستان کمترین درصد پروتئین خام از زمان برداشت ۴۰ روز پس از سبز شدن (۸/۸ درصد) حاصل شد و بیشترین درصد پروتئین خام مربوط به زمان برداشت ۵۰ روز پس از سبز شدن (۱۵/۸ درصد) بود (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که لاین‌های KFM93-17، KFM5 و رقم باستان در زمان برداشت ۵۰ روز پس از سبز شدن با میانگین‌های ۱۶/۴، ۱۵/۴ و ۱۵/۸ درصد و به طور مشترک بیشترین میزان پروتئین خام علوفه را داشتند و با تأخیر در زمان برداشت درصد پروتئین خام علوفه در این ارقام کاهش یافت (شکل ۳).

تأثیر زمان برداشت بر عملکرد و ارزش غذایی محصولات علوفه‌ای توسط بسیاری از محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (Glamoclija *et al.*, 2011; Teixeira *et al.*, 2017; Ronga *et al.*, 2020). در تحقیقی که به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (۴۰، ۵۰ و ۶۰ روز پس از کاشت) در گیاه ارزن انجام شد بیشترین درصد پروتئین علوفه مربوط به زمان برداشت ۴۰ روز پس از کاشت بود (Ayub *et al.*, 2009). نتایج تحقیقی که بر روی ارقام ارزن و به‌منظور بررسی سه زمان برداشت (مرحله ظهور خوشه، مرحله شیری شدن و مرحله بلوغ بذر) انجام شد بیشترین درصد پروتئین از زمان برداشت در

مرحله شیری شدن دانه حاصل شد (Mohajer *et al.*, 2012). نتایج بررسی سه زمان برداشت ذرت شامل ۴۵، ۵۵ و ۶۵ روز پس از کاشت حاکی از آن بود که برداشت علوفه سبز در ۶۵ روز پس از کاشت موجب کاهش معنی‌دار پروتئین خام شد (Salama, 2019). نتایج مطالعه برخی محققان در سورگوم (Snyman and Joubert, 1996; Ayub *et al.*, 2003a; Atis *et al.*, 2012; Jafari *et al.*, 2013)، جو (Fathi *et al.*, 1998)، باجرا (Malai *et al.*, 1980)، ارزن (Bukhari, 2009) و ذرت (Ayub *et al.*, 2003b) حاکی از آن بود که تأخیر در برداشت موجب کاهش درصد پروتئین خام علوفه در این گیاهان شد. طبق گزارش‌های موجود، هرقدر برداشت در سورگوم علوفه‌ای دیرتر انجام گیرد، درصد پروتئین خام محتوی علوفه کاهش می‌یابد (Shedrick, 1971). نتایج تحقیقی نشان داد که با بلوغ گیاه، عملکرد علوفه، محتوای ماده خشک، محتوای نشاسته و محتوای انرژی معمولاً افزایش می‌یابد (Seleiman *et al.*, 2017). هم‌چنین گزارش شده است که با بلوغ گیاه پروتئین خام و فیبر کاهش می‌یابد (Darby and Lauer, 2002; Lewis *et al.*, 2004; Keady, 2005). نتایج تحقیقی نشان داد که تأخیر در زمان برداشت موجب کاهش درصد پروتئین علوفه جو شد. با تأخیر در برداشت علوفه و افزایش سن گیاه به دلیل افزایش نسبت ساقه به برگ، درصد پروتئین کاهش می‌یابد (Gardner and Wiggans, 1959).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر درصد پروتئین خام ارزن دم‌روباهی

Figure 3- Comparison of the mean interaction between harvest time and cultivar on Percentage of crude protein of millet

عملکرد پروتئین علوفه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر زمان برداشت بر عملکرد پروتئین علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما اثر رقم و اثرمتقابل زمان برداشت و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). تأخیر در برداشت موجب افزایش عملکرد پروتئین علوفه شد. به‌طوری‌که تأخیر از ۴۰ به ۶۰ و ۷۰ روز موجب افزایش به ترتیب ۳ و ۳/۲ برابری عملکرد پروتئین علوفه شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین زمان برداشت ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن از لحاظ عملکرد پروتئین علوفه وجود نداشت (جدول ۵). نتایج تحقیقی که به‌منظور بررسی اثر زمان برش علوفه (عدم برش علوفه، برش در ابتدای ساقه رفتن و برش در اواسط ساقه رفتن) در گیاه جو کارون انجام شد بیشترین عملکرد پروتئین علوفه از زمان برش در اواسط ساقه رفتن به دست آمد (Fathi *et al.*, 1998). نتایج تحقیقی نشان داد که تأخیر در زمان برداشت موجب کاهش درصد پروتئین علوفه و افزایش عملکرد پروتئین علوفه جو شد. با تأخیر در برداشت علوفه و افزایش سن گیاه به دلیل افزایش نسبت ساقه به برگ، درصد پروتئین کاهش می‌یابد، ولی عملکرد پروتئین در واحد سطح به دلیل رشد رویشی بیشتر افزایش می‌یابد (Gardner and Wiggans, 1959). با توجه به اینکه عملکرد پروتئین از حاصل‌ضرب عملکرد علوفه و درصد پروتئین به دست می‌آید، بالا بودن عملکرد پروتئین با تأخیر در کاشت را با وجود کاهش

درصد پروتئین (شکل ۳) می‌توان به تولید عملکرد علوفه خشک بیشتر (جدول ۵) نسبت داد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشـــان داد که تأخیر در برداشـــت باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد علوفه و عملکرد پروتئین علوفه در ارزن دم‌روباهی شـد. برداشـت در ۶۰ و ۷۰ روز پس از سـبز شـــدن تـأثیر معنی‌داری بر عملکرد علوفـه و عملکرد پروتئین علوفه نداشـت. با تأخیر در برداشـت صـفات کیفی مانند نسـبت برگ به ســـاقه و درصـــد پروتئین خام کاهش یافت. هم‌چنین بیشـترین عملکرد علوفه از رقم باسـتان به دست آمد و بیشـترین نسبت برگ به ساقه، درصد پروتئین خام و کیفیت علوفه از لاین امیدبخش KFM93-17 حاصـــل شـــد. با توجه به اینکه تفاوت آمـاری معنی‌داری در عملکرد علوفـه و عملکرد پروتئین بین برداشت در ۶۰ و ۷۰ روز پس از سبز شدن وجود نداشت. لذا به دلیل اینکه کشـــت ارزن دم‌روباهی در منطقه بیرجند با هدف دست‌یابی به پتانسیل تولید علوفه با کمیت و کیفیت مناسب در کوتاه‌ترین زمان و به‌عنوان علوفه اضطراری و با مصرف آب کمتر انجام گرفته بود؛ بنابراین جهت دسـت‌یابی به اهداف مطرح شـده فوق می‌توان برداشـت لاین‌های امیدبخش KFM5 و KFM93-17 و رقم باســـتان را در ۶۰ روز پس از ســـبز شـــدن در منطقه بیرجند انجام داد. هم‌چنین مقایســـه لاین‌های امیدبخش و رقم باسـتان حاکی از این اسـت که رقم باسـتان پتانسـیل تولید علوفه بالاتری نســـبت به لاین‌های امیدبخش دارد؛ بنابراین بر اســـاس نتایج حاصل از این پژوهش، جهت تولید علوفه اضطراری از ارزن دم‌روباهی در منطقه بیرجند می‌توان از رقم باســـتان و برداشـــت در ۶۰ روز پس از سبز شدن استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مســـتخرج از پروژه تحقیقاتی شـــماره ۹۹۰۶۲۲-۲۴-۴۴-۰۳-۰۴۷ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می باشد و بدین وسیله از حمایت های آن موسسه تقدیر و تشکر می گردد.

References

Abdoli, M. 2020. Improving agronomic and morphological characteristics of forage maize by changing planting date and determining the most suitable harvest time in Varamin region. *Journal of Plant Production Sciences, 10*(1), PP.1-13 [In Persian].

Abdoli, M. 2019. The effect of planting date and harvest time on quantitative traits and yield of silage corn in Varamin environmental conditions. *Journal of Agricultural Research, 11*(4), PP.410-385 [In Persian].

Assefa, G. and Ledin, I. 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Animal Feed Sciences and Technology*, *92*(1-2), PP.95–111. **doi:10.1016/s0377-8401(01)00242-5**

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. *Internatinal Journal of Agriculture and Biology*, *14*(6), PP.879-86.

Ayub, M., Ahmad, R., Nadeem, M.A., Ahmed, B. and Khan, R.M.A. 2003a. Effect of different levels of nitrogen and seed rate on growth, yield and quality of maize fodder. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 40*(3-4), PP.140-145.

Ayub, M., Tanveer, A. and Nadeem, M.A. 2003b. Influence of different nitrogen levels and harvesting times on dry matter and quality of fodder maize. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences, 1*, PP.59-61.

Ayub, M., Athar Nadeem, M., Tahir, M., Ibrahim, M. and Aslam, M.N. 2009. Effect of nitrogen application and harvesting intervals on forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Pakistan Journal*

of Life and Social Sciences, 7(2), PP.185-189.

Azari Nasrabad, A. and Mirzaee, M.R. 2012. Effect of sowing date on grain yield and yield components of foxtail millet (*Setaria italica*) Promising Lines. *Seed and Plant Production Journal, 28*(1), PP.95-105 [In Persian]. **doi:10.22092/sppj.2017.110458**

Beck, P.A, Hutchision, S., Gunter, S.A., Losi, T.C., Betwart, C.B., Cappus, P.K. and Phillips, J.M. 2007. Chemical composition and in situ dry matter, fibre disappearance of sorghum x Sudangrass hybrids. *Journal of Animal Science, 85*(2), PP.545-555. **doi: 10.2527/jas.2006-292**

Bolsen, K.K., Ashbell, G. and Weinberg, Z.G. 1996. Silage fermentation and silage additives. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 9*(1), PP.483–493. **doi:10.5713/ajas.1996.483**

Bukhari, M. A. 2009. Effect of different harvesting intervals on growth, forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) cultivars. M.sc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Faisalabad, Pakistan.

Darby, H.M. and Lauer J.G. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agronomy Journal, 94*(3), PP.559-66. **doi:10.2134/agronj2002.0559**

Fatemi, S., Maghsoodi Mood, A. and Mohammadi Nejad, G. 2021. Agro-Physiological responses of different peal millet (*Pennisetum glaucum* L.) cultivars to water deficit in kerman climatic conditions. *Journal of Crop Ecophysiology, 56*(4), PP.465-478 [In Persian]. **doi:10.30495/jcep.2021.679975**

Fathi, Gh., Majdom, M., Siyadat, A. and Nour Mohamadi, Gh. 1998. The effect of nitrogen content and forage cutting time on forage yield of Karun barley. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, 5*(4), PP.106-97 [In Persian]. **doi:20.1001.1.24763594.1380.5.4.8.4**

Gardner, F.P. and Wiggans, S.C. 1959. Effect of clipping and nitrogen fertilizer on forage and grain yields of spring oats. *Agronomy Journal, 51*(1), PP.566-568.

Ghafari, M., Moosavi, S., Seghatoleslami, M. and Javadi, H. 2019. Response of yields and agronomic traits of five grain millet varieties to planting date. *Journal of Crop Ecophysiology, 49*(1), PP.121-138 [In Persian]. **doi:10.30495/jcep.2019.664843**

Ghanbari, A., Ahmadian, A., Mir, B. and Arazmjo, E. 2010. Study of the effect Harvest time on quantitative and qualitative characteristics of corn (*Zea mays* L) forage. *Journal of Crop Ecophysiology, 15*(3), PP.41-54 [In Persian].

Glamoclija, D., Jankovic, S., Rakic, S., Maletic, R., Ikanovic, J. and Lakic, Z. 2011. Effects of nitrogen and harvesting time on chemical composition of biomass of Sudan grass, fodder sorghum, and their hybrid. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35*(2), PP.127-138. **doi: 10.3906/tar-0911-58**

Golzardi, F., Nazari, Sh. and Rahjoo, V. 2019. Sorghum cultivation. ETKA Publication, Tehran, Iran [In Persian].

Gran, R. and Stock, R. 1994. Harvesting corn and sorghum for silage. University of Nebraska. Extension service. Institute of Agriculture and Natural Resources.

Jafari, R., Seyed sharif, R. and Imani, A. 2013. Effects of nitrogen and harvesting date on fertilizer use efficiency and qualitative and quantitative yield of sorghum bicolor. *Journal of Crops Improvement, 14*(2), PP.17-30 [In

Persian]. **doi:10.22059/jci.2013.29498**

Karimi, H. 1989. Crop plants. University of Tehran Press [In Persian].

Keady, T.W.J. 2005. Ensiled maize and whole crop wheat forages for beef and dairy cattle: effect on animal performance. Silage production and utilisation. In: R.S. Park, M.D. Stronge (Eds.), Proceedings of the XIV International Silage, Conference, a satellite workshop of the XXth international Grassland Congress. Wageningen Academic Publishers, the Netherlands, PP. 65-82.

Khalilian, M., Habibi, D., Golzardi, F., Aghayari, F. and Khazaei, A. 2021. Yield evaluation of promising lines of dual-purpose grain-forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] at different harvesting times. *Cereal Research, 11*(2), PP.135-147 [In Persian]. **doi:10.22124/cr.2021.20609.1689**

Khazaei, M., Galavi, M., Dahmarde, M., Moosavi-Nik, S., Zamani, G. and Mahdi-Nejad, N. 2016. Effect of drought stress on osmolyte accumulation, photosynthetic pigment and growth of three Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) species. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 9*(2), PP.149-162 [In Persian]. **doi:10.22077/escs.2016.361**

Lewis, A.L., William, J.C. and Cherney, J.H. 2004. Hybrid, maturity, and cutting height interactions on corn forage yield and quality. *Agronomy Journal, 96*(1), PP.267-274. **doi:10.2134/agronj2004.2670**

Malai, S., Banerjee, A. and Bagchi, D. 1980. Effect of nitrogen on fodder and extracted protein yield of bajra in Gangetic Alluminium soil. *Indian Journal of Agricultural Sciences, 81*, PP.85-87.

McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. and Morgan, C.A. 1995. Animal Nutrition. 5th ed. Longman Scientific and Technical, New York.

Mohajer, S., Ghods, H., Mat Taha, R. and Talati, A. 2012. Effect of different harvest time on yield and forage quality of three varieties of common millet (*Panicum miliaceum*). *Scientific Research and Essays, 7*(34), PP.3020-3025. **doi:10.5897/SRE11.852**

Muhammad, A., Muhammad, A. N., Asif, T. and Azhar, H. 2002. Effect of different levels of nitrogen and harvesting times on the growth, yield and quality of sorghum fodder. *Asian Journal of Plant Sciences, 1*, PP.304-307. **doi: 10.3923/ajps.2002.304.307**

Nakhaei, A., Abbasi, M. and Arazmjoo, E. 2013. Evaluating yield and morphological traits response of some millet accessions to stopping off Irrigation at flowering stage. *Journal of Crop Ecophysiology, 26*(2), PP.115-128 [In Persian].

Nour Mohamadi, G., Siadat, A. and Kashani, A. 2007. Agronomy cereal crops. Shahid Chamran Ahwaz; Publications. 446p [In Persian].

Prostko, E.P., Muir, J.P. and Stokes, S.R. 1998. The influence of harvest timing on forage sorghum silage yield and quality. Cooperative Extension Texas A&M University. Research and Extension Center.

Rezazadeh, R., Hassanzadeh Khankahdani, H. and Hosseini, Y. 2019. Effect of sowing date on the yield performance of three sorghum cultivars in coastal strip of east Hormozgan. *Journal of Plant Ecophysiology, 11*(39), PP.168-179 [In Persian]. **doi:20.1001.1.20085958.1398.11.39.14.0**

Rezvani Moghaddam, P. and Nasiri Mahallati, M. 2004. Dry matter digestibility and protein contents of three

forage sorghum cultivars harvested at different dates. *Iranian Journal of Agricultural Science, 35* (4), PP.787-796 [In Persian].

Rezvani-Moghaddam, P. and Nasiri-Mahallati, M. 2000. Study of the effect of harvesting stages on nutrient, yield and planting properties of tree cultivars of forage sorghum. 6th Congress of Agronomy and Plant Breeding Science of Iran, pp: 235 [In Persian].

Ronga, D., Dal Prà, A., Immovilli, A., Ruozzi, F., Davolio, R. and Pacchioli, M.T. 2020. Effects of harvest time on the yield and quality of winter wheat hay produced in Northern Italy. *Agronomy, 10*(6), PP.917. **doi:10.3390/agronomy10060917**

Salama, H.S.A. 2019. Yield and nutritive value of maize (*Zea mays* L.) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest. *Italian Journal of Agronomy, 14*(2), PP.114-122. **doi:10.4081/ija.2019.1383**

Seleiman, M. F., Selim, S., Jaakkola, S. and Mäkelä, PSA. 2017. Chemical composition and in vitro digestibility of whole-crop maize fertilized with synthetic fertilizer or digestate and harvested at two maturity stages in Boreal growing conditions. *Agricultural and Food Science, 26*(1), PP.47-55. **doi:10.23986/afsci.60068**

Sepehr, A. 1998. The effect of K, Mg and micronutrient on yield increasing and quality improving on sunflower. MS.c Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modarres, Iran [In Persian].

Shedrick, R.D.1971. Traits of sorghum for forage the grass land research institute Hurley, male den heat. Berks, Technical Report.

Shoushi Dezfuli, 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]. **doi:20.1001.1.20084811.1389.41.2.20.1**

Snyman, L.D. and Joubert, H.W. 1996. Effect of maturity stage and method of preservation on the yield and quality of forage sorghum. *Animal Feed Sciences Technology, 57*, PP. 63 -73. **doi:10.1016/0377-8401(95)00846-2**

Tariq, M., Ayub, M., Elahi, M., Ahmad, A.H., Chaudhary, M.N. and Nadeem, M.A. 2011.Forage yield and some quality attributes of millet (*Pennisetum americannum* L.) hybrid under various regimes of nitrogen fertilization and harvesting dates. *African Journal of Agricultural Research, 6*(16), PP. 3883-3890. **doi: 10.5897/ajar11.624**

Teixeira, T.P.M., Pimentel, L.D., Dias, L.A.S., Parrella, R.A.C., Paixão, M.Q. and Biesdorf, E.M. 2017. Redefinition of sweet sorghum harvest time: New approach for sampling and decisionmaking in field. *Industrial Crops and Products, 109*, PP. 579-586. **doi:10.1016/j.indcrop.2017.09.002**

Tolera, A. and Sundstol, F. 1999. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. *Animal Feed Science Technology, 81*, PP. 1-16. **doi:10.1016/s0377-8401(99)00072-3**

Twidwell, E.K., Johnson, K.D., Cherney, J.H. and Violence, J.J. 1988. Forage quality and digestion kinetics of switchgrass herbage and morphological components. *Crop Science, 28*, PP. 778-782. **doi:10.2135/cropsci1988.0011183x002800050011x**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 327-343

Effect of harvest time on quantitative and qualitative forage yield of lines and cultivars of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in Birjand region

Ali Azarinasrabad[1*], Hamed Javadi[2], Reza Ataei[3]

[1] Crop and Horticultural Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran

[2] Faculty of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Birjand, Iran

[3] Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

[*]Corresponding Author: azari_ali2003@yahoo.com

Received: 18 August 2022 Accepted: 21 November 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.356760.1267**

Abstract

Introduction: Suitable plants for emergency feed production must have special conditions and characteristics, the most important of which are the speed of emergence and high growth rate, as well as the potential to produce forage with the right quantity and quality in the shortest possible time. Millet is one of the plants that due to its short growth period and relative resistance to drought can be used in most parts of the country that are difficult in terms of water supply or the length of the period suitable for plant growth and development and play an important role in food production for livestock and Poultry. Foxtail and common millets are the most important cultivars of this species in Iran. foxtail millet (*Setaria italica* L.) in South Khorasan province has been known as Gavars and cultivated since ancient times. Dehydration, optimal use of soil moisture, considerable tillering and compensation for possible damages, as well as its dual use as green forage and seeds are its prominent features. Harvest time and appropriate cultivar are the important factors in crop management and will lead to access the maximum quantitative and qualitative yield. The aim of this study was to evaluate the forage performance of millet lines and cultivars at different times in Birjand region.

Materials and Methods: This experiment was conducted in 2020 in Birjand Agricultural and Natural Resources Research Station, located at 20 km from Birjand-Khosf road with a latitude of 32 degrees and 53 minutes north and a longitude of 59 degrees and 13 minutes east and an altitude of 1480 meters above the sea level. The experiment was done as a split plot based on randomized complete block design with three replications. Treatments included harvest time as the main plot in four levels (50, 40, 60 and 70 days after emergence) and lines and cultivars including (promising lines KFM93-17, KFM5 and Bastan cultivar) as sub-plots. Each plot consisted of four lines of wich 50 cm between rows and 5 m long. Planting operations were carried out in early July. Harvesting was performed in different plots based on the relevant experimental treatments at 40, 50, 60 and 70 days after emergency. In order to determine some morphological traits of the plant, 5 plants from each subplot were randomly selected and plant height, number of leaves per plant, stem diameter and number of tillers per plant were measured. In order to determine the yield components including stem and leaf weight and leaf-to-stem ratio, 5 plants were harvested from the middle parts of each plot above the ground and transferred to the laboratory. To determine forage yield, plants were harvested from two rows in the middle of each plot by removing 50 cm from the beginning and end of all rows and after weighing, forage yield was calculated. In order to determine the qualitative yield, first the amount of forage nitrogen was measured by Kjeldal method and then the amount of crude protein and the yield of protein were calculated. After data collecting and performing some necessary calculations, statistical analysis was done using SAS software. To compare the means, Duncan's multiple range test at the 5% probability level was used and the required shapes were plotted by Excel software.

Results and Discussion: The results of analysis of variance showed that the effect of harvest time on green forage yield was significant at the 1% probability level, but the effect of cultivar and the interaction of harvest time and cultivar on this trait was not significant. Delay in harvest increased green forage yield. The delay from 40 to 60 and 70 days after emergency increased the yield of green forage by 2.3 and 2.5 times, respectively. Delay in harvest increased dry forage yield. The delay from

40 to 60 and 70 days increased the yield of green fodder by 2.6 and 3.6 times, respectively. In KFM5 line, the highest percentage of protein was obtained from harvest time at 50 days after emergence (15.4%) and there was no statistically significant difference between harvest time of 40 and 60 days after emergence, but with delay in harvest to 70 days protein percentage Reduced.
Conclusions: The results of this study showed that delay in harvest increased the yield and yield components of forage and forage protein yield in foxtail millet. Based on the results of this study, for the production of emergency fodder from foxtail millet in Birjand region, the cultivar Bastan can be used and harvested in 60 days after emergence.

Keywords: Bastan, Percentage of protein, Forage, Leaf to stem Ratio

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۶۴-۳۴۵

مقاله پژوهشی

مطالعه تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر عملکرد قند هیبریدهای چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)

سعید صادق‌زاده حمایتی[1*]، علی صارمی‌راد[1]، رحیم محمدیان[1]، علی جلیلیان[2]، جواد رضایی[3]، مستانه شریفی[4]، عادل پدرام[5]

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۳- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۴- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۵- بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

* مسئول مکاتبه: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۶/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.346833.1248**

چکیده

در پژوهش حاضر، نقش برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر عملکرد قند هیبریدهای چغندرقند و شناسایی هیبریدهای پایدار تحت مطالعه قرار گرفت. در این راستا، ۱۵ هیبرید و پنج شاهد در چهار محیط ارزیابی گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۰ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب مؤید تأثیر معنی‌دار اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ بر تمامی صفات در سطح احتمال یک درصد بود. برهمکنش میان آن‌ها در سطوح احتمال یک و پنج درصد برای همه صفات به‌جز درصد قند ناخالص و خالص معنی‌دار بود. تجزیه اثرات ضرب‌پذیر مدل AMMI نشان داد که دو مؤلفه اول به ترتیب در سطوح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار هستند. بای‌پلات میانگین عملکرد و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش مؤید برتری ژنوتیپ ۲۰ به دلیل دارا بودن عملکرد قند و پایداری بالا بود. بر اساس روش GGE بای‌پلات محیط‌های کرج، شیراز و میاندوآب از نظر رتبه عملکرد ژنوتیپ‌ها واکنش نسبتاً مشابهی داشتند و در این محیط‌ها ژنوتیپ ۲۰ پایدار بود. واکنش مشهد نسبت به سه محیط دیگر متفاوت بود و در آن ژنوتیپ ۹ پایداری مناسبی داشت. بر اساس شاخص MTSI، چهار ژنوتیپ ۱۸، ۲، ۲۰ و ۱۷ به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. به طور کلی در میان هیبریدهای اصلاحی، در رتبه نخست، هیبرید حاصل از تلاقی (7112 × SB36) ×S1– 960132 (ژنوتیپ ۲) و پس از آن هیبرید به دست آمده از تلاقی (7112 × SB36) × S1- 970063 (ژنوتیپ ۹) را می‌توان به‌عنوان هیبریدهای امیدبخش در برنامه‌های ارزیابی نهایی تا معرفی هیبریدهای جدید مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: پایدار، مؤلفه، AMMI، GGE بای‌پلات، MTSI

مقدمه

چغندرقند یک محصول بسیار مهم و تخصصی کشاورزی است که صرفاً در صنعت قند مورد استفاده قرار می‌گیرد و سهم عمده‌ای از انرژی مورد نیاز مردم جهان را تأمین می‌نماید (Monteiro *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2016). بنابراین اصلاح این گیاه با هدف بهبود عملکرد قند اهمیت بسزایی دارد. عملکرد شامل اثر اصلی ژنوتیپ، اثر اصلی محیط و برهمکنش ژنوتیپ با محیط است. عملکرد با توجه به ماهیت چندژنی آن، شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد و تغییرات بالایی در آن رخ می‌دهد. در واقع هر محیطی ویژگی‌های خاک و شرایط آب و هوایی خاص خود را دارد که می‌تواند بر بهره‌وری تولید محصول سایه افکند؛ به این موضوع برهمکنش ژنوتیپ- محیط اطلاق می‌شود. در حقیقت برهمکنش ژنوتیپ- محیط پدیده‌ای است که به پاسخ مختلف ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها اشاره دارد (Kang, 2004; Kang, 1997) و در سطح جهانی توسط همه افرادی که در حوزه اصلاح و نگهداری گیاهان زراعی فعالیت دارند، شناخته شده است، زیرا این پدیده برای به‌نژادگران گیاهی از حیث آزادسازی ارقام جدید و پر محصول دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. ویژگی‌های کمی نظیر عملکرد که از نظر اقتصادی و زراعی مهم هستند، می‌توانند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر برهمکنش ژنوتیپ- محیط قرار گیرند و واکنش‌های متفاوتی را ارائه دهند. لذا شناخت حقیقت پدیده

مذکور این امکان را برای به‌نژادگران فراهم می‌آورد تا بتوانند در ارزیابی و آزادسازی ژنوتیپ‌ها، دقت بیش‌تری کرده و ژنوتیپ‌هایی را انتخاب نمایند که از نظر تولید محصول مطلوب هستند.

مطالعه جامع برهمکنش ژنوتیپ- محیط نیاز به روش‌های آماری قدرتمندی دارد. روش‌های متفاوتی برای ارزیابی اثر برهمکنش ژنوتیپ و محیط به‌وسیله محققین مختلف ارائه شده است که به‌طورکلی در دو گروه اصلی روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم‌بندی می‌شوند. در میان روش‌های چندمتغیره مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر[1] (AMMI) و مدل گرافیکی GGE بای‌پلات[2] از اهمیت بالایی برخوردار هستند. روش AMMI در واقع ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است. بخش اول مدل AMMI یعنی بخش جمع‌پذیر از تجزیه واریانس استفاده می‌کند (Gauch, 1992) و بخش دوم که قسمت ضرب پذیر مدل AMMI را شامل می‌شود از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تجزیه برهمکنش ژنوتیپ و محیط به یک تا n مؤلفه اصلی استفاده می‌نماید (Gauch and Zobel, 1997). در حقیقت دلیل استفاده گسترده از این مدل قدرت تفکیک بالای اثرات اصلی و برهمکنش ژنوتیپ و محیط و نیز توجیه بخش بزرگی از مجموع مربعات برهمکنش می‌باشد (Ebdon and Gauch, 2002).

مدل گرافیکی GGE biplot بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پیشنهاد گردیده است (Gabriel, 1971; Gauch and Zobel, 1997; Kempton, 1984; Yan *et al.*, 2007). این روش از طریق نمایش گرافیکی برهمکنش ژنوتیپ و محیط به اصلاح‌گر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مختلف را بررسی نماید. استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های اصلاحی را به‌سادگی میسّر می‌سازد (Yan *et al.*, 2001). در واقع مفهوم GGE از اثرات اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط گرفته شده است (Yan and Kang, 2002). از کاربردهای مهم GGE بای‌پلات تعیین و گروه‌بندی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی محصولات مختلف است. با استفاده از GGE بای‌پلات محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در آن محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند (Makumbi *et al.*, 2015). ویژگی منحصربه‌فرد GGE بای‌پلات این است که به استناد نمودارهای حاصل می‌توان اظهار نمود که کدام ژنوتیپ در کدام محیط یا زیرگروه از پتانسیل بالاتری برخوردار می‌باشد (Farshadfar *et al.*, 2012).

اخیراً، مبانی نظری شاخص پایداری چندمتغیره[3] (MTSI) برای انتخاب ژنوتیپ‌های با کارایی بالا و پایدار در آزمایش‌های چندمحیطی بر اساس صفات متعدد با در نظر گرفتن هر دو چارچوب مدل اثر ثابت و اثر تصادفی معرفی شده است (Olivoto *et al.*, 2019). شاخص پایداری MTSI بر اساس فاصله از ژنوتیپ ایده‌آلی که از طریق تجزیه به عامل‌ها برآورد می‌شود، محاسبه می‌گردد (Olivoto *et al.*, 2019). این شاخص امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار را با دیفرانسیل گزینش مثبت برای صفاتی که افزایش آن‌ها مدنظر است و دیفرانسیل گزینش منفی برای صفاتی که کاهش آن‌ها مدنظر است، فراهم می‌کند. از طرفی این شاخص پایداری می‌تواند برای اصلاح‌کنندگان و کشاورزانی که هدف آن‌ها انتخاب هم‌زمان برای میانگین عملکرد و پایداری با در نظر گرفتن چندین صفت است، مفید باشد؛ به دلیل اینکه فرآیند گزینش منحصر به فردی را فراهم می‌کند که تفسیر آن آسان است و ساختار همبستگی را در بین صفات در نظر می‌گیرد (Olivoto *et al.*, 2019).

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی هیبریدهای اصلاحی از نظر پتانسیل تولید کمی و پایدار با به‌کارگیری روش‌های چندمتغیره اثرات اصلی افزایشی و برهمکنش ضرب‌پذیر (AMMI)، روش گرافیکی GGE بای‌پلات و شاخص پایداری MTSI به مرحله اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و جزئیات اجرای آزمایش‌ها

تعداد ۱۵ هیبرید به همراه دو شاهد داخلی سینا و دنا و سه

1- Additive main effect and multiplicative interaction
2- Genotype plus genotype- environment interaction bi-plot
3- Multi-trait stability index

شاهد خارجی نووودورا (Novodora)، مودکس (Modex)، لوریکت (Loriquet)، مواد ژنتیکی پژوهش حاضر را تشکیل دادند که مشخصات والدی این هیبریدها در جدول ۱ آورده شده است. مواد گیاهی تحت بررسی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی چغندرقند کرج، مشهد، شیراز و میاندوآب کشت شدند. مشخصات کامل مکان‌های اجرای آزمایش اعم از طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند مورد مطالعه

Table 1- Specifications of studied experimental sugar beet genotypes

کد ژنوتیپ Genotype code	شجره Pedigree	کد ژنوتیپ Genotype code	شجره Pedigree
G1	(7112 * SB36) * S1 - 960104	G11	(7112 * SB36) * S1 - 970073
G2	(7112 * SB36) * S1 - 960132	G12	(7112 * SB36) * S1 - 970092
G3	(7112 * SB36) * S1 - 960151	G13	(7112 * SB36) * S1 - 970096
G4	(7112 * SB36) * S1 - 960156	G14	(7112 * SB36) * S1 - 970118
G5	(7112 * SB36) * S1 - 960163	G15	(428-P.395 * 940171) * 920128
G6	(7112 * SB36) * S1 - 970026	G16	Sina
G7	(7112 * SB36) * S1 - 970027	G17	Dena
G8	(7112 * SB36) * S1 - 970041	G18	Novodoro
G9	(7112 * SB36) * S1 - 970063	G19	Modex
G10	(7112 * SB36) * S1 - 970067	G20	Loriquet

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقاتی اجرای آزمایش

Table 2- Geographical characteristics of the experimental research stations

کد محیط Environment code	ایستگاه تحقیقاتی Research station	ارتفاع از سطح دریا Elevation AMSL (m)	عرض جغرافیائی Latitude	طول جغرافیائی Longitude
E1	کرج Karaj	1312	35°55'N	50°54'E
E2	مشهد Mashhad	1316	36°30'N	59°37'E
E3	شیراز Shiraz	1484	29°32'N	52°36'E
E4	میاندوآب Miandoab	1296	36°58'N	46°05'E

عملیات آماده‌سازی زمین کشت شامل شخم، دیسک و ایجاد ردیف کاشت بود. هر کرت آزمایشی شامل سه خط به طول هشت متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی بستر کشت با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی هر یک از مناطق اجرای آزمایش، طی دو هفته آخر اردیبهشت ۱۴۰۰ عمل کشت آزمایش در چهار منطقه تحت بررسی با استفاده از دستگاه آیورد انجام شد. در آزمایش هر یک از مناطق، بر روی ردیف‌های کشت تعداد بذر بیشتری قرار داده شد که پس از سبز شدن و در مرحله دو تا چهار برگی تنک گردیدند و به تراکم ۱۲۰۰۰۰ بوته در هکتار رسانده شدند. آبیاری به روش نشتی در هر یک از چهار منطقه تحت بررسی، صورت پذیرفت. مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و نازک‌برگ مزارع با وجین دستی انجام گرفت.

اندازه‌گیری صفات

پس از عملیات برداشت و ثبت عملکرد، از ریشه‌های مربوط به هر ژنوتیپ نمونه خمیر تهیه گردید؛ سپس در آزمایشگاه کنترل کیفی ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند از نظر ویژگی‌های درصد قند ناخالص، نیتروژن مضره و عنصرهای سدیم و پتاسیم به مورد بررسی قرار گرفت (Kunz *et al.*, 2002) و در نهایت از مقادیر به‌دست‌آمده برای این ویژگی‌ها، جهت تخمین درصد قند ملاس، درصد قند خالص،

عملکرد قند ناخالص و در نهایت عملکرد قند خالص به ترتیب بر اساس روابط ۱ تا ۴ استفاده شد:

$$MS = 0.0343(K^{+} + Na^{+}) + 0.094(alpha\ amino\ N) - 0.31$$ (Cook and Scott, 1993) (۱)

$$WSC = SC - (MS + 0.6)$$ (Reinfeld *et al.*, 1974) (۲)

$$SY = RY \times SC$$ (۳)

$$WSY = WSC \times RY$$ (Cook and Scott, 1993) (۴)

در این روابط MS[1] درصد قند ملاس، K^{+} پتاسیم برحسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، Na^{+} سدیم برحسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، *alpha amino* N نیتروژن مضره برحسب میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه، WSC[2] درصد قند خالص، SC[3] درصد قند ناخالص، SY[4] عملکرد قند ناخالص برحسب تن در هکتار، RY[5] عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار و WSY[6] عملکرد قند خالص برحسب تن در هکتار می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا پیش از انجام هرگونه تجزیه و تحلیلی، همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت انجام شد. پس از اینکه یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف تأیید شد، تجزیه واریانس مرکب روی داده‌های هر یک از صفات صورت گرفت. از آنجایی که عملکرد قند خالص دربرگیرنده مقادیر سایر صفات مورد مطالعه بوده، لذا ویژگی مهم و نهایی محسوب می‌شود؛ بنابراین تجزیه پایداری بر اساس مدل AMMI و GGE بای‌پلات از نظر این صفت (عملکرد قند خالص) انجام شد. برای انجام تجزیه پایداری به روش AMMI از رابطه ۵ استفاده شد.

$$Y_{ger}=\mu+\alpha_g+\beta_e+\sum_{n}\lambda_n\alpha_{gn}\gamma_{en}+\rho_{ge}+\varepsilon_{ge}$$ (۵)

در رابطه ۵، Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام است، μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار باقی‌مانده و ε_{ge} مربوط به خطا می‌باشد (Gauch, 1992). با انجام تجزیه واریانس AMMI با استفاده از نرم‌افزار R مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد و با رسم بای‌پلات‌های آن‌ها، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین گردید. طی این مطالعه از ۱۲ آماره به‌دست‌آمده از مدل AMMI برای شناسایی ژنوتیپ پایدار نیز به‌قرار روابط ۶ تا ۱۷ استفاده شد.

$$SIPC_i = \sum_{n=1}^{N} |\lambda_n^{0.5}\gamma|$$ (Sneller *et al.*, 1997) (۶)

$$AMGE = \sum_{n=1}^{N} \lambda_n\gamma_{in}\delta_{jn}$$ (Sneller *et al.*, 1997) (۷)

$$EV = \sum_{n=1}^{N} \frac{\gamma_{in}^2}{n}$$ (Zobel, 1994) (۸)

$$Da = \sqrt{\sum_{n=1}^{N} (\lambda_n\gamma_{in})^2}$$ (Annicchiarico, 1997) (۹)

$$ASTAB = \sum_{n=1}^{N'} \lambda_n\gamma_{in}^2$$ (Rao and Prabhakaran, 2005) (۱۰)

1- Molasses sugar
2- White sugar content
3- Sugar content
4- Sugar yield
5- Root yield
6- White sugar yield

$$AV_{AMGE} = \sum_{j=1}^{E} \sum_{n=1}^{N'} |\lambda_n \gamma_{in} \delta_{jn}|$$ (Zali *et al.*, 2012) (۱۱)

$$D_Z = \sum_{n=1}^{N'} \gamma_{in}^2$$ (Zhang *et al.*, 1998) (۱۲)

$$MASI = \sqrt{\sum_{n=1}^{N\prime} \mathrm{PC}_{\mathrm{n}}^2 \times \theta_1^2}$$ (Ajay *et al.*, 2018) (۱۳)

$$MASV = \sqrt{\sum_{n=1}^{N\prime} (\frac{SSIPC_n}{SSIPC_{n+1}}) \times (PC_n)^2 + (PC_{N\prime})^2}$$ (Zali *et al.*, 2012) (۱۴)

$$Z_a = \sum_{n=1}^{N'} |\theta_n \gamma_{in}|$$ (Zali *et al.*, 2012) (۱۵)

$$ASI = \sqrt{[PC_1^2 \times \theta_1^2] + [PC_2^2 \times \theta_2^2]}$$ (Jambhulkar *et al.*, 2014) (۱۶)

$$FA = \sum_{n=1}^{N'} \lambda_n^2 \gamma_{in}^2$$ (Raju, 2002) (۱۷)

تجزیه گرافیکی با روش GGE بای‌پلات بر اساس تجزیه به مقادیر منفرد طبق رابطه ۱۸ انجام شد.

(Yan and Kang, 2002) (۱۸)

$$Y_{\mathrm{ij}} - \mu - \beta_{\mathrm{j}} = \lambda_1 \xi_{\mathrm{i1}} \eta_{\mathrm{j1}} + \lambda_2 \xi_{\mathrm{i2}} \eta_{\mathrm{j2}} + \varepsilon_{\mathrm{ij}}$$

در رابطه ۱۸ Y_{ij} میانگین ژنوتیپ iام در محیط jام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j اثر اصلی محیط jام، λ_1 و λ مقادیر ویژه برای اولین و دومین مؤلفه، ξ_{i1} و ξ_{i2} بردارهای ویژه ژنوتیپی و η_{j1} و η_{j2} بردارهای محیطی مؤلفه اول و دوم و ε_{ij} مقدار باقیمانده برای ژنوتیپ iام در محیط jام هستند. برای تجزیه داده‌ها به روش گرافیکی بای‌پلات از نرم‌افزار R بر اساس پنج الگوی: ۱. بررسی روابط میان محیط‌ها، ۲. رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل، ۳. تعیین بهترین رقم در هر مکان، ۴. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری و ۵. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ استفاده شد.

شاخص پایداری MTSI برای محاسبه میانگین عملکرد و پایداری هم‌زمان صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، درصد قند ناخالص، عملکرد قند خالص، درصد قند خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره و درصد قند ملاس بر اساس رابطه ۱۹ (Olivoto *et al.*, 2019) برآورد گردید.

$$\mathrm{MTSI}_i = \left[\sum_{j=1}^{f} \left(\gamma_{ij} - \gamma_j \right)^2 \right]^{0.5}$$ (۱۹)

در این رابطه، MTSI_i شاخص پایداری چندمتغیره ژنوتیپ iام، γ_{ij} امتیاز ژنوتیپ iام در عامل jام، γj نمره ژنوتیپ ایده‌آل در عامل jام می‌باشد. امتیازها بر اساس تجزیه به عامل‌ها برای ژنوتیپ‌ها و صفات محاسبه شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب

به‌منظور بررسی همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد. نتیجه این آزمون مؤید یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. لذا با توجه به یکنواخت بودن واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف جهت تعیین برهمکنش ژنوتیپ- محیط بر روی داده‌های حاصل از صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، درصد قند ناخالص، درصد قند خالص، عملکرد قند خالص، سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره و درصد قند ملاس، تجزیه واریانس مرکب انجام شد (جدول ۳). اثر محیط برای تمامی صفات نامبرده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری از نظر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. نتایج مربوط به برهمکنش ژنوتیپ- محیط حاکی از معنی‌دار بودن این اثر در سطوح احتمال یک و پنج درصد برای تمام صفات مورد مطالعه به‌جز درصد قند

ناخالص و خالص بود. معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ-محیط، به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی و نیز تغییرات در رتبه نسبی ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی

Table 3- Combined analysis of variance of studied traits in experimental sugar beet genotypes

صفت Trait	منابع تغییر Source of variation				
	محیط Environment (df: 3)	خطا ۱ Error 1 (df: 12)	ژنوتیپ Genotype (df: 19)	برهمکنش ژنوتیپ- محیط Genotype× Environment Interaction (df: 57)	خطا ۲ Error 2 (df: 228)
عملکرد ریشه Root yield	23685.44**	100.05	425.01**	195.37**	56.10
عملکرد قند ناخالص Sugar yield	675.77**	3.89	12.18**	6.01**	2.14
درصد قند ناخالص Sugar content	367.77**	2.56	10.78**	1.63ns	1.37
درصد قند خالص White sugar content	341.96**	3.53	19.38**	2.48ns	1.85
عملکرد قند خالص White sugar yield	657.69**	2.96	10.31**	4.17**	1.72
سدیم Na^+	52.58**	1.24	5.69**	1.19**	0.56
پتاسیم K^+	151.11**	0.51	2.83**	0.65**	0.31
نیتروژن مضره Harmful nitrogen	360.58**	1.01	1.14**	0.69**	0.33
قند ملاس Molasses sugar	55.19**	0.30	1.48**	0.22*	0.14

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

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

تجزیه AMMI

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایش بر اساس مدل AMMI در جدول ۴ ارائه گردیده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده میانگین مربعات برهمکنش ژنوتیپ- محیط عملکرد قند در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این موضوع حاکی از تنوع میان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و مشکلاتی که به‌نژادگران در گزینش و آزادسازی با آن مواجه هستند، می‌باشد. درصد واریانس توجیه‌شده برای برهمکنش ژنوتیپ- محیط برابر با ۸/۴۰ درصد از مجموع مربعات کل بود. در پژوهشی که با استفاده از روش AMMI انجام شد، واریانس توجیه‌شده به‌وسیله برهمکنش ژنوتیپ- محیط برابر با ۷/۸۴ درصد برآورد گردید (Basafa and Taherian, 2016). اثر ضرب‌پذیر مدل AMMI به مؤلفه‌های اصلی برهمکنش تجزیه شد. بر اساس این نتایج (جدول ۴) تنها دو مؤلفه اول برهمکنش معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد داشتند. مؤلفه اول ۶۸/۴۰ درصد از تغییرات برهمکنش را توجیه نمود. مؤلفه اصلی دوم توانست ۲۳/۸۰ درصد از تغییرات مربوط به برهمکنش ژنوتیپ- محیط را تبیین نماید؛ این مؤلفه به همراه مؤلفه اول در مجموع ۹۲/۲۰ درصد تغییرات کل برهمکنش ژنوتیپ- محیط را توجیه کردند. مجموع مربعات باقی‌مانده از مدل AMMI (Noise) با پایین‌ترین میانگین مربعات غیر معنی‌دار به دست آمد که نشان‌دهنده دقت قابل ملاحظه این مدل است (Anandan and Eswaran, 2009). در مطالعه‌ای که با استفاده از مدل AMMI انجام شد (Mostafavi and Saremirad, 2021)، بیان گردید که مؤلفه اصلی اول برهمکنش معنی‌دار می‌باشد و حدود ۶۳ درصد از تنوع داده‌ها

را تبیین می‌نمایند. در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که پنج مؤلفه اصلی برهمکنش در مجموع ۹۰/۳۰ درصد از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کند (Karimizadeh *et al.*, 2008). بر اساس نتایج حاصل از مطالعه‌ای، چهار مؤلفه اول مجموعاً ۸۳ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ- محیط را تبیین نمودند (Omrani *et al.*, 2019).

جدول ۴- تجزیه واریانس برهمکنش ژنوتیپ- محیط عملکرد قند ژنوتیپ‌های چغندرقند آزمایشی بر اساس مدل AMMI

Table 4- Analysis of variance of genotype- environment interaction of sugar yield of experimental sugar beet genotypes based on AMMI model

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum square	میانگین مربعات Mean square	واریانس توجیه شده Sum square explained (%)
اولین مؤلفه برهمکنش IPCA1	21	162.77	7.75**	68.40
دومین مؤلفه برهمکنش IPCA2	19	56.74	2.98*	23.80
باقی‌مانده Noise	17	18.54	1.09ns	7.8

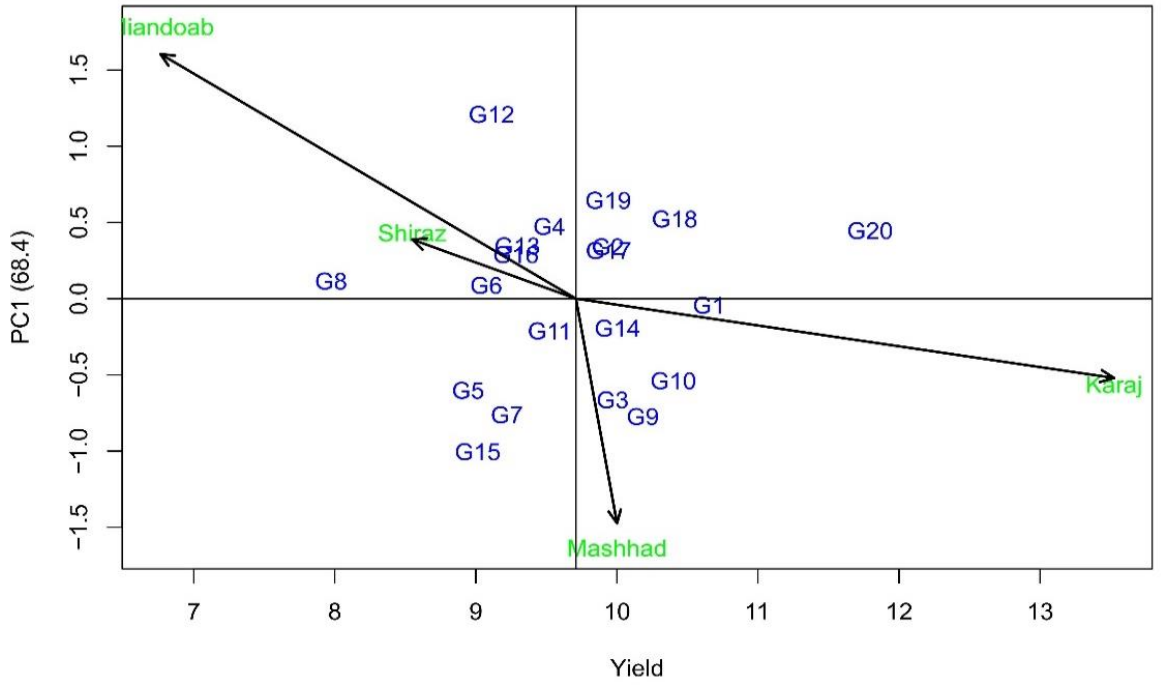
*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

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

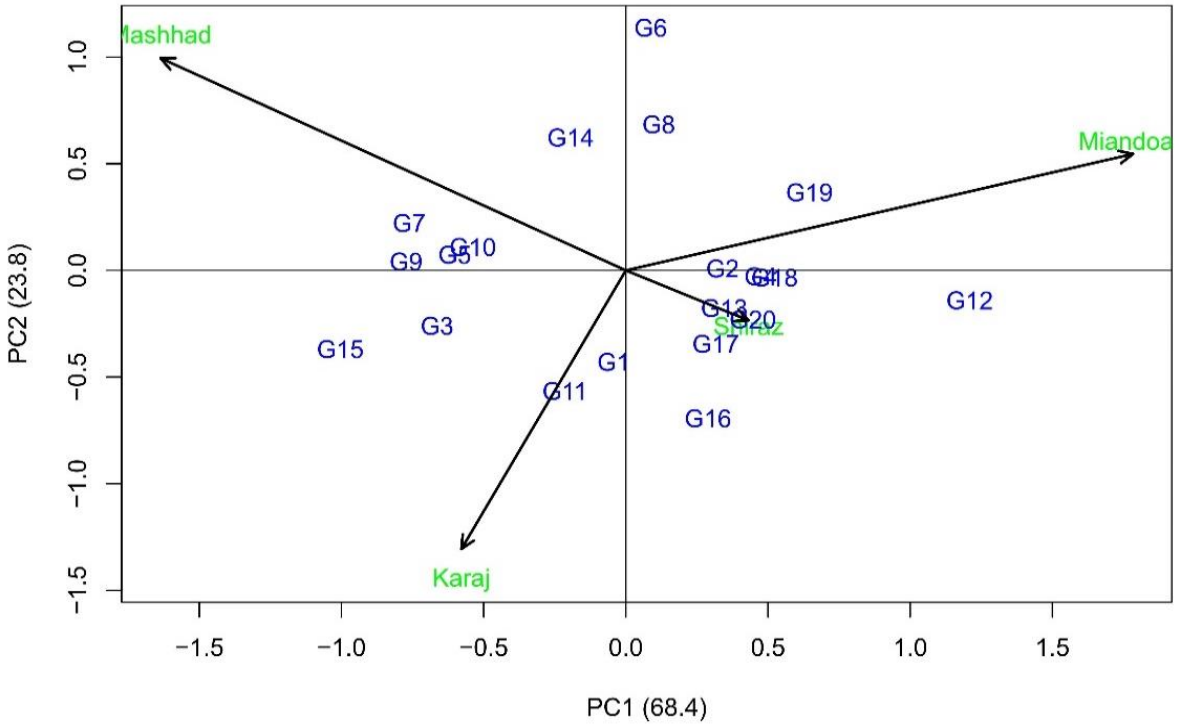
به‌منظور در نظر گرفتن پایداری عملکرد و سازگاری ویژه ژنوتیپ‌ها با مناطق مورد مطالعه، از بای‌پلات عملکرد قند با مؤلفه اصلی اول (شکل A۱) و بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول (شکل B۱) استفاده شد. بر طبق بای‌پلات میانگین عملکرد قند در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهمکنش، ژنوتیپی که از لحاظ عملکرد قند (محور افقی) میزان بیشتر و از نظر مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ- محیط (محور عمودی) مقدار پایینی (نزدیک به صفر) داشته باشد، ژنوتیپ مطلوب‌تری خواهد بود. بر این اساس در میان ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ شماره ۲۰ و در بین محیط‌ها، محیط کرج به دلیل داشتن عملکرد قند بسیار بالاتر از میانگین و مقدار پایین مؤلفه اول برهمکنش، تحت عنوان پایدارترین ژنوتیپ و محیط شناخته شدند. اگر ژنوتیپ و محیطی از لحاظ مؤلفه اول اصلی برهمکنش هم علامت باشند، دارای برهمکنش مثبت و اگر از لحاظ مؤلفه نامبرده هم علامت نباشند، دارای برهمکنش منفی خواهند بود. محیط‌های کرج و مشهد با عملکرد قندی بیش از میانگین کل دارای برهمکنش مثبت با ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۴، ۱۱، ۱۰، ۹، ۳، ۵، ۷ و ۱۵ و برهمکنش منفی با ژنوتیپ‌های شماره ۲۰، ۱۸، ۱۹، ۱۷، ۲، ۴، ۱۳، ۱۶، ۱۲، ۶ و ۸ بودند. محیط‌های شیراز و میاندوآب از وضعیتی عکس محیط‌های کرج و مشهد برخوردار بودند؛ به‌طوری که محیط‌های میاندوآب و شیراز عملکرد قندی کمتر از میانگین کل داشته و برهمکنش مشابهی نشان دادند. این محیط‌ها با ژنوتیپ‌های شماره ۲۰، ۱۸، ۱۹، ۱۷، ۲، ۴، ۱۳، ۱۶، ۱۲، ۶ و ۸ برهمکنش مثبت و با ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۱۴، ۱۱، ۱۰، ۹، ۳، ۵، ۷ و ۱۵ برهمکنش منفی داشتند.

در شکل B۱ بای‌پلات مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ- محیط برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به نمایش گذاشته شده است. مجموعاً ۹۲/۲۰ درصد تغییرات مربوط به اثر ضرب‌پذیر توسط این بای‌پلات تبیین می‌شود. بر اساس این نمودار ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان قرار داشته باشند، سازگاری خصوصی با آن محیط دارند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مبدأ مختصات باشند، از سازگاری عمومی برخوردارند. بنا بر آنچه بیان شد، همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود، میان ژنوتیپ‌ها با محیط‌های میاندوآب، مشهد و کرج سازگاری خصوصی قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد، اما در مقابل بین محیط شیراز با ژنوتیپ ۲۰ سازگاری خصوصی بسیار بالایی مشاهده شد. ژنوتیپ‌های ۲، ۴، ۱۸، ۱۳، ۲۰ و ۱۷ به علت این‌که نزدیک به مبدأ مختصات قرار دارند، از سازگاری عمومی برخوردار هستند. هیچ‌یک از محیط‌های تحت مطالعه به‌جز محیط شیراز دارای مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ- محیط

نزدیک به صفر (مبدأ مختصات) نبود که مبین این موضوع است که محیط‌ها پتانسیل ایجاد برهمکنش را دارا هستند.



A



B

شکل ۱- A: نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش با استفاده از میانگین عملکرد قند و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش بر اساس مدل AMMI1.
B: نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برهمکنش بر اساس مدل AMMI2

Figure 1- A: Scatter plot for genotypes and environments derived from yield mean and first principal component axes based AMMI1 model. B: Scatter plot for genotypes and environments derived from first two interaction principal component axes based AMMI2

جدول ۵- میانگین عملکرد قند و آماره‌های مختلف پایداری AMMI در ژنوتیپ‌های آزمایشی چغندرقند

Table 5- White sugar yield mean and AMMI stability differences parameters in sugar beet experimental genotypes

ژنوتیپ Genotype	میانگین عملکرد قند White sugar yield mean (t. ha^{-1})	AMGE	ASI	ASTAB	AVAMGE	DA	DZ	EV	FA	MASI	MASV	SIPC	ZA
G1	10.65	-1.11E-16	0.11	0.19	1.48	0.84	0.22	0.02	0.70	0.11	0.45	0.47	0.06
G2	9.94	1.11E-16	0.23	0.12	1.51	0.86	0.13	0.01	0.74	0.23	0.98	0.35	0.09
G3	9.97	-4.44E-16	0.46	0.51	3.12	1.75	0.29	0.04	3.07	0.46	1.92	0.92	0.21
G4	9.52	1.39E-16	0.32	0.23	2.08	1.20	0.19	0.02	1.44	0.32	1.36	0.50	0.13
G5	8.94	-1.11E-16	0.41	0.37	2.61	1.53	0.24	0.03	2.33	0.41	1.73	0.68	0.17
G6	9.07	8.33E-16	0.28	1.30	3.92	2.22	0.59	0.17	4.92	0.28	1.17	1.23	0.16
G7	9.22	-4.44E-16	0.52	0.63	3.22	1.97	0.32	0.05	3.89	0.52	2.20	0.98	0.23
G8	7.97	3.89E-16	0.18	0.48	2.38	1.36	0.36	0.06	1.85	0.18	0.76	0.80	0.12
G9	10.18	-2.22E-16	0.53	0.60	3.40	1.95	0.31	0.05	3.82	0.53	2.22	0.81	0.21
G10	10.40	-1.94E-16	0.37	0.30	2.31	1.38	0.22	0.02	1.89	0.37	1.55	0.65	0.16
G11	9.53	-3.47E-16	0.20	0.36	2.00	1.22	0.30	0.05	1.49	0.20	0.83	0.78	0.13
G12	9.11	3.89E-16	0.83	1.48	5.26	3.07	0.48	0.12	9.40	0.83	3.47	1.35	0.34
G13	9.29	8.33E-17	0.24	0.15	1.52	0.94	0.16	0.01	0.88	0.24	1.01	0.52	0.12
G14	10.00	1.39E-16	0.20	0.43	2.08	1.30	0.33	0.05	1.70	0.20	0.84	0.82	0.13
G15	9.01	-9.44E-16	0.69	1.14	4.70	2.64	0.44	0.10	6.95	0.69	2.90	1.37	0.32
G16	9.28	0.00E+00	0.26	0.56	2.48	1.53	0.38	0.07	2.34	0.26	1.08	0.98	0.16
G17	9.94	1.11E-16	0.23	0.22	1.80	1.04	0.22	0.02	1.08	0.23	0.97	0.66	0.13
G18	10.41	3.05E-16	0.36	0.27	2.29	1.32	0.21	0.02	1.75	0.36	1.50	0.56	0.15
G19	9.94	3.05E-16	0.45	0.55	3.11	1.78	0.32	0.05	3.16	0.45	1.89	1.01	0.22
G20	11.79	5.55E-17	0.31	0.25	1.97	1.21	0.21	0.02	1.47	0.31	1.30	0.68	0.15

AMGE: Sum Across Environments of GEI Modelled by AMMI, ASI: AMMI Stability Index, AMMI Stability Value, ASTAB: AMMI Based Stability Parameter, AVAMGE: Sum Across Environments of Absolute Value of GEI Modelled by AMMI, DA: Annicchiarico's D Parameter, DZ: Zhang's D Parameter, EV: Averages of the Squared Eigenvector Values, FA: Stability Measure Based on Fitted AMMI Model, MASI: Modified AMMI Stability Index, MASV: Modified AMMI Stability Value, SIPC: Sums of the Absolute Value of the IPC Scores, Za: Absolute Value of the Relative Contribution of IPCAs to the Interaction.

نتایج میانگین عملکرد قند ژنوتیپ‌ها و آماره‌های پایداری مختلف تجزیه AMMI در جدول ۵ قابل‌رؤیت می‌باشد. میانگین عملکرد قند ژنوتیپ‌ها در همه محیط‌ها برابر ۹/۷۱ تن در هکتار برآورد شد. ژنوتیپ شماره ۲۰ بیشترین عملکرد قند را به میزان ۱۱/۷۹ تن در هکتار به خود اختصاص داد. پایین‌ترین میزان عملکرد قند به ژنوتیپ شماره ۸ با مقدار ۷/۹۷ تن در هکتار تعلق داشت. عملکرد قند ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۴، ۲، ۱۷، ۱۹، ۳ و ۸ به ترتیب با مقادیر ۹/۵۳، ۹/۵۲، ۹/۹۴، ۹/۹۴، ۹/۹۴، ۹/۹۷ و ۹/۹۷ تن در هکتار در محدوده میانگین عملکرد قند همه ژنوتیپ‌ها در تمامی محیط‌ها قرار داشتند (جدول ۵). بر اساس آماره پایداری AMGE، بیشترین پایداری با میزان کمتر این آماره در ژنوتیپ شماره ۱۵ مشاهده شد. بر اساس آماره‌های ASI، MASI و MASV ژنوتیپ شماره ۱ با کمترین مقادیر برای این سه آماره، بیشترین پایداری را داشت. در این میان ژنوتیپ ۱۲ ناپایدارترین ژنوتیپ شناخته شد. نتایجی که با استفاده از آماره‌های ASTAB، AVAMGE، DA و FA به دست آمد، حاکی از آن بود که ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۱۳ با کمترین مقادیر برای این چهار آماره، پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس SIPC و Za ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱ با حداقل‌ترین مقادیر به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. با توجه به دو آماره DZ و EV ژنوتیپ‌هایی پایدار هستند که مقادیر کمتری از این آماره‌ها را به خود اختصاص دهند. بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۱۳ به ترتیب پایدارترین و ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۱۲ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. نتایج پژوهش حاضر تا حدودی مشابه یافته‌های پیشین بود (Cheloei *et al.*, 2020; Karimizadeh *et al.*, 2016; Rajabi *et al.*, 2023; Sharifi *et al.*, 2017; Taleghani *et al.*, 2023). آن‌ها اذعان داشتند که دقیق‌ترین مدل در تجزیه AMMI با استفاده از دو مؤلفه اصلی اول قابل پیش‌بینی است. با وجود روش‌های مختلف پایداری، مدل AMMI اطلاعات مفیدی را برای دست‌یابی به نتایج دقیق ارائه می‌کند (Mostafavi and Saremirad, 2021; Sharifi *et al.*, 2017). بر اساس نتایج حاصل از مطالعه

حاضر، اکثریت ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس آماره‌های مختلف پایداری AMMI از عملکرد قند متوسطی در حدود میانگین کل برخوردار بودند. این در حالی است که گزارش شده است (Ajay *et al.*, 2020) که با توجه به این ۱۲ آماره پایداری AMMI (به‌خصوص با به‌کارگیری آماره‌های SIPC، MASI و MASV) ژنوتیپ‌های پر محصول را می‌توان شناسایی نمود.

تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات

جهت شناسایی تنوع بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و مطالعه برهمکنش ژنوتیپ- محیط از روش تجزیه گرافیکی بای‌پلات استفاده شد. نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۸ و ۳۶/۱۶ درصد و در مجموع ۸۴/۱۶ درصد از تغییرات کل موجود در داده‌های عملکرد قند را تبیین می‌نمایند. این موضوع بیانگر اعتبار نسبتاً زیاد نمودار بای‌پلات حاصل از این مطالعه در تبیین تغییرات G+GE می‌باشد. هنگامی‌که مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتواند بیشتر تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کند، نشان‌دهنده ماهیت پیچیده برهمکنش ژنوتیپ- محیط خواهد بود (Yan and Tinker, 2005)، اما این امر به معنای نامعتبر بودن بای‌پلات نیست (Yan *et al.*, 2007). اظهار شده است زمانی که نمودار بای‌پلات، حداقل ۶۰ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نماید، می‌توان برای تعیین ابر محیط‌ها از آن استفاده نمود (Yang *et al.*, 2009).

شکل ۲- A همبستگی و روابط بین محیط‌ها را نمایان می‌سازد. مطالعه همبستگی میان محیط‌های تحت بررسی می‌تواند روابط بین محیط‌ها را معین نموده و در آزمایش‌های آتی از نظر صرف وقت و هزینه مفید باشد. در این نمودار هراندازه زاویه بین بردارهای محیط‌ها کم‌تر باشد، بین محیط‌ها همبستگی بیشتری وجود دارد. در واقع بالا بودن همبستگی بین محیط‌ها به معنای وجود همبستگی بالا بین رتبه ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها است. به‌طورکلی کسینوس زاویه بین بردارها میزان همبستگی را نمایان می‌کند. اگر زاویه بین بردارها کوچک‌تر از ۹۰ درجه باشد، همبستگی مثبت خواهد بود. زاویه ۹۰ درجه بین بردارها بیانگر عدم وجود همبستگی بین محیط‌ها است و درصورتی‌که زاویه بین بردارها بزرگ‌تر از ۹۰ درجه باشد، به معنای همبستگی منفی بین محیط‌ها می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار نشان داده شده است، بین مکان‌های مشهد- کرج، کرج- شیراز و شیراز- میاندوآب همبستگی نسبی وجود دارد که این نشان‌دهنده پاسخ نسبتاً مشابه ژنوتیپ‌ها در این مکان‌ها است. لذا بین رتبه عملکرد قند این ژنوتیپ‌ها تفاوت چندانی وجود ندارد. مشهد- شیراز و کرج- میاندوآب همبستگی تقریباً نزدیک به صفر نشان دادند، به عبارتی ژنوتیپ‌ها در این دو مکان روند عملکردی مستقلی را داشتند. در این مطالعه مکان‌های مورد مطالعه دارای همبستگی بسیار نزدیکی نبودند تا بتوان توصیه کرد که به‌منظور کاهش هزینه‌ها برای تحقیقات آینده از مکانی صرف‌نظر نمود. طول بردار محیط‌ها تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط است و نیز به‌عنوان شاخصی جهت تمایز محیط‌ها می‌باشد بدین‌صورت که بردارهای بلندتر از انحراف معیار بالاتر برخوردار هستند و بنابراین قابلیت تمایز بیشتری دارند (Yan and Kang, 2002). یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط قابلیت تمایز آن می‌باشد، به‌نحوی‌که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ژنوتیپ‌های استفاده شده در آزمایش ارائه کنند (Yan and Kang, 2002). بررسی بردارهای محیط‌ها حاکی از این بود که مشهد، کرج و میاندوآب دارای طول بردارهای بلند و هم‌اندازه هستند که نشان‌دهنده قابلیت تمایز بالای این محیط‌ها است و محیط شیراز به علت دارا بودن طول بردار تقریباً کوتاه‌تر نسبت به سایر محیط‌ها قابلیت تمایز کم‌تری داشت. در نهایت مطالعه بای‌پلات همبستگی محیط‌ها نشان داد که بیش‌تر محیط‌های مورد آزمایش دارای قابلیت تمایز بالایی بودند و می‌توانند در آزمایش‌های مطالعه برهمکنش ژنوتیپ- محیط ارقام چغندرقند از نظر عملکرد قند، میان ژنوتیپ‌ها تمایز مناسبی ایجاد نمایند.

شکل ۲- B مربوط به نمودار بای‌پلات چندضلعی می‌باشد که برای شناسایی محیط‌های بزرگ (ابر محیط‌ها) و ژنوتیپ‌های برتر در مکان‌های مختلف رسم شد. در این بای‌پلات یک چندضلعی مشاهده می‌شود که از اتصال ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ دارند حاصل می‌شود. ژنوتیپ‌های ۱۵، ۸، ۱۲، ۲۰ و ۹ در دورترین فاصله قرار گرفته‌اند و سبب تشکیل چندضلعی شده‌اند. سپس از مبدأ مختصات خطوطی عمود بر اضلاع این چندضلعی رسم می‌گردد و محیط‌های بزرگ مشخص می‌شود (Yan *et al.*, 2007). در بخش‌هایی که محیط‌ها قرار گرفته‌اند و در رأس آن‌ها ژنوتیپ‌ها وجود دارند بدان معنا

می‌باشد که این ژنوتیپ‌ها در آن محیط‌ها از عملکرد قند خوبی برخوردار هستند به عبارتی بهترین ژنوتیپ‌ها برای این محیط‌ها می‌باشند. بر این اساس در محیط مشهد ژنوتیپ‌ها ۹ و در محیط‌های مورد مطالعه کرج، شیراز و میاندوآب ژنوتیپ شماره ۲۰ بهترین ژنوتیپ است. سایر ژنوتیپ‌ها (۱۵، ۸ و ۱۲) در بخش‌هایی قرار گرفته‌اند که هیچ محیطی در آن وجود ندارد؛ یعنی برای کشت در هیچ‌یک از مناطق مورد بررسی مطلوب نیست و جز ارقام ضعیف در بیشتر مناطق مورد پژوهش هستند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۱۴ که در نزدیک مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، دارای عملکرد قند متوسط در تمام محیط‌ها است. بر اساس این بای‌پلات محیط‌های مورد آزمایش در دو محیط بزرگ قرار گرفتند، به‌طوری که مشهد در اولین محیط بزرگ و سه محیط کرج، شیراز و میلندوآب در دومین محیط بزرگ حضور یافتند. لذا با توجه به این نتیجه می‌توان بیان نمود، به دلیل این‌که سه محیط تحت بررسی کرج، شیراز و میاندوآب اثرات مشابهی داشتند در تحقیقات آتی در زمینه پایداری و سازگاری چغندرقند از نظر عملکرد قند بهتر است یکی از محیط‌های تحت بررسی استفاده شود و بجای دو محیط دیگر دامنه مطالعات را به مناطق مختلف دیگری گسترش داد.

برای مطالعه هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها از نمودار بای‌پلات مختصات محیط متوسط (Average Environment Coordinate) (Yan and Kang, 2002) که نام دیگر آن نمودار بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری است، می‌توان بهره برد (Yan *et al.*, 2007). نمودار بای‌پلات مختصات محیط متوسط در روش GGE بای‌پلات، از روش‌های مفید در تجزیه پایداری به شمار می‌رود (Kaya *et al.*, 2006; Mostafavi and Saremirad, 2021; Saremirad and Mostafavi, 2021). برای بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد قند ژنوتیپ‌ها از این نمودار بای‌پلات استفاده گردید. در این نمودار محور افقی که دارای یک فلش می‌باشد و از دایره کوچکی که نمایانگر میانگین محیط‌ها است و هم‌چنین از مبدأ مختصات عبور می‌کند، نمایش‌دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک‌تر باشد، پایدارتر است (Yan *et al.*, 2000). محوری که تنها با خط مشخص شده است، نشانگر متوسط عملکرد قند ژنوتیپ‌ها است؛ ژنوتیپ‌های دارای عملکرد قند بالاتر از متوسط در سمت راست محور و ژنوتیپ‌های دارای عملکرد قند پایین‌تر از متوسط در سمت چپ محور قرار می‌گیرند. بنا بر آنچه عنوان شد، ژنوتیپ ۲۰ و پس از آن ژنوتیپ شماره ۱ دارای بیشترین میزان پایداری و عملکرد قند بودند و به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. ژنوتیپ ۸ دارای کم‌ترین میزان عملکرد قند بود و عنوان ژنوتیپ نامطلوب را به خود اختصاص داد (شکل ۲- C).

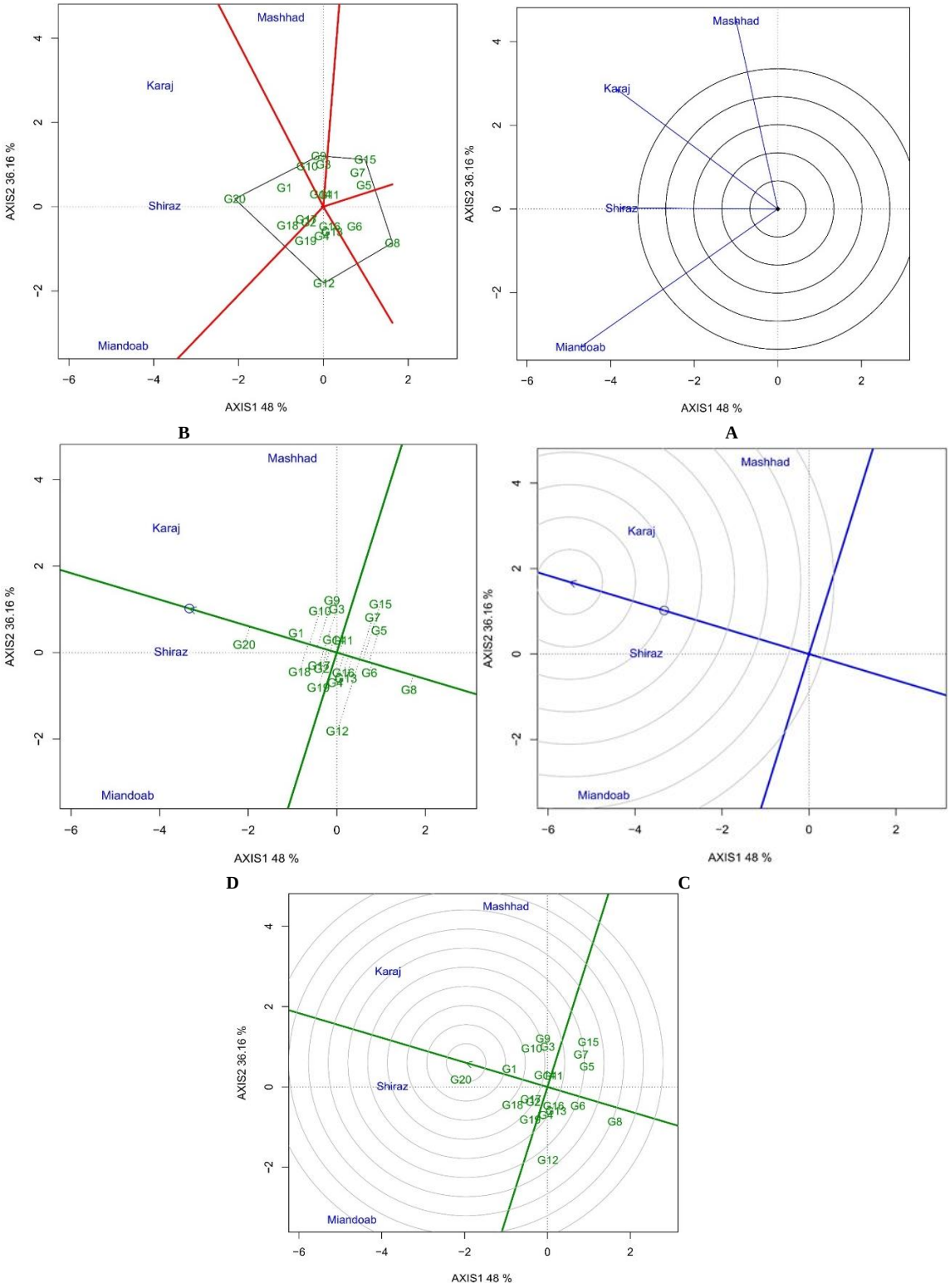
شکل ۲- D رتبه‌بندی محیط‌ها را بر اساس محیط ایده‌آل برای چهار محیط مورد بررسی نشان می‌دهد. محیط‌های ایده‌آل بیش‌ترین قابلیت تشخیص و نمایندگی را در بین دیگر محیط‌ها دارند. بر طبق این نمودار بای‌پلات کرج به علت قرار گرفتن در نزدیک‌ترین دایره نسبت به مرکز دوایر متحدالمرکز به‌عنوان بهترین محیط شناخته شد و بعد از آن به ترتیب شیراز و میاندوآب قرار گرفتند. مشهد به علت اینکه بیش‌ترین فاصله را از مرکز دوایر متحدالمرکز داشت به‌عنوان ضعیف‌ترین محیط شناخته شد. محیط ایده‌آل یک نماینده مناسب برای بررسی ژنوتیپ‌ها است. در حقیقت محیط‌های ایده‌آل، نشان‌دهنده ایده‌آل‌ترین الگوی پاسخ ژنوتیپ‌ها می‌باشند (Mostafavi and Saremirad, 2021).

شناسایی ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس مفاهیم پایداری و عملکرد بالا می‌باشد. بر این اساس ژنوتیپی مطلوب می‌باشد که دارای بیشترین میزان عملکرد و حداکثر پایداری باشد و هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی دارا باشد، به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر و ژنوتیپی که دارای بیشترین میزان فاصله از این ژنوتیپ ایده‌آل فرضی باشد، به‌عنوان نامطلوب‌ترین ژنوتیپ شناخته می‌شود (Yan and Kang, 2002). بر اساس این نمودار، ژنوتیپ ۲۰ با توجه به اینکه کم‌ترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی داشت به‌عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی شد و ژنوتیپ ۸ به علت اینکه دارای بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بود، تحت عنوان ژنوتیپ نامطلوب نامیده شد.

شاخص پایداری چندمتغیره (MSTI)

تجزیه به عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت پذیرفت و تفسیر نتایج پس از چرخش وریماکس انجام شد. در جدول ۶ نتایج تجزیه به عامل‌ها ارائه شده است. عامل‌هایی که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند، انتخاب شدند و واریانس هر عامل نیز برحسب درصد که نشان‌دهنده اهمیت آن در تفسیر

تغییرات کلی داده‌ها است، بیان شد. در این تجزیه سه عامل مستقل از هم در مجموع ۷۵/۷۰ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. عامل اول ۳۳/۷۰ درصد از کل واریانس داده‌ها را توجیه و دارای مقدار ویژه برابر با ۳/۰۳ بود. این عامل دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت برای صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص بود. عامل دوم با مقادیر ویژه ۲/۳۷ و توجیه ۲۶/۳۰ درصد از واریانس تغییرات، شامل ضرایب عاملی بزرگ و منفی برای صفات درصد قند ناخالص، درصد قند خالص و سدیم بود. عامل سوم ۱۵/۷۰ درصد از تغییرات داده‌ها و ۱/۴۲ از مقادیر ویژه را شامل شد و ضرایب عاملی بزرگ و منفی برای صفات پتاسیم و درصد قند ملاس و بزرگ و مثبت برای صفت نیتروژن مضره را در بر داشت. شاخص پایدار MTSI ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر پایه نمرات عاملی سه عامل مذکور محاسبه شد. طبق این شاخص هر چه ژنوتیپی مقدار کمتری از این شاخص را دارا باشد، فاصله کمتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشته و قرابت بیشتری با ژنوتیپ ایده‌آل پایدار دارد. از سوی دیگر هرچه مقدار شاخص پایداری MTSI برای ژنوتیپی بیشتر باشد، به این معنی است که فاصله آن از ژنوتیپ ایده‌آل پایدار بیشتر است و نباید انتخاب شود. در شکل A۳ ژنوتیپ‌های آزمایشی از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار شاخص پایداری MTSI رتبه‌بندی شده‌اند؛ به‌طوری که ژنوتیپ دارای بیشترین مقدار شاخص مذکور در مرکز و ژنوتیپ دارای کمترین مقدار شاخص مذکور در خارجی‌ترین مدار قرار گرفته است. بر این اساس با اعمال فشار گزینشی ۲۰ درصد، ژنوتیپ شماره ۱۸ در رتبه نخست و ژنوتیپ‌های ۲، ۲۰ و ۱۷ در رتبه‌های بعدی ایده‌آل‌ترین ژنوتیپ‌های پایدار از نظر تمامی صفات مورد مطالعه قرار گرفتند. مقایسه ارزش صفات در ژنوتیپ‌های منتخب بر اساس شاخص پایداری MTSI با ارزش صفات در همه ژنوتیپ‌های آزمایشی نشان داد که میانگین ارزش صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند خالص، درصد قند ناخالص و درصد قند خالص در ژنوتیپ‌های منتخب افزایش یافته است. این افزایش ارزش صفات در جهت اهداف مدنظر قرار داشتند. اهدافی که در صفات سدیم، پتاسیم، نیتروژن مضره و درصد قند ملاس دنبال می‌شود، کاهش ارزش آن‌ها است که ژنوتیپ‌های منتخب از نظر این صفات کاهش نشان دادند. به‌طور کلی ژنوتیپ‌های انتخابی سبب ایجاد دیفرانسیل گزینش مطلوبی در تمامی صفات شدند (جدول ۷). در میان صفات، به‌جز عملکرد ریشه سایر صفات از دیفرانسیل گزینش و بازده گزینش مناسبی برخوردار بودند. از سوی دیگر، ژنوتیپ شماره ۱۵ بیشترین مقدار شاخص پایداری MTSI را به خود اختصاص داد و ژنوتیپ نامطلوبی از نظر صفات مورد مطالعه بود. در شکل B۳ نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس سهم هر عامل در شاخص پایداری MTSI ارائه شده است. بر اساس این نمودار کمترین سهم توجیه شده توسط یک عامل (نزدیک به لبه خارجی) نشان‌دهنده نزدیک بودن صفات درون آن عامل به حالت ایده‌آل پایدار است. خط‌چین نشان‌دهنده ارزش نظری است، در صورتی که همه عوامل به یک اندازه نقش داشته باشند. با توجه به این‌که هر ژنوتیپ برای عامل‌هایی که سهم کمتری در آن‌ها دارد از لحاظ صفات درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است، ژنوتیپ‌های شماره ۲۰، ۲ و ۱۷ که کمترین مقدار را در عامل اول داشتند، برای صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص که بیشترین ضرایب عاملی را در این عامل داشتند، به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک هستند. ژنوتیپ ایده‌آل با توجه به صفات قرار گرفته در هر عامل و اهدافی که برای بهبود آن صفات مدنظر است، تعریف می‌شود. در عامل مذکور (عامل اول) ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی است که باعث افزایش صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص می‌شود. ژنوتیپ ۱۸ کمترین سهم عامل دوم را به خود اختصاص داد؛ در نتیجه این ژنوتیپ از لحاظ صفات درصد قند ناخالص، درصد قند خالص و مقادیر سدیم بسیار نزدیک به ژنوتیپ ایده‌آل بود. به بیان بهتر این ژنوتیپ مقادیر سدیم پایین همراه با درصد قند ناخالص و خالص بالایی را دارد. ژنوتیپ‌های شماره ۲۰، ۱۷، ۱۸ و ۲ در ارتباط با عامل سوم از قدرت بالایی برخوردار بودند. به بیان بهتر مقادیر پتاسیم، نیتروژن مضره و درصد قند ملاس پایین و پایداری را داشتند. در ارزیابی عملکرد و سایر صفات زراعی در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های برنج از شاخص پایداری MTSI استفاده شد (Sharifi *et al.*, 2021) و نشان داده شد که این شاخص به‌خوبی قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد، پایداری عملکرد و سایر صفات زراعی بود. این نتایج با یافته‌های به‌دست‌آمده از این مطالعه در رابطه با کارایی شاخص پایداری MTSI در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مطابقت داشت.



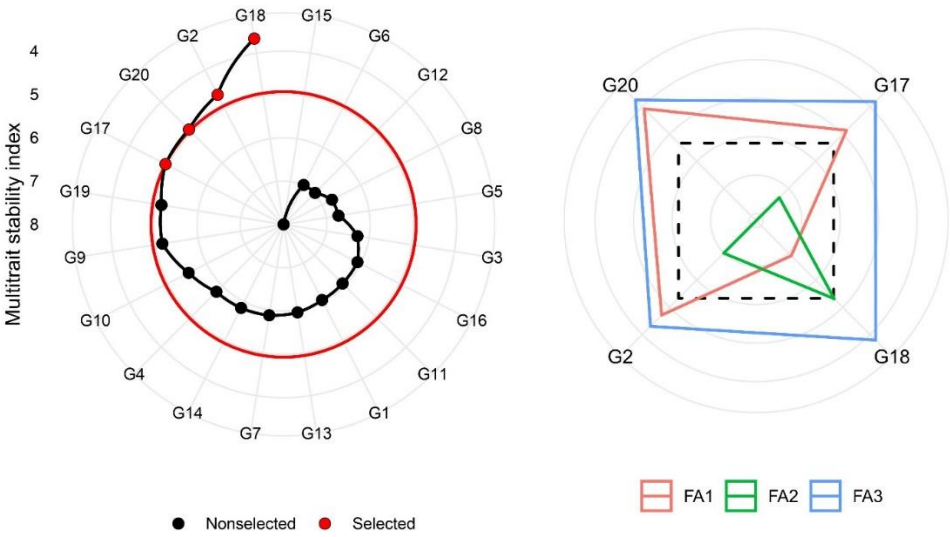
شکل ۲- A: نمودار بای‌پلات بررسی روابط بین محیط‌ها، B: نمودار بای‌پلات چندضلعی جهت تعیین ارقام مناسب در هر محیط، C: نمودار بای‌پلات جهت رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد قند و پایداری، D: نمودار رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل و E: نمودار رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل

Figure 2- A: Biplot examine the relationship between the environments, B: Polygons of GGE biplot method for determine the appropriate cultivars in every environment, C: Biplot graph for ranking cultivars based on the average sugar yield and stability, D: Ranking biplot environments based on hypothetical ideal environment, and E: Ranking biplot genotypes based on hypothetical ideal genotype

جدول ۶- مقادیر ویژه، واریانس نسبی و تجمعی و نیز ضرایب عاملی پس از چرخش وریماکس در تجزیه به عامل‌ها بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

Table 6- Eigenvalues, relative and cumulative variance as well as factor coefficients after varimax rotation in factor analysis based on principal component analysis

صفات Traits	عامل‌ها Factors اول First	دوم Second	سوم Third
عملکرد ریشه Root yield	0.89	0.31	-0.03
عملکرد قند ناخالص Sugar yield	0.98	0.03	-0.04
درصد قند ناخالص Sugar content	-0.13	-0.92	-0.03
درصد قند خالص White sugar content	-0.08	-0.95	-0.04
عملکرد قند خالص White sugar yield	0.94	-0.11	-0.06
سدیم Na^+	0.01	-0.71	0.19
پتاسیم K^+	0.16	0.03	-0.73
نیتروژن مضره Harmful nitrogen	0.18	-0.25	0.75
درصد قند ملاس Molasses sugar	0.15	-0.38	-0.53
مقدار ویژه Eigen value	3.03	2.37	1.42
واریانس نسبی Relative Variance (%)	33.70	26.30	15.70
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	33.70	60.00	75.70



A B

شکل ۳- A: رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی به‌صورت صعودی بر اساس شاخص پایداری MTSI و B: نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های منتخب به‌عنوان نسبت هر عامل در شاخص پایداری MTSI

Figure 3- A: Ranking of experimental genotypes in ascending order based on MTSI index and B: Strengths and weaknesses of selected genotypes as the ratio of each factor in the calculated MTSI index

جدول ۷- پیش‌بینی دیفرانسیل گزینش و بازده گزینش برای صفات مؤثر بر اساس شاخص پایداری MSTI

Table 7- Prediction of selection differential and selection gain for effective traits based on MSTI index

عامل‌ها Factors	صفات Traits	واحد Unit	هدف Goal	میانگین کل Xo	میانگین انتخابی Xs	دیفرانسیل گزینش SD	درصد دیفرانسیل گزینش SD percent	بازده گزینش SG	درصد بازده گزینش SG percent
1	عملکرد ریشه Root yield	$t.\ ha^{-1}$	افزایش Increase	65.70	67.19	1.49	2.27	0.80	1.23
1	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	$t.\ ha^{-1}$	افزایش Increase	11.92	12.61	0.69	5.78	0.34	2.93
1	عملکرد قند خالص White sugar yield	$t.\ ha^{-1}$	افزایش Increase	9.70	10.52	0.81	8.34	0.48	4.96
2	درصد قند ناخالص Sugar content	Percent	افزایش Increase	18.31	18.98	0.67	3.67	0.57	3.11
2	درصد قند خالص White sugar content	Percent	افزایش Increase	14.81	15.75	0.94	6.39	0.82	5.57
2	سدیم Na^+	$meq.100\ g^{-1}$	کاهش Decrease	2.98	2.53	-0.44	-14.89	-0.35	-11.77
3	پتاسیم K^+	$meq.100\ g^{-1}$	کاهش Decrease	5.51	5.23	-0.28	-5.16	-0.21	-3.97
3	نیتروژن مضره Harmful nitrogen	$meq.100\ g^{-1}$	کاهش Decrease	3.13	2.88	-0.25	-8.01	-0.09	-3.12
3	درصد قند ملاس Molasses sugar	Percent	کاهش Decrease	2.90	2.62	-0.27	-9.42	-0.23	-7.97

Xo: original value; Xs: selected value; SD: selection differential; SD perc: selection differential in percentage; SG: selection gain; SG perc: selection gain in percentage.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده محیط و برهمکنش آن با ساختار ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف، نقش بسزایی را بر بیان فنوتیپی صفات به‌جز درصد قند ناخالص و خالص داشته است و سبب شده است تا ژنوتیپ‌ها با توجه به شرایط محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی ارائه نمایند. در مجموع، ژنوتیپ ۲۰ به لحاظ مقادیر عملکرد قند و پایداری عملکرد بالا به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا شناخته شد. در برنامه‌های اصلاحی چغندرقند، ارقام با عملکرد ریشه و درصد قند بالا و ناخالصی‌های پایین بر سایر ارقام ارجحیت دارند. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۸، ۲، ۲۰ و ۱۷ بهترین ژنوتیپ‌ها در ترکیب صفات مختلف بودند و می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی مورد توجه قرار گیرند. به‌طور کلی در میان هیبریدهای اصلاحی، در رتبه نخست، هیبرید حاصل از تلاقی (7112 × SB36) × S1- 960132 (ژنوتیپ ۲) و پس از آن هیبرید به‌دست‌آمده از تلاقی (7112 × SB36) × S1- 970063 (ژنوتیپ ۹) را می‌توان به‌عنوان هیبریدهای امیدبخش در برنامه‌های ارزیابی نهایی تا معرفی هیبریدهای جدید مورد استفاده قرار داد.

References

Ajay, B., Aravind, J. and Abdul Fiyaz, R. 2018. Ammistability: additive main effects and multiplicative interaction model stability parameters. *R Package Version*, *11*.

Ajay, B., Bera, S., Singh, A., Kumar, N., Gangadhar, K. and Kona, P. 2020. Evaluation of genotype× environment interaction and yield stability analysis in peanut under phosphorus stress condition using stability parameters of AMMI model. *Agricultural Research*, *9*(4), PP.477-486. **doi: 10.1007/s40003-020-00458-3**

Anandan, A. and Eswaran, R. 2009. Genotype by environment interactions of rice (*Oryza sativa* L.) hybrids in the east coast saline region of Tamil Nadu. the Proceeding of 2nd Interaction Rice Congress.

Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*, *94*(1), PP.53-62. **doi: 10.1023/a:1002954824178**

Basafa, M. and Taherian, M. 2016. Analysis of stability and adaptability of forage yield among silage corn hybrids. *Journal of Crop Breeding*, *8*(19), PP.185-191 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.22286128.1395.8.19.5.0**

Cheloei, G., Ranjbar, G.A., Babaeian Jelodar, N., Bagheri, N. and Noori, M.Z. 2020. Using AMMI model and its parameters for yield stability analysis of rice (*Oryza sativa* L.) advanced mutant genotypes of Tarrom-Mahalli. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *9*(1), PP.70-83. **doi: 2020.13219.1271ijgpb1**

Cook, D. and Scott, R. 1993. *The sugar beet crop: science into practice*. Champan and Hall Press.

Ebdon, J. and Gauch, H. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype× environment interaction. *Crop Science*, *42*(2), PP.489-496. **doi: 10.2135/cropsci2002.4890**

Farshadfar, E., Mohammadi, R., Aghaee, M. and Vaisi, Z. 2012. GGE biplot analysis of genotype x environment interaction in wheat-barley disomic addition lines. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(6), PP.1074-1079. **doi: 10.3316/informit.734352271996269**

Gabriel, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, *58*(3), PP.453-467. **doi: 10.1093/biomet/58.3.453**

Gauch, H. 1992. *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs*. Elsevier Science Publishers.

Gauch, H.G. and Zobel, R.W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, *37*(2), PP.311-326. **doi: 10.2135/cropsci1997.0011183x003700020002x**

Jambhulkar, N., Bose, L. and Singh, O. 2014. AMMI stability index for stability analysis. *Central Rice Research Institute, Cuttack, Orissa*, *35*, PP.15-15.

Kang, M. 2004. *Breeding: genotype by environment interaction. In 'Encyclopedia of plant and crop science'.(Ed. RM Goodman)*. Marcel Dekker: New York.

Kang, M.S. 1997. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in agronomy*, *62*(1), PP.199-252. **doi: 10.1016/s0065-2113(08)60569-6**

Karimizadeh, R., Asghari, A., Chinipardaz, R., Sofalian, O. and Ghaffari, A. 2016. Determining yield stability and model selection by AMMI method in rain-fed durum wheat genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, *21*(2),

PP.174-183. **doi: 10.17557/tjfc.17390**

Karimizadeh, R., Dehghani, H. and Dehghanpour, Z. 2008. Use of AMMI method for estimating genotype-environment interaction in early maturing corn hybrids. *Seed and Plant Journal*, *23*(4), PP.531-546 [In Persian]. **doi: 10.22092/spij.2017.110766**

Kaya, Y., Akçura, M. and Taner, S. 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *30*(5), PP.325-337.

Kempton, R. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *The Journal of Agricultural Science*, *103*(1), PP.123-135. **doi: 10.1017/s0021859600043392**

Kunz, M., Martin, D. and Puke, H. 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie*, *127*(1), PP.13-21.

Makumbi, D., Diallo, A., Kanampiu, F., Mugo, S. and Karaya, H. 2015. Agronomic performance and genotype x environment interaction of herbicide-resistant maize varieties in Eastern Africa. *Crop Science*, *55*, PP.540-555. **doi: 10.2135/cropsci2014.08.0593**

Monteiro, F., Frese, L., Castro, S., Duarte, M.C., Paulo, O.S., Loureiro, J. and Romeiras, M.M. 2018. Genetic and genomic tools to asssist sugar beet improvement: the value of the crop wild relatives. *Frontiers in plant science*, *9*, PP.74-85. **doi: 10.3389/fpls.2018.00074/full**

Mostafavi, K. and Saremirad, A. 2021. Genotype- environment interaction study in corn genotypes using additive main effects and multiplicative interaction method and GGE- biplot method. *Journal of Crop Production*, *14*(3), PP.1-12 [In Persian]. **doi: 10.22069/ejcp.2022.17527.2293**

Olivoto, T., Lúcio, A.D.C., da Silva, J.A.G., Sari, B.G. and Diel, M.I. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, *111*(6), PP.2961-2969. **doi: 10.2134/agronj2019.03.0221**

Omrani, S., Omrani, A., Afshari, M., Saremirad, A., Bardehji, S. and Foroozesh, P. 2019. Application of additive main effects and multiplicative interaction and biplot graphical analysis multivariate methods to study of genotype-environment interaction on safflower genotypes grain yield. *Journal of crop Breeding 11*(31), PP.153-163 [In Persian]. **doi: 10.29252/jcb.11.31.153**

Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M. and Saremirad, A. 2023. Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. *Food Science & Nutrition*, *11*(3), PP.1403-1414. **doi: 10.1002/fsn3.3180**

Raju, B. 2002. A study on AMMI model and its biplots. *Indian Society of Agricultural Statistics (India)*, *55*, PP.297-322.

Rao, A. and Prabhakaran, V. 2005. Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, *59*, PP.76-82.

Reinfeld, E., Emmerich, G., Baumgarten, C., Winner and Beiss, U. 1974. *Zur voraussage des melassez zuckersaus ruben analysen zucker*. Chapman & Hall, World Crop Series.

Ribeiro, I.C., Pinheiro, C., Ribeiro, C.M., Veloso, M.M., Simoes-Costa, M.C., Evaristo, I., Paulo, O.S. and

Ricardo, C.P. 2016. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. *Frontiers in plant science*, *7*(1), PP.1293-1299. **doi: 10.3389/fpls.2016.01293/full**

Saremirad, A. and Mostafavi, K. 2021. Using AMMI and biplot graphical analysis multivariate methods to evaluate the effect of genotype-environment interaction in cotton genotypes. *Iranian Journal of Cotton Researches*, *8*(2), PP.127-144 [In Persian]. **doi: 10.22092/ijcr.2021.353002.1163**

Sharifi, P., Abbasian, A. and Mohaddesi, A. 2021. Evaluation the mean performance and stability of rice genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques and selection based on multiple traits. *Plant Genetic Researches*, *7*(2), PP.163-180 [In Persian]. **doi: 10.52547/pgr.7.2.13**

Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A. and Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype× environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, *24*(3), PP.173-180. **doi: 10.1016/j.rsci.2017.02.001**

Sneller, C., Kilgore-Norquest, L. and Dombek, D. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. *Crop Science*, *37*(2), PP.383-390. **doi: 10.2135/cropsci1997.0011183x003700020013x**

Taleghani, D., Rajabi, A., Saremirad, A. and Fasahat, P. 2023. Stability analysis and selection of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes using AMMI, BLUP, GGE biplot and MTSI. *Scientific reports*, *13*(1), PP.1-14. **doi: 10.1038/s41598-023-37217-7**

Yan, W., Cornelius, P.L., Crossa, J. and Hunt, L. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science*, *41*(3), PP.656-663. **doi: 10.2135/cropsci2001.413656x**

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, *40*(3), PP.597-605. **doi: 10.2135/cropsci2000.403597x**

Yan, W. and Kang, M.S. 2002. *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC press.

Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, *47*(2), PP.643-653. **doi: 10.2135/cropsci2006.06.0374**

Yan, W. and Tinker, N.A. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype× environment interaction. *Crop Science*, *45*(3), PP.1004-1016. **doi: 10.2135/cropsci2004.0076**

Yang, R.C., Crossa, J., Cornelius, P.L. and Burgueño, J. 2009. Biplot analysis of genotype× environment interaction: Proceed with caution. *Crop Science*, *49*(5), PP.1564-1576. **doi: 10.2135/cropsci2008.11.0665**

Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H. and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype× environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. *Annals of Biological Research*, *3*(7), PP.3126-3136.

Zhang, Z., Cheng, L. and Zhonghuai, X. 1998. Analysis of variety stability based on AMMI model. *Zuo wu xue bao*, *24*(3), PP.304-309.

Zobel, R. 1994. Stress resistance and root systems. Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 345-364

Study of genotype-environment interaction effect on sugar yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids

Saeed Sadeghzadeh Hemayati[1*], Ali Saremirad[1], Rahim Mohammadian[1], Ali Jalilian[2], Javad Rezaei[3], Mastaneh Sharifi[4], Adel Pedram[5]

[1] Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[2] Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Kermanshah Province, Kermanshah, Iran
[3] Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Khorasan Razavi Province, Khorasan Razavi, Iran
[4] Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Fars Province, Fars, Iran
[5] Agriculture and Natural Resources Research and Education Center in Azarbaijan Province, Azarbaijan, Iran
[*]Corresponding Author: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir

Received: 12 June 2022 Accepted: 26 August 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.346833.1248**

Abstract

Introduction: Genotype-environment interaction is one of the most important limiting factors in breeding programs. A comprehensive study of genotype-environment interaction requires powerful statistical methods. Different methods for evaluating the interaction effect of genotype-environment have been proposed by different researchers. Therefore, in the present study, the role of this phenomenon on the sugar yield of sugar beet hybrids and the identification of stable hybrids were studied based on the AMMI, GGE bi-plot, and MTSI stability index methods.

Materials and Methods: For this study, a total of 20 sugar beet genotypes were utilized, comprising 15 recently developed hybrids and five control cultivars (Sina, Dena, Novodora, Modex and Loriquet). Phenotypic assessments of experimental genotypes were conducted in 2021 crop year at four agricultural research stations located in Karaj, Mashhad, Shiraz and Miandoab. These selected sites differed in terms of altitude, latitude and longitude, atmospheric temperature and precipitation, and physical and chemical characteristics of soil. The experiments at each research station were carried out using a randomized complete block design with four replications. Each genotype was planted in a separate plot, consisting of three cultivation rows with a length of eight m and a distance of 50 cm interrow. Throughout the growing season, weed control, irrigation, fertilizer application, and other field management activities were performed based on the recommendations of experts. Additionally, regular monitoring and prevention of pests and diseases specific to sugar beet were conducted at each research station. Stability analysis methods of AMMI, GGE bi-plot, and MTSI stability index were used to analyze the genotype-environment interaction.

Results and Discussion: The results of a combined analysis of variance confirmed the significant effects of environment and genotype on all traits at a one percent probability level. The interaction between them was significant at one and five percent probability levels for all traits except the sugar content and white sugar content. Analysis of the multiplicative effect of the AMMI model showed that the first two components are significant at the one and five percent probability levels, respectively, and together explain 92.20 percent of the interaction variations. The bi-plot of mean yield and the first principal component of the interaction confirmed the superiority of genotype no. 20 due to its high sugar yield and stability. The results obtained from the GGE bi-plot method showed that the first and second components together explain 84.16% of the variations in total sugar yield. According to the GGE bi-plot, Karaj, Shiraz, and Miandoab had a relatively similar reaction in terms of genotype yield rank and in these environments, genotype no. 20 was stable. The reaction of the Mashhad environment was different from the other three environments and in that genotype no. 9 had suitable stability. Based on the results of the MTSI index, four genotypes of 18, 2, 20, and 17 were identified as stable genotypes. In general, the selected genotypes based on the MTSI caused a

favorable selection differential in all traits. Among the traits, except root yield, other traits had good selection differential and selection gain. On the other hand, genotype no. 15 had the highest value of MTSI stability index and was unfavorable genotype in terms of studied traits.
Conclusion: In general, among breeding hybrids, in the first the hybrid obtained from crossing of (7112 × SB36) × S1– 960132 (genotype no. 2) and then the hybrid obtained from crossing of (7112 × SB36) × S1- 970063 (genotype no. 9) can be used as promising hybrids in final evaluation programs until the introduction of new hybrids. The studied sites were not very closely correlated to be suggested that a site be abandoned to reduce costs for future research; In contrast, most of the tested environments had a high differentiation capability and could make a good distinction among genotypes in terms of sugar yield in genotype-environment interaction studies of sugar beet cultivars.

Keywords: AMMI, Component, GGE biplot, MTSI, Stability

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۸۲-۳۶۵

مقاله مروری

تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در گندم: جنبه‌های زراعی و مورفو- فیزیولوژیکی

مهدی جودی[1*]، محمد اسماعیل پور[2]، شهرام مهری[3]

۱- گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشگین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

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

۳- گروه کشاورزی، واحد پارس آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس آباد مغان، ایران

* مسئول مکاتبه: mehdijoudi@gmail.com; joudi@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۵/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.342095.1236**

چکیده

جهت اصلاح و معرفی ارقام گندم با عملکرد دانه بالا ضروری است آگاهی و دانش ما در خصوص صفات فیزیولوژیکی مرتبط با آن افزایش یابد. ذخیره مواد فتوسنتزی در ساقه و انتقال مجدد آن‌ها به دانه از مهم‌ترین صفات فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد دانه و مقاومت به تنش‌های محیطی در گندم است. ترکیب اصلی مواد ذخیره شده در ساقه گندم کربوهیدرات‌های محلول در آب می‌باشد. کربوهیدرات‌ها در میانگره‌های ساقه، زمانی تجمع می‌یابند که ساختار آن میانگره تکمیل شده باشد. ارقام گندم با طول و وزن مخصوص (نسبت طول به وزن میانگره) مناسب ساقه، گنجایش بیشتری برای تجمع مواد فتوسنتزی در ساقه خود دارند. در شرایط مطلوب محیطی، مقدار ذخیره‌سازی در ساقه افزایش می‌یابد. انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای ساقه، زمانی اتفاق می‌افتد که فتوسنتز جاری جواب‌گوی نیاز دانه‌ها نمی‌باشد. پایه‌های فیزیولوژیک نحوه رسیدن پیام برای شروع انتقال مجدد به طور کامل مشخص نشده است. احتمالاً سطح ساکاروز و غلظت هورمون آبسزیک اسید در ساقه در شروع تجزیه ذخایر نقش داشته باشند. مقدار انتقال مجدد در هر رقم، توسط مقدار ذخیره‌سازی ساقه و کارایی انتقال مجدد تعیین می‌شود. کارایی انتقال مجدد نیز توسط تعداد و وزن دانه (قدرت مخزن) مشخص می‌گردد. تنش‌های محیطی زمان شروع و مقدار انتقال مجدد را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مقدار مشارکت انتقال مجدد در پر کردن دانه گندم متغیر بوده و بسته به رقم، شرایط محیطی و تغییرات وزن دانه تغییر می‌کند. رابطه مشخصی بین عملکرد دانه و انتقال مجدد مشاهده نمی‌شود. این امر نشان می‌دهد اصلاح ارقام با انتقال مجدد بالا و عملکرد دانه بالا کار ساده‌ای نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کربوهیدرات‌های محلول در آب، عملکرد دانه، میانگره‌های ساقه

مقدمه

گندم به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید در جهان بوده و نقش مهمی را در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری داشته است. سطح زیر کشت گندم در کل دنیا ۲۱۰ میلیون هکتار بوده که در حدود ۶۰۰ میلیون تن دانه یعنی یک- پنجم از کل کالری مصرفی دنیا را تأمین می‌کند. مقدار تأمین انرژی توسط گندم در برخی نواحی مانند شمال آفریقا، ترکیه و آسیای مرکزی گندم بیش از ۵۰ درصد گزارش شده است. هم‌چنین اشاره شده است که نزدیک به یک- دوم از نواحی زیر کشت گندم در کشورهای کم توسعه قرار گرفته است (Reynolds *et al*., 2007).

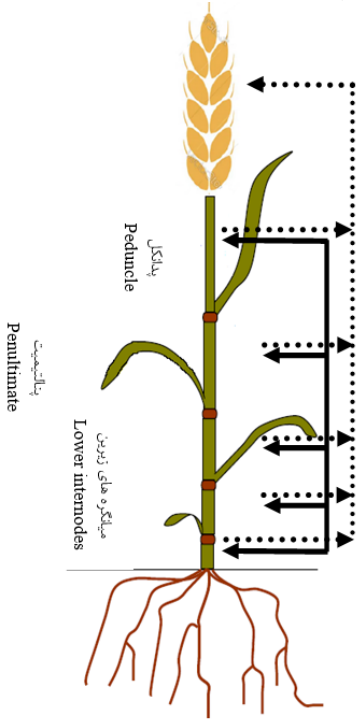
رشد و پر شدن دانه در گندم از سه منبع: ۱- فتوسنتز جاری گیاه (برگ‌ها و ساقه)، ۲- انتقال مجدد ذخایر کربن و نیتروژن موجود در اندام‌های رویشی و ۳- فوتواسیمیلات‌های تولید شده در سنبله تأمین می‌شود (Plaut *et al*., 2004). در بیشتر نواحی زیر کشت گندم، بخصوص در نواحی با آب و هوای مدیترانه‌ای، پر شدن دانه گندم با تنش‌های متعدد زنده و غیر زنده مواجه می‌شود. تنش‌های خشکی و گرما در بیشتر شرایط اثرات جبران‌ناپذیری را روی پر شدن دانه ایجاد می‌کنند. گسترش برخی بیماری‌ها مانند زنگ و سفیدک نیز از طریق کاهش سطح فتوسنتزی باعث خسارت به رشد دانه می‌شوند. پیری و زوال برگ‌ها نیز از مرحله دوم پر شدن دانه باعث کاهش عرضه مواد فتوسنتزی جاری به طرف دانه‌ها می‌شوند. این در حالی است که تقاضا برای مواد فتوسنتزی از طرف دانه‌ها بیشتر می‌شود و در مجموع فتوسنتز جاری جواب‌گوی آن نخواهد بود. تحت این شرایط اهمیت مواد ذخیره شده در اندام‌های رویشی بیشتر شده و بسته به شرایط محیطی و گیاه می‌تواند قسمتی و یا تمام کربن مورد نیاز برای پر کردن دانه را تأمین کند

(Blum, 1998).

پژوهش‌های مختلفی در داخل یا خارج از کشور در خصوص ذخیره‌سازی و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در گندم انجام و گزارشات مختلفی توسط محققان ارائه شده است. جمع‌آوری و مطالعه دقیق این گزارشات، گردآوری نتایج آن‌ها به صورت مختصر و سیستمیک (منظم) در کنار یکدیگر و نیز تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده باعث افزایش آگاهی و دانش در خصوص موضوع مذکور شده و امکان جمع‌بندی و استفاده بهینه از اطلاعات در راستای اصلاح ارقام گندم را فراهم می‌سازد.

ذخایر کوتاه‌مدت و بلندمدت

به‌طور کلی کربن (قند) در گیاهان به دو صورت ذخایر کوتاه‌مدت و بلندمدت تجمع می‌یابد. ذخایر کوتاه‌مدت بیشتر در برگ‌ها انباشته شده و نقش مهمی در تنظیم عرضه کربوهیدرات‌ها به قسمت‌های مختلف گیاه ایفا می‌کند. اهمیت اصلی این پدیده در صدور این مواد ذخیره شده در هنگام شب عنوان شده است. در طول روز، مازاد مواد فتوسنتزی به صورت نشاسته یا سایر قندها در سلول‌های مزوفیلی برگ‌ها ذخیره شده و در هنگام شب می‌تواند به مخزن‌ها منتقل شود. لذا گیاهان توسط این سیستم قادرند که در طول ۲۴ ساعت شبانه روز کربن مورد نیاز برای متابولیسم را فراهم کنند (Al-Sheikh Ahmed *et al*., 2020). بسته به نوع گیاه و هم‌چنین شرایط آب و هوایی، این ذخایر متفاوت هستند. مثلاً در برگ‌های آرابیدوپسیس بیش‌ترین قندی که در طی روز در برگ‌ها ذخیره و در شب مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشاسته می‌باشد. درحالی‌که در برگ‌های ذرت، ذخایر کوتاه‌مدت شامل قندهای محلول و نشاسته می‌باشد (Liang *et al*., 2019).



شکل ۱- تجمع (فلش‌های پررنگ) و آزادسازی (فلش‌های نقطه‌چین) مواد فتوسنتزی در میانگره‌های مختلف ساقه گندم

Figure 1- Schematic of photo-assimilates accumulation (solid arrows) and remobilization (dashed arrows) in different internodes of wheat

برخلاف ذخایر کوتاه‌مدت، تجمع و انتقال مجدد ذخایر بلندمدت، در مدت زمان طولانی‌تری انجام می‌شود. با توجه به اینکه شرایط آب و هوایی در اوایل ساقه‌دهی گندم مناسب بوده و فعالیت فتوسنتزی اندام‌های سبز در بیش‌ترین مقدار خود می‌باشد، گیاه مازاد مواد فتوسنتزی را در اندام‌های رویشی ذخیره می‌نماید. محل اصلی تجمع این مواد فتوسنتزی، سلول‌های پارانشیمی میانگره‌های مختلف ساقه عنوان شده است (شکل ۱). البته تجمع این مواد در غلاف برگ‌ها که روی

ساقه را پوشانده است نیز گزارش شده است (Dodig *et al*., 2017). تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌های ساقه، اثرات بازخور منفی[1] قندهای اضافه بر روی چرخه کالوین را کاهش داده و ادامه فعالیت فتوسنتزی و تولید قندها را ممکن می‌نماید (Joudi *et al*., 2012). این ذخایر هم‌چنین در مراحل پایانی فصل رشد و زمانی که فتوسنتز جاری جواب‌گوی نیاز دانه‌ها نمی‌باشد، شکسته (تجزیه) شده و برای پر کردن دانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۱). مطالعات نشان داده است که ترکیب اصلی ذخایر ساقه، کربوهیدرات‌های محلول در آب[2] می‌باشد (Ruuska *et al*., 2006; Zhang *et al*., 2016).

ماهیت کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSCs)

مهم‌ترین ترکیب WSCs که در ساقه گندم ذخیره می‌شوند، فروکتان‌ها هستند که اولیگومر یا پلی‌مرهای خطی یا منشعب مولکول‌های فروکتوز می‌باشند (Joudi, 2022a). هم‌چنین گلوکز، فروکتوز، ساکارز و سایر الیگوساکاریدها نیز می‌توانند در ساقه گندم تجمع یابند (Valluru and Van den Ende, 2008; Joudi *et al*., 2012). در تحقیقی که بر روی دو لاین گندم و تحت رژیم‌های متفاوت رطوبتی انجام شد، گزارش گردید در زمان گرده‌افشانی محتوای نسبی گلوکوز، فروکتوز و ساکاروز در میانگره‌های بالایی (پدانکل و پنالتی‌میت) حدود ۸۰-۷۵ درصد WSCs بود. این نسبت در میانگره‌های زیرین و غلاف برگ بسیار کمتر بود و فروکتان درصد بالایی از WSCs را به خود اختصاص داده بود. بعد از گرده‌افشانی، سهم (نسبت) هگزوزها در میانگره‌های بالایی کاهش و نسبت فروکتان به ۸۰-۷۰ درصد WSCs رسید و پس از این دوره مجدداً کاهش یافت (Zhang *et al*., 2016). محققان گیاهان گندم را در یک هفته بعد از گرده‌افشانی در مجاورت دی‌اکسیدکربن نشاندار قرار داده و گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار تجمع WSCs به صورت فروکتان بود. مقدار گلوکز، فروکتوز و ساکارز در مقایسه با فروکتان بسیار اندک بود و در طول مدت ذخیره‌سازی غلظت آن‌ها ثابت و یا کم شد (Winzeler *et al*., 1990). اما در پژوهشی دیگر، ترکیب WSCs در ساقه گندم از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی دانه مطالعه و گزارش گردید که ساکارز مهم‌ترین قند ذخیره شده در اندام‌های رویشی بود و فروکتان، فروکتوز و گلوکز در رتبه‌های بعدی بودند. نکته جالب توجه این بود که مقادیر قابل توجهی از قند مالتوز هم در اندام‌های رویشی بخصوص ساقه وجود داشت و مقدار این قند از گرده‌افشانی گیاه تا رسیدگی فیزیولوژیک تغییری نکرد (Takahashi *et al*., 2001).

تجمع نیتروژن، املاح و نشاسته در ساقه گندم

نیتروژن در فرم پروتئین و آمینواسیدها تا زمان گرده‌افشانی در اندام‌های سبز گیاه از جمله برگ و ساقه ذخیره شده و در طول پر شدن دانه منتقل می‌شود (انتقال مجدد نیتروژن). گیاه گندم تا زمان گرده‌افشانی، ۱۰۰-۹۰ درصد نیتروژن مورد نیاز خود را جذب می‌کند. اشاره شده است که انتقال مجدد نیتروژن به صورت مجزا از انتقال مجدد کربوهیدرات و در فاز اول رشد دانه‌ها (تشکیل سلول‌های آندوسپرمی دانه) صورت می‌گیرد (Papakosta and Garianas, 1991). علی‌رغم اینکه عنوان شده است یک رابطه منفی بین غلظت کربوهیدرات و نیتروژن در اندام هوایی وجود داشته و افزایش در غلظت کربوهیدرات‌های محلول ساقه باعث کاهش در غلظت نیتروژن می‌شود (Hoogmoed and Sadras, 2016)، ولی تحقیق اخیر که بر روی ۲۴ رقم گندم انجام شد، نشان داد در تعدادی از ارقام پرعملکرد و با ذخایر بالای کربوهیدرات‌های ساقه، کیفیت و مقدار پروتئین دانه نیز بالا بود (Huang *et al*., 2020). این امر نشان می‌دهد که اصلاح ارقام با ذخایر بالای قند و نیتروژن در اندام‌های رویشی ممکن است.

انتقال مجدد املاح از اندام‌های رویشی ممکن است منبع اصلی تأمین این مواد برای دانه‌ها محسوب شود. ولی مقدار مشارکت این مواد در دانه در مقایسه با کربوهیدرات‌های محلول ناچیز می‌باشد (Gebbing *et al*., 1998). در ارتباط با نشاسته نیز بیشتر محققان اعتقاد دارند که میزان تجمع آن در ساقه ناچیز می‌باشد. به عنوان مثال، پژوهش‌گران تجمع نشاسته و کربوهیدرات‌های محلول را بطور جداگانه در میانگره‌های مختلف گندم مطالعه کرده و اشاره کردند که حداکثر مقدار نشاسته در میانگره‌ها، ۰/۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود، درحالی‌که غلظت کربوهیدرات‌های محلول به‌طور متوسط به ۴۰۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک رسید (Scofield *et al*., 2009).

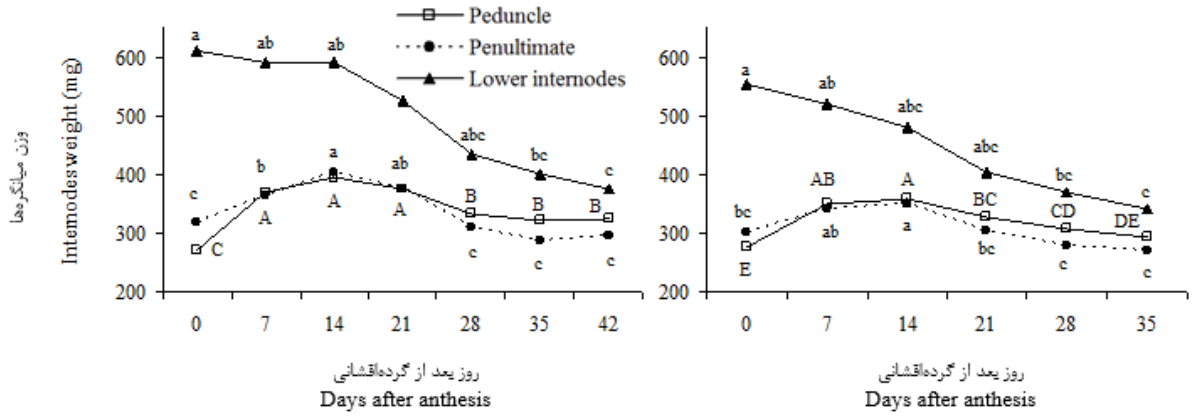
1 - Feed back effects

2- Water Soluble Carbohydrates

زمان و مقدار تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌های ساقه

تجمع ذخایر در میانگره‌های مختلف تقریباً در انتهای رشد طولی آن میانگره یعنی زمانی که میانگره بالای آن به سرعت در حال طویل شدن است، انجام می‌شود (Schnyder, 1993). این بدین معنی است که طول دوره تجمع در میانگره‌های پایینی ساقه بیشتر از میانگره‌های بالایی می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که در شرایط مطلوب محیطی (آب و هوای معتدل، آبیاری و عدم وجود بیماری و آفت) تجمع WSCs در ساقه گندم تا ۲۵-۱۰ روز بعد از گرده‌افشانی ادامه پیدا می‌کند. بدین معنی که در این دوره حداکثر مقدار WSCs در میانگره‌های ساقه دیده می‌شود. (Blum, 1998). البته حداکثر تجمع مواد فتوسنتزی بسته به رقم و میانگره ساقه ممکن است در زمان‌های متفاوتی دیده شود. در تحقیقی دو ساله که بر روی ۸۱ رقم از گندم‌های ایرانی در شرایط فاریاب و تنش خشکی آخر فصل رشد انجام شد، گزارش گردید ارقام مختلف گندم در زمان‌های مختلفی به حداکثر وزن ساقه رسیدند. ولی میانگین ارقام مورد مطالعه نشان داد که تحت شرایط آبی و تنش خشکی میانگره‌های زیرین در زمان گرده‌افشانی و میانگره پدانکل و پنالتی‌میت در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی به حداکثر وزن خود رسیدند (شکل ۲) (Joudi, 2009).

در ارتباط با مقدار تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌های ساقه، گزارشات متفاوتی توسط محققین مختلف ارائه شده است. تعدادی از محققین بیان کرده‌اند که در گیاه گندم بالاترین میانگره ساقه (پدانکل) بیشترین وزن و در نتیجه بیشترین ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی را دارد (Wardlaw and Willenbrink, 1994; Thapa *et al.*, 2021). در مقابل تعدادی دیگر بر این باورند که در زمان حداکثر بودن محتوای WSCs در ساقه، میانگره ماقبل آخر (پنالتی‌میت) معمولاً ذخایر بیشتری را در مقایسه با سایر میانگره‌ها دارد. علت این امر غلظت بالای WSCs در این میانگره بیان شد (Schnyder, 1993). در این راستا، در تحقیقی که در کالیفرنیا آمریکا و بر روی یازده رقم گندم با خصوصیات متفاوت انجام شد، گزارش گردید در شرایط فاریاب و تنش خشکی بیشترین ذخیره‌سازی و انتقال مجدد مربوط به میانگره‌های زیرین بوده و پدانکل و پنالتی‌میت در رتبه‌های بعدی بودند (Ehdaie *et al.*, 2006 a,b). همچنین در خصوص گندم‌های ایرانی چنانچه در شکل ۲ مشخص است، در زمان حصول حداکثر وزن، میانگین وزن میانگره‌های زیرین هم در شرایط آبی و هم در شرایط تنش خشکی تقریباً یک و نیم برابر میانگین وزن میانگره‌های بالایی می‌باشد. نکته جالب توجه اینکه تفاوت قابل توجهی در بین میانگین وزن پدانکل و پنالتی‌میت در بعد از گرده‌افشانی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۲- تغییرات در وزن میانگره‌های مختلف ساقه گندم تحت شرایط فاریاب (سمت چپ) وتنش خشکی (سمت راست). هر نقطه، میانگین ۸۱ رقم گندم در طی دو سال زراعی می‌باشد. میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. داده ها از Joudi (2009) گرفته شده‌اند.

Figure 2- Changes in different internodes weight (mg) of wheat grown under irrigation (left-hand) and drought stress (right-hand) conditions. Each point represents the mean value of 81 cultivars across 2 years. Means followed by the same letter do not differ at 0.05 probability level. Data taken from Joudi (2009).

اثر عوامل مختلف بر ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در ساقه

تجمع مواد فتوسنتزی و پتانسیل ذخیره‌سازی در ساقه گندم، وابسته به رقم و شرایط محیطی می‌باشد. در ارتباط با رقم، پتانسیل ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها در میانگره‌های ساقه گندم، توسط طول و چگالی وزنی میانگره‌ها (نسبت وزن میانگره به طول آن) تعیین می‌شود (Blum, 1998; Ehdaei *et al*., 2006 a). با توجه به تفاوت معنی دار ارقام گندم از نظر طول و چگالی وزنی میانگره‌ها، تفاوت در بین ارقام از نظر مقدار ذخیره‌سازی در ساقه قابل انتظار می‌باشد. نتایج تحقیق دو ساله بر روی ۸۱ رقم گندم مشخص کرد در شرایط آبی، حداکثر وزن پدانکل از ۳۰۲ تا ۶۰۳ میلی‌گرم، پنالتی‌میت از ۲۹۴ تا ۵۷۸ میلی‌گرم و میانگره‌های زیرین از ۴۲۸ تا ۹۶۵ میلی‌گرم متفاوت بود. هم‌چنین در شرایط تنش خشکی، حداکثر وزن پدانکل بین ۲۶۶-۵۷۴ میلی‌گرم، پنالتی‌میت بین ۵۲۱-۲۰۹ میلی‌گرم و میانگره‌های زیرین بین ۸۴۰-۳۵۶ میلی‌گرم متغیر بود (Joudi, 2009). در پژوهشی دیگر، تعداد ۲۲ ژنوتیپ گندم استرالیا در ۶ مکان مختلف با شرایط محیطی متنوع مطالعه و گزارش گردید که غلظت WSCs از ۲۱۳- ۱۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک متفاوت بود که نشان‌دهنده امکان تغییر پتانسیل ذخیره‌سازی در کارهای اصلاحی می‌باشد (Ruuska *et al*., 2006).

به نظر می‌رسد ارقام گندم با ارتفاع کوتاه، پتانسیل پایینی از ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی را در ساقه داشته باشند. در این راستا گزارش شده است که با وارد شدن ژن‌های پاکوتاهی *Rht1* و *Rht2* در گندم، مقادیر ذخیره‌سازی به ترتیب ۳۵ و ۲۱ درصد کاهش یافته است (Borrell *et al*., 1993). علی‌رغم این، در گندم‌های جدید انگلستان مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد بیشتر از گندم‌های پابلند قدیمی بود (Shearman *et al*., 2005).

شرایط محیطی دومین فاکتور تأثیرگذار بر روی مقدار ذخیره‌سازی قندها در ساقه گندم می‌باشد. در شرایط مطلوب رشدی (از نظر دما، رطوبت و مواد معدنی) مقدار فتوسنتز گیاه بالا بوده و بخشی از آن ذخیره می‌شود. زمانی که فتوسنتز گیاه در طی طویل شدن ساقه با شرایط تنش مواجه می‌شود، مقدار ذخیره‌سازی در میانگره‌ها کاهش می‌یابد (Inoue *et al*., 2004). نتایج یک پژوهش در گیاه گندم نشان داد، تحت شرایط آبی و تنش خشکی مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب موجود در ساقه، به ترتیب ۱۰۴۷ و ۶۴۱ میلی‌گرم بود (Davidson and Chevalier, 1992).

آغاز انتقال مجدد و نحوه رسیدن پیام برای تجزیه ذخایر ساقه

انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای ساقه، زمانی اتفاق می‌افتد که فتوسنتز جاری جواب‌گوی نیاز دانه‌ها نمی‌باشد (Joudi, 2022b). اما نحوه رسیدن پیام برای تجزیه ذخایر ساقه و آغاز انتقال مجدد به روشنی مشخص نبوده و متأسفانه اطلاعات در این زمینه بسیار اندک می‌باشد. در ابتدا، پیشنهاد گردید که محرک‌های بیوشیمیایی مورد نیاز برای شروع انتقال مجدد احتمالاً در برگ‌های در حال زوال و پیر شدن تولید می‌شود (Daniels *et al*., 1982). اما سازوکار (مکانیسم) مذکور، بعداً توسط پژوهش‌گران دیگر رد شد (Bonnet and Incoll, 1993 a,b). این پژوهش‌گران، تیمارهای حذف برگ و حذف خوشه را در گیاه جو اعمال کرده و متوجه شدند که در گیاهان خوشه‌زدایی شده، وزن برگ پرچم و برگ زیر آن به ترتیب ۱۷ و ۳ روز قبل از میانگره‌های ساقه کاهش پیدا کردند. به عبارتی دیگر، شروع انتقال مجدد در اندام‌های برگ و ساقه هیچ هماهنگی نداشت. نکته‌ای دیگر که بدان اشاره گردید، شروع زود هنگام انتقال مجدد در گیاهان سایه‌اندازی شده و دیرهنگام آن در گیاهان خوشه‌زدایی شده بود. بر مبنای این مشاهدات، پیشنهاد گردید که مقدار ساکارز در اندام‌های مختلف و بخصوص ساقه تعیین‌کننده شروع انتقال مجدد می‌باشد. در ارتباط با همین موضوع، تغییرات سطح هورمونی در گندم‌های تنش (خشکی) دیده و فاریاب مورد مطالعه قرار گرفته و مشخص گردید در گندم‌های تنش دیده مقدار ABA بیشتر از فاریاب بوده ولی تفاوتی از نظر هورمون سایتوکنین وجود نداشت. مقدار انتقال مجدد با سطح ABA همبستگی مثبت ولی با سایتوکنین همبستگی منفی داشت. هم‌چنین کاربرد ABA خارجی مقدار انتقال مجدد را افزایش داد. بر پایه این مشاهدات، نتیجه‌گیری گردید که ABA یکی از عوامل مهم تنظیم‌کننده شروع انتقال مجدد می‌باشد (Yang *et al*., 2003). در پژوهشی دیگر، اعلام شد که فعالیت آنزیم‌های

فروکتان اگزوهیدرولاز و ساکاروز فسفات سینتاز که از آنزیم‌های مرتبط با انتقال مجدد هستند، همبستگی بالایی با سطح ABA داشت، بطوری‌که کاربرد خارجی ABA، سطح فعالیت این دو آنزیم را افزایش داد (Yang *et al*., 2004). اما نحوه اثر هورمون ABA بر روی فعالیت این آنزیم‌ها مشخص نبوده و نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

اثر عوامل مختلف بر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه

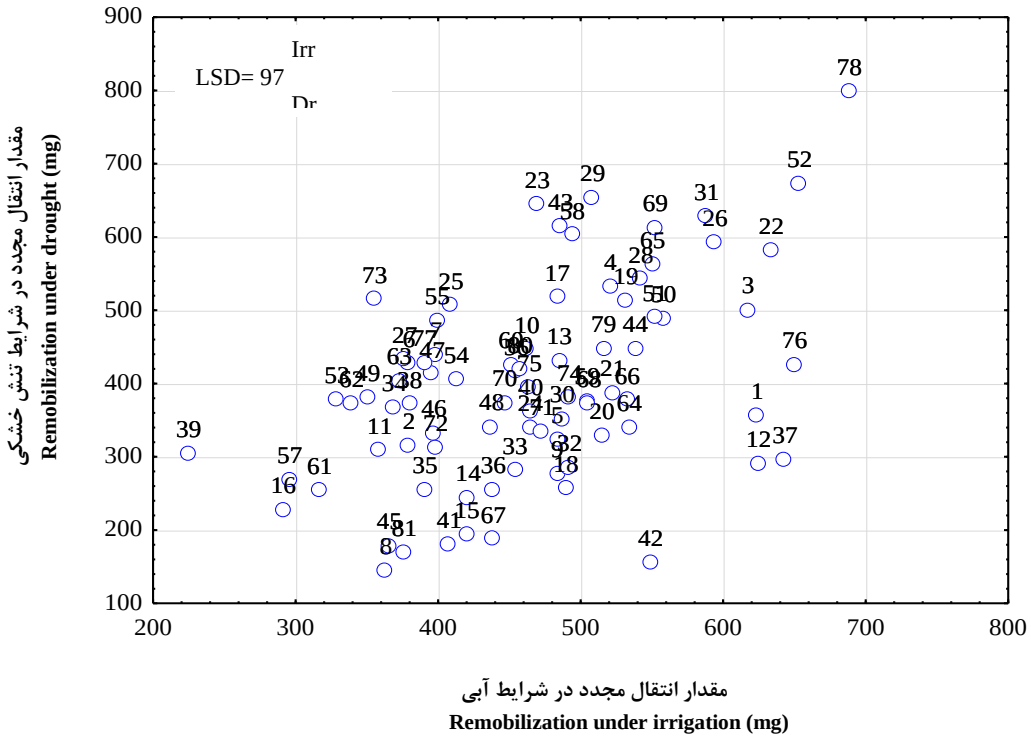
یکی از عوامل اصلی تأثیر گذار بر روی مقدار انتقال مجدد، رقم می‌باشد. در هر رقم، دو فاکتور: ۱- مقدار تجمع مواد فتوسنتزی در قبل و بعد از گرده‌افشانی ۲- کارایی انتقال مجدد، تعیین کننده مقدار انتقال مجدد خواهد بود. فاکتور دوم (کارایی انتقال مجدد) توسط قدرت مخزن (یعنی تعداد دانه و وزن دانه در سنبله) تعیین می‌شود (Thapa *et al*., 2021). این بدین معنی است که رابطه بین ذخیره‌سازی و انتقال مجدد رابطه‌ای ساده نبوده و ارقامی از گندم که ذخیره‌سازی بالایی از مواد فتوسنتزی در ساقه داشته باشند، ضرورتاً دارای انتقال مجدد بالا نخواهند بود. در حالی که برخی گزارشات به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد اشاره کرده‌اند، تعدادی دیگر به نبود رابطه بین این دو صفت اذعان نموده‌اند (Vosoghi Rad *et al*., 2021; Ehdaie et *al*., 2006 a,b).

تنش‌های محیطی تأثیر بسیار زیادی بر روی مقدار انتقال مجدد و در نتیجه مشارکت ساقه در پر کردن دانه‌ها دارند. در پژوهشی که بر روی ۱۱ رقم گندم تحت شرایط آبی و تنش خشکی انتهای فصل رشد انجام شد، مشخص گردید تنش خشکی میانگین مقدار انتقال مجدد را در پدانکل افزایش ولی در پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین کاهش داد. زمانی که کل ساقه در نظر گرفته شد، مشخص گردید میانگین انتقال مجدد در شرایط آبی (۵۹۷ میلی گرم) بیشتر از تنش (۵۵۷ میلی گرم) بوده است (Ehdaie *et al*., 2006 a). شکل ۳ مقدار انتقال مجدد از کل ساقه را در ۸۱ رقم از گندم‌های ایران که در طی دو سال تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی در کرج کشت شدند را نشان می‌دهد (Joudi, 2009). مقدار انتقال مجدد از ۲۲۵ تا ۶۸۹ میلی‌گرم تحت شرایط آبی و از ۱۴۵ تا ۷۹۸ میلی‌گرم تحت شرایط تنش خشکی متغیر بود. هم‌چنین پاسخ ارقام از نظر مقدار انتقال مجدد متفاوت از یکدیگر بود. تنش، مقدار انتقال مجدد را در ۲۴ رقم از ۲ تا ۴۵ درصد افزایش و در مابقی ارقام (۵۷ رقم) از ۱ تا ۷۲ درصد کاهش داد (شکل ۳). در ارتباط با تنش شوری، پژوهش‌گران ایرانی در یک آزمایش گلدانی، اثر تیمار شوری (اعمال شده از مرحله گیاهچه‌ای) را بر روی دو رقم مقاوم و حساس گندم مطالعه کرده و سطح فروکتان و مقدار انتقال مجدد آن را در میانگره پنالتی‌میت اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد در شرایط شوری، مقدار فروکتان و انتقال مجدد آن در رقم مقاوم به مراتب بیشتر از رقم حساس بود که نشان می‌دهد رقم مقاوم در طی رشد رویشی و گرده‌افشانی، مقادیر زیادی از فروکتان را در میانگره پنالتی‌میت ذخیره و در مرحله پر کردن دانه با کارایی بالایی از آن استفاده کرده است (Sharbatkhari *et al*., 2016). هم‌چنین اثر تنش گرما در بعد از گرده‌افشانی در ۱۰ رقم گندم رشد یافته در اهواز بررسی و مشخص گردید ارقام مختلف گندم اختلاف معنی‌داری از نظر حداکثر مقدار کربوهیدارت‌های محلول ساقه نشان دادند. تنش گرمایی تأثیر معنی‌داری بر صفت مذکور (حداکثر مقدار کربوهیدارت‌های محلول ساقه) نداشت. در مقابل، تنش گرمایی مقدار و کارایی انتقال مجدد کربوهیدارت‌های محلول ساقه را در کلیه ارقام مورد مطالعه افزایش داد (Mojtabaie Zamani *et al*., 2014).

انتقال مجدد ذخایر قبل و بعد از گرده‌افشانی

برخی از پژوهش‌گران، انتقال مجدد مواد ذخیره شده از اندام‌های رویشی به طرف دانه‌ها را در غلات معتدله به دو قسمت: ۱- انتقال مجدد قبل از گرده‌افشانی ۲- انتقال مجدد بعد از گرده‌افشانی تقسیم می‌کنند (Latiri *et al*., 2013). انتقال مجدد قبل از گرده‌افشانی شامل کربنی است که تمامی آن در قبل از گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی ذخیره شده و به دانه‌ها انتقال یافته است. این نوع انتقال، از تفاضل وزن اندام‌های رویشی (ساقه‌ها) در مرحله گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک محاسبه می‌شود. در این محاسبه، فرض می‌شود که کاهش در وزن خشک اندام‌های رویشی بین گرده‌افشانی و رسیدگی به خاطر انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای می‌باشد. مقدار مشارکت این نوع ذخایر در پر کردن دانه و وزن آن‌ها، وابسته به مقدار انتقال

مواد بین گرده‌افشانی و رسیدگی و نیز کارایی انتقال مواد به دانه‌ها می‌باشد (Bonnet and Incoll, 1993 a). گزارش شده است که وابستگی دانه‌ها به انتقال مجدد قبل از گرده‌افشانی در شرایط تنش بیشتر از شرایط مطلوب می‌باشد. وجود تنش خشکی در بعد از گرده‌افشانی باعث زوال و پیری زودهنگام برگ‌ها و لندام‌های سبز و در نتیجه کاهش فتوسنتز جاری می‌شود (Inoue *et al.*, 2004).



شکل ۳- مقدار انتقال مجدد ماده خشک (میلی‌گرم) از ساقه اصلی در ۸۱ رقم گندم تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی. هر نقطه، میانگین یک رقم گندم در طی دو سال زراعی می‌باشد. داده‌ها از Joudi (2009) گرفته شده‌اند. LSD: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

Figure 3- Amount of dry matter remobilization (mg) in main stem of 81 wheat cultivars grown under irrigation and drought stress conditions. Each point represents the mean value of one cultivar across 2 years. Data taken from Joudi (2009). LSD: Least Significant differences at 5% probability level.

در انتقال مجدد کربن در بعد از گرده‌افشانی، کربن به صورت موقتی در بعد از گرده‌افشانی و ابتدای رشد دانه (در ساقه‌ها) ذخیره شده و در مراحل انتهایی رشد، به دانه‌ها منتقل می‌شود. برای محاسبه آن، حداکثر وزن خشک (یا محتوای کربوهیدرات) ساقه یا میانگره را که در بعد از گرده‌افشانی بدست می‌آید، از وزن (یا محتوای کربوهیدرات) آن ساقه یا میانگره در مرحله گرده‌افشانی کسر می‌کنند (Joudi and Van den Ende, 2018). لذا ضروری است در بعد از گرده‌افشانی، نمونه‌گیری از ساقه یا میانگره به صورت مرتب و با فواصل زمانی مشخص (مثلاً هر ۱۰-۷ روز یک‌بار) تا حصول حداکثر وزن ساقه یا میانگره ادامه یابد (Bonnet and Incoll, 1992).

مقدار مشارکت انتقال مجدد در شکل‌گیری وزن دانه‌ها

در ارتباط با مقدار مشارکت ذخایر ساقه در شکل‌گیری وزن دانه‌ها، گزارشات مختلفی وجود دارد (جدول ۱). در این مطالعات، وزن دانه‌های ساقه اصلی (عملکرد ساقه اصلی) یا ساقه اصلی به همراه پنجه‌ها (عملکرد بوته) در زمان رسیدگی گیاه اندازه‌گیری و مقدار کاهش در وزن ساقه اصلی یا ساقه اصلی به همراه پنجه‌ها را به عنوان درصدی از عملکرد ساقه اصلی یا عملکرد بوته در نظر می‌گیرند. بر این اساس، مقدار مشارکت انتقال مجدد از صفر تا صد درصد متغیر بود (جدول ۱). به نظر می‌رسد مقدار مشارکت ذخایر ساقه در شرایط

نامطلوب محیطی مانند شـــرایط دیم یا تنش خشـــکی افزایش می‌یابد (جدول ۱). در پژوهشـــی مشـــخص گردید که میانگین مقدار مشـــارکت ذخایر ســـاقه (در بین ۱۱ رقم گندم) در شـکل‌گیری عملکرد دانه ساقه اصـلی برای شـرایط آبی و تنش خشـــکی به ترتیب ۲۶/۶ و ۴۱/۳ درصـــد بود (Ehdaie *et al.* 2006 a). هم‌چنین گزارش گردید میانگین مقدار مشـــارکت ساقه (در بین ۸۱ رقم گندم) در عملکرد دانه تحت شـرایط آبی و تنش خشـکی به ترتیب ۳۳ و ۴۰ درصـد بود (Joudi, 2009) (جدول ۱).

یکی از دلایل اصـلی متفاوت بودن درصـد مشـارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه، تغییرات وزن دانه می‌باشد. برای محاسبه مقدار مشارکت، مقدار کاهش در وزن ساقه را به عنوان درصدی از وزن دانه محاســبه می‌کنند. در صــورتی که مقدار کاهش در وزن ساقه تغییر نکند ولی وزن دانه بنا به شرایط متغیر محیطی تغییر کند، مقدار مشـارکت نیز تغییر خواهد کرد. کاربرد ارقام با خصـوصـیات متفاوت، شـرایط آزمایشـی مختلف و نیز روش‌های متفاوت برای ارزیابی مقدار انتقال مجدد از دیگر دلایل متفاوت بودن مقدار مشـــارکت ذخایر ســـاقه در عملکرد دانه می‌باشـــد (Blum, 1998).

جدول ۱- مقدار مشارکت ذخایر ساقه گندم (درصد) در پر کردن دانه که توسط محققین مختلف اندازه‌گیری شده است.

Table 1- Contribution (%) of stem reserves to grain yield of wheat measured by different researchers

محققان Researchers	تعداد رقم آزمایش شده Number of tested cultivars	محدوده مشارکت Contribution range (%) — شرایط آزمایش Experimental conditions			
		فاریاب Irrigation	تنش خشکی Drought	دیم Rained	گلخانه Greenhouse
Ehdaie and Waines, 1996	8	23-56	4-65	-	9-18
میانگین Mean		29	46		13
Shakiba *et al*., 1996	2	4.5-7	3.8-4.7	-	-
میانگین Mean		5.7	4.2		
Inoue *et al*., 2004	2	0-56	-	56-109	-
میانگین Mean		28		82	
Uzik and Zofajova, 2007	10	0-14	-	-	-
میانگین Mean		7.1			
Ehdaie *et al*., 2008	11	11.4-47.2	28.6-53.5	-	-
میانگین Mean		26.6	41.3		
Joudi, 2010	81	16-82	16-78	-	-
میانگین Mean		33	40		
Bahraini *et al*., 2010	18	21-83	61-153	-	-
میانگین Mean		44	94		
Ardalani *et al*., 2015	4	15.9-22.6	26.6-54	-	-
میانگین Mean		21	26		

رابطه بین انتقال مجدد و عملکرد دانه

درصورتی‌که کاهش در وزن ساقه به علت انتقال ذخایر ساقه به دانه‌ها باشـــد، یک رابطه مثبتی بین انتقال مجدد و عملکرد دانه قابل انتظار است (Ehdaie and Waines, 1996). علی‌رغم

این، زمانی که گزارشات محققان مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، یک رابطه مشخصی بین انتقال مجدد و عملکرد دانه مشاهده نمی‌گردد. محققان استرالیایی رابطه بین انتقال مجدد و عملکرد دانه را در ۱۰ رقم گندم در سه مکان مختلف بررسی کرده و گزارش کردند در یک مکان، رابطه منفی و معنی‌داری بین انتقال مجدد و عملکرد دانه مشاهده شد. در دو مکان دیگر نیز رابطه بین این دو صفت منفی بود، هر چند که از نظر آماری معنی‌دار نگردید (Flood *et al*., 1995). در مطالعه‌ای دیگر، تعداد ۸ رقم گندم در شرایط آبی و تنش خشکی انتهای فصل بررسی شده و مشخص گردید در شرایط آبی، بین عملکرد دانه و کاهش در وزن ساقه در بعد از گرده‌افشانی یک رابطه منفی وجود داشت. درصورتی‌که در شرایط تنش خشکی، رابطه مشخصی بین صفات مذکور مشاهده نشد (Ehdaie and Waines, 1996). در مقابل، پژوهش‌گران دیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین انتقال مجدد و عملکرد دانه گزارش کرده‌اند (Sun *et al*., 2021; Huang *et al*., 2020; Cruz-Aguado *et al*., 2000). در تحقیقی دو ساله که بر روی ۴۴ رقم گندم یوگوسلاوی و تحت شرایط معمولی و تیمار برگ‌زدایی انجام شد، گزارش گردید که رابطه بین عملکرد دانه و میزان مشارکت انتقال مجدد در پر کردن دانه منفی بود. به عبارت دیگر در ارقام با عملکرد دانه بالا، مقدار مشارکت انتقال مجدد پایین و برعکس در ارقام با عملکرد دانه پایین، مقدار مشارکت بالا بود. در ادامه، عنوان شد که در ارقام با عملکرد دانه بالا، سهم مشارکت فتوسنتز جاری و فتوسنتز سنبله در پر کردن دانه بیشتر از سهم انتقال مجدد بوده و همین امر باعث منفی شدن رابطه بین این دو صفت (انتقال مجدد و عملکرد دانه) می‌گردید (Dodig *et al*., 2017). در پژوهشی دیگر که بر روی ۸۱ رقم از گندم‌های ایران با دو تاریخ کاشت معمولی و کشت تأخیری در دشت مغان انجام شد، مشخص گردید رابطه مشخصی بین انتقال مجدد و عملکرد دانه وجود ندارد. علت این امر، تنوع ارقام از نظر صفات زراعی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک بیان شد. در بین ارقام مطالعه شده، ارقامی با انتقال مجدد یکسان ولی عملکرد دانه متفاوت و یا برعکس (ارقامی با عملکرد یکسان ولی انتقال مجدد متفاوت) وجود داشت. این امر باعث می‌شد که همبستگی بین انتقال مجدد ذخایر از ساقه و عملکرد دانه معنی‌دار نشود (Joudi and Van den Ende, 2018). نتایج پژوهش اخیر بر روی ۱۸ رقم گندم در شرایط آبی نشان داد ارتباط مشخصی بین انتقال مجدد از میانگره‌های مختلف ساقه با عملکرد دانه ساقه اصلی و یا وزن هزار دانه وجود ندارد، در مقابل همبستگی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه و سرعت رشد خطی دانه مثبت و معنی‌دار بود (Joudi, 2022b). بنابراین، نبود ارتباط معنی‌دار بین انتقال مجدد و وزن دانه یا عملکرد دانه نشان‌دهنده غیر مؤثر بودن انتقال مجدد در تشکیل عملکرد دانه نمی‌باشد.

تغییرات ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در طی زمان

مطالعه تغییرات یک صفت در طی روند اصلاحی از طریق مطالعات گذشته‌نگر[1] امکان‌پذیر است. در این مطالعات، ارقامی از یک گیاه که در طی دهه‌های مختلف، اصلاح و معرفی شده‌اند در کنار یکدیگر و در یک محیط مشخص کشت و بدین طریق تغییرات آن صفت از طریق روابط رگرسیونی بررسی می‌شود. تحت این شرایط، چنان‌چه مقدار یک صفت در ارقام جدید و پر عملکرد (در قیاس با ارقام قدیمی و کم عملکرد) بالا باشد، نشان می‌دهد آن صفت در طی روند اصلاحی تأثیری مثبت در افزایش عملکرد داشته و بنابراین در فعالیت‌های اصلاحی در آینده اهمیت دارد. اما درصورتی‌که مقدار صفت مذکور در ارقام جدید و پرعملکرد، کمتر از ارقام قدیمی باشد نشان می‌دهد که صفت مذکور تأثیر زیادی در افزایش عملکرد نداشته است (Joudi *et al*., 2014).

علی‌رغم اینکه روند تغییرات بیشتر صفات زراعی و فیزیولوژیک گندم در طی اصلاح آن مورد مطالعه قرار گرفته است، ولی چنین اطلاعاتی در خصوص میزان ذخیره‌سازی و انتقال مجدد اندک است. برخی از محققین بر این باورند که گندم‌های وحشی و قدیمی با کارایی بالایی مواد ذخیره شده در ساقه را برای پر کردن دانه استفاده می‌کنند (Blum, 1998). ولی تحقیقی که بر روی گندم‌های انگلستان انجام شد، مشخص کرد مقدار کربوهیدرات‌های محلول تجمع یافته در ساقه گندم‌های جدید بیشتر از انواع قدیمی بود (Shearman *et al*., 2005). هم‌چنین بررسی کربوهیدرات‌های محلول ساقه در دو رقم قدیمی و جدید گندم که با استفاده از کربن ۱۴ انجام شد،

[1]- retrospective studies

مشـــخص کرد که رقم جدید و پر عملکرد، کارایی بالایی در اسـتفاده از ذخایر سـاقه داشـت (Pheloung and Siddique, 1991). اخیراً محققان چینی تعداد ۸ رقم گندم که در فاصـــله سال‌های ۱۹۴۰ تا ۲۰۱۰ معرفی شده بودند را در شرایط دیم و نیمه دیم ایالت شـانگزی کشـت کرده و گزارش کردند علی‌رغم اینکه ارتفاع سـاقه و حداکثر وزن سـاقه (در بعد از گرده‌افشـانی) در ارقام جدید کمتر بود، ولی همین ارقام میزان انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد بالایی در قیاس با ارقامی قدیمی داشـــتند. در این تحقیق، تفاوت معنی‌داری بین ارقام قدیمی و جدید از نظر میزان مشارکت ذخایر ساقه در تشکیل عملکرد دانه مشاهده نشـد (Sun *et al*., 2021). در ارتباط با گندم‌های ایرانی، نتایج مطالعات در دشت مغان نشان داد ارقام قدیمی و جدید گندم از نظر وزن میـانگره‌های پدانکل و پنـالتی‌میت در ۱۶ روز بعد از گرده‌افشـــانی تفاوت معنی‌داری نشـــان ندادند، درحالی‌که وزن میانگره‌های زیرین و نیز وزن کل ســـاقه در گندم‌های قدیمی، اندکی بیشـتر از گندم‌های جدید بود. در ادامه تحقیق، مشـخص گردید ارقام قدیمی و جدید گندم از نظر مقدار انتقال مجدد و کارایی انتقال مجدد در میانگره‌های مختلف و نیز کل ســـاقه تفاوت معنی‌داری نشـان ندادند. ولی زمانی که مقدار مشـارکت میانگره‌ها در پر کردن دانه مورد بررســی قرار گرفت، مشـخص شد که مقدار مشارکت میانگره‌های زیرین ساقه در پر کردن دانه در گندم‌های قدیمی بیشـتر از جدید می‌باشـد (Joudi, 2017). علت این امر (علی‌رغم مســـاوی بودن مقدار انتقال مجدد در گندم‌های قدیمی و جدید) احتمالاً پایین بودن عملکرد دلنه در بوته یا ســاقه اصـلی (ارقام قدیمی) بوده که در محاســبه مقدار مشارکت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پیشنهادات برای تحقیقات آتی

علی‌رغم اینکـه مـدت زمـان طولانی اســـت کـه اهمیـت ذخیره‌سازی و انتقال مجدد کربن در اندام‌های رویشـی گراس‌ها و از جمله گندم شـناخته شـده و کارهای مختلفی در این زمینه انجام شـده اسـت، ولی هم‌چنان مشـاهده می‌شـود که محققان مختلف در نقاط متفاوت دنیا، روی این موضـوع فعالیت می‌کنند که نشان‌دهنده جایگاه مهم این صفت در اصلاح ارقام با عملکرد بالا و مقاوم به تنش‌های محیطی است.

ارزیابی ارقام گندم از نظر میزان ذخیره‌سازی و انتقال مجدد معمولاً به دو طریق اندازه‌گیری تغییرات وزن خشـــک ســـاقه و انـدازه‌گیری میزان قنـدهـای محلول ســـاقـه انجـام می‌گردد (Ehdaie *et al*., 2006 a,b). در طی تحقیقات مختلف، رابطه بسـیار نزدیکی بین نتایج وزن خشـک سـاقه و کربوهیدارت‌های ساقه مشاهده شده است (Ehdaie *et al*., 2008; Xue *et al*., 2009). پژوهش‌گران بر این باورند زمانی که تعداد ارقام مورد ارزیابی بالا باشد، روش اندازه‌گیری تغییرات وزن خشک ساقه به روش انـدازه‌گیری کربوهیـدرات محلول ارجحیـت دارد. آن‌هـا اعتقاد دارند روش اول (اندازه‌گیری وزنی) ساده بوده، سرعت کار در آن بـالا و نیـاز بـه هزینـه کمی دارد درحـالی‌کـه روش دوم زمان‌بر، نیاز به وسـایل آزمایشـگاهی و صـرف هزینه بالایی دارد (Xue *et al*., 2009).

در تعـدادی از تحقیقـات کـه اقـدام بـه انـدازه‌گیری میزان ذخیره‌ســـازی و انتقال مجدد کرده‌اند، مشـــاهده می‌شـــود که اندازه‌گیری‌ها تنها بر روی ساقه و یا میانگره‌های آن بوده و غلاف برگ موجود بر روی میانگره‌های ساقه در نظر گرفته نشده است (Ehdaie *et al*., 2006 a,b). محققان کشـــور یوگوســـلاوی با پژوهش دو ساله بر روی ۴۴ رقم گندم عنوان کردند در سال اول آزمـایش، غلظت کربوهیـدرات‌های محلول در غلاف برگ پرچم (غلاف مرتبط با پدانکل) در ۱۰ روز بعد از گرده‌افشانی بیشـتر از خود پدانکل بود ولی در ســـال دوم تفاوتی بین آن‌ها مشـــاهده نگردید (Dodig et al., 2017). این محققان افزودند زمانی که رشـــد و طویل شـــدن پدانکل به دلیل شـــرایط تنش در بعد از گرده‌افشـــانی متوقف شـــود، مقادیر زیادی از کربوهیدرات‌ها در غلاف برگ پرچم ذخیره می‌شـــود. در ادامـه همین تحقیق، مشـخص گردید مقدار مشـارکت غلاف برگ پرچم در پر کردن دانه و نیز کارایی انتقال مجدد از آن، بیشـــتر از میانگره پدانکل بود. این نتایج پیشـنهاد می‌کند که ارزیابی غلاف برگ‌ها در کنار ســـاقه می‌تواند برآورد بهتری از ذخیره‌ســـازی و انتقال مجدد را ارائه دهد.

در بیشـتر تحقیقات مرتبط با انتقال مجدد، گیاهان گندم در شـــرایط مزرعه کشـــت شـــده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اما ممکن اسـت کشـت در گلدان هم مورد توجه قرار گیرد. اگر چه شـرایط گلدان برای ارزیابی رشـد ریشـه‌ها و حتی بررسـی انتقال مجدد از ریشـه‌ها که کمتر مورد توجه قرار گرفته اسـت، مطلوب می‌باشـد (Uzik and Zofajova, 2007)، اما احتمالاً برای رشد

مطلوب گیاهان (رسیدن به حداکثر مقدار رشد)، محیط کوچک گلدان، مناسب نباشد. هم‌چنین گیاهان رشد یافته در گلدان، وابستگی کمتری به انتقال مجدد از اندام‌های رویشی خود داشته و بیشتر تمایل دارند که از فتوسنتز جاری برای رشد و نمو دانه‌ها استفاده نمایند (Bonnet and Incoll, 1993 b).

اعمال صحیح تنش خشکی یا گرمایی از چالش‌های دیگر در مطالعات مربوط به انتقال مجدد است. زمانی که ارقام مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند به احتمال زیاد تفاوت‌هایی از نظر زمان گرده‌افشانی در بین آن‌ها مشاهده می‌شود. تحت این شرایط، تنش خشکی (آخر فصل رشد) اعمال شده برای ارقام کشت شده یکسان نبوده و ارقام با گل‌دهی زودهنگام و دیرهنگام، مدت و یا شدت یکسانی از تنش را تجربه نخواهند کرد. چنین امری در اعمال تنش گرمایی نیز دیده شده و ارقام با گل‌دهی زودهنگام کمتر در معرض تنش گرمایی (اعمال شده با تاریخ کاشت دیرهنگام) قرار خواهند گرفت. استفاده از ارقام با فنولوژی و زمان گل‌دهی کم و بیش یکسان، مشکل مذکور را کمتر کرده و مقدار اشتباه در ارزیابی را به حداقل می‌رساند. استفاده از مواد شیمیایی خشک کننده مانند سدیم‌کلرات یا منیزیم‌کلرات نیز توسط محققان پیشنهاد شده است (Blum, 1998). این مواد شیمیایی باعث از بین رفتن کلروفیل اندام‌های سبز و در نتیجه توقف فتوسنتز گیاه شده ولی تأثیری بر رشد دانه‌ها ندارد. با از بین رفتن فتوسنتز جاری، گیاه از ذخایر ساقه برای پر کردن دانه‌ها استفاده می‌کند. به این ترتیب، مواد شیمایی خشک‌کننده در بعد از گرده‌افشانی (و بعد از به حداکثر رسیدن ذخایر ساقه) به صورت جداگانه بر روی ارقام کشت شده پاشیده شده و در هنگام رسیدگی، مقدار انتقال مجدد آن اندازه‌گیری می‌شود. حذف پهنک برگ‌ها روش دیگری است که محققان برای شبیه‌سازی شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌دهند (Dodig *et al*., 2017). در این حالت پنهک برگ‌ها در بعد از گرده‌افشانی، توسط دست حذف شده اما غلاف برگ‌ها هم‌چنان در روی ساقه حفظ می‌شوند. اگر چه اعمال تیمارهایی مانند مواد شیمیایی خشک‌کننده و یا حذف پهنک برگ شرایط تنش را شبیه‌سازی می‌کنند، اما هیچ کدام از آن‌ها نمی‌توانند شرایط واقعی تنش خشکی یا گرمایی را برای گیاهان ایجاد کنند. ضروری است اثر چنین تیمارهایی با شرایط واقعی تنش سنجیده شده و در صورت مشاهده ارتباط نزدیک بین آن‌ها، اقدام به استفاده از آن‌ها گردد.

صفات مختلف مورفولوژیکی ساقه از جمله وزن میانگره، طول میانگره، وزن مخصوص یا چگالی میانگره (نسبت وزن میانگره به طول میانگره) به عنوان شاخص‌هایی از مقدار ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در ساقه مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. تحقیقات نشان داده است رابطه نزدیکی بین وزن مخصوص میانگره‌ها، مقدار انتقال مجدد و عملکرد دانه بخصوص در شرایط تنش مشاهده می‌گردد (Joudi *et al*., 2010; Joudi *et al*., 2017; Sallam *et al*., 2015). هم‌چنین تعدادی دیگر از محققان، توپر بودن ساقه[1] را که از تقسیم قطر کل میانگره (حفره درون میانگره + دیواره میانگره) به قطر حفره درون میانگره محاسبه می‌شود، صفت مناسبی در مطالعات انتقال مجدد دانسته‌اند (Saint Pierre *et al*., 2010). این پژوهشگران بر این باورند ارقامی از گندم که دارای ساقه‌های توپر هستند مقاوم به ورس، بیماری‌های ساقه و تنش‌های محیطی بوده و بنابراین پتانسیل عملکرد بالایی از خود نشان می‌دهند. با توجه به موارد مذکور و نیز ساده بودن اندازه‌گیری صفات وزن مخصوص ساقه و توپر بودن ساقه، پیشنهاد می‌گردد صفات مذکور در مطالعات مربوطه مورد توجه قرار گیرند.

در نهایت، زمانی که تعداد زیادی رقم در آزمایش وجود داشته باشند، تجزیه همبستگی ساده بین انتقال مجدد و عملکرد دانه منعکس‌کننده رابطه واقعی بین این دو پارامتر نمی‌باشد. مثلاً منفی بودن همبستگی بین این دو صفت به معنای بی‌تأثیر بودن انتقال مجدد بر روی عملکرد دانه نیست. در این راستا محققان گزارش کردند ارقامی از گندم که در آن‌ها مقدار مشارکت انتقال مجدد در پر کردن دانه بالا بود، عملکرد پایینی داشتند (Dodig *et al*., 2017). این محققان بیان داشتند که در ارقام با عملکرد دانه بالا، نقش فتوسنتز جاری گیاه (فتوسنتز سنبله و برگ‌ها) در پر کردن دانه بیشتر از نقش ذخایر ساقه بود. این امر موجب می‌شد که همبستگی بین انتقال مجدد و عملکرد دانه منفی گردد. در این راستا، بررسی رابطه همبستگی بین ارقام با رتبه بالا و پایین در انتقال مجدد به صورت جداگانه و نه همه ارقام (مثلاً رابطه ۱۰ رقم گندم با انتقال مجدد بالا و یا ۱۰ رقم گندم با انتقال مجدد پایین)،

1 - stem solidness

استفاده از چندین روش مختلف آماری برای تجزیه و تفسیر نتایج و نیز ارزیابی سایر صفاتی که بر روی انتقال مجدد تأثیرگذار هستند (مثلاً هر چه تعداد دانه بیشتر باشد نیاز برای فتوسنتز جاری و انتقال مجدد بیشتر خواهد شد) می‌توانند کمک شایانی در تفسیر بهتر نتایج داشته باشند (Śeślija *et al*., 2017).

References

Al-Sheikh Ahmed, S., Zhang, J., Farhan, H., Zhang, Y., Yu, Z., Islam, S., Chen, J., Cricelli, S., Foreman ,A., Van den Ende, W., Ma, W. and Dell, B., 2020. Diurnal changes in water soluble carbohydrate components in leaves and sucrose associated TaSUT1 gene expression during grain development in wheat. *International Journal of Molecular Science*, 21, 8276. **doi: 10.3390/ijms21218276**

Ardalani, S., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M.E. and Abdoli, M., 2015. Evaluation of grain yield and its relationship with remobilization of dry matter in bread wheat cultivars under water deficit stress at the post anthesis. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, *3*(2), PP.173–203 [In Persian].

Bahraini, V., Ghaemi, A.R., Nazeri, M. Taheri, G., 2010. Remobilization in winter and facultative wheat genotypes under optimal and late season water limited conditions. *Iranian Journal of Field Crops research*, *8*(2), PP.244–251 [In Persian].

Blum, A., 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica*, *100*, PP.77–83. **doi: 10.1023/a:1018303922482**

Bonnet, G.D. and Incoll, L.D., 1992. The potential pre-anthesis and post-anthesis contributions of stem internodes to grain yield in crops of winter barley. *Annals of Botany*, *69*, PP.219–225. **doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a088333**

Bonnet, G.D. and Incoll, L.D., 1993a. Effects on the stem of winter barley of manipulating the source and sink during grain–filling. II. Changes in the composition of water–soluble carbohydrates of internodes. *Journal of Experimental Botany*, *44*, PP.83–91. **doi: 10.1093/jxb/44.1.83**

Bonnet, G.D. and Incoll, L.D., 1993b. Effects on the stem of winter barley of manipulating the source and sink during grain–filling. I. Changes in accumulation and loss of mass from internodes. *Journal of Experimental Botany*, *44*, PP.75–82. **doi: 10.1093/jxb/44.1.75**

Borrell, A.K., Incoll, L.D. and Dalling, M.J., 1993. The influence of *Rht1* and *Rht2* alleles on the deposition and use of stem reserves in wheat. *Annals of Botany*, *71*, PP.317–326. **doi:10.1 006/anbo.1993.1041**

Cruz-Aguado, J.A., Rodes, R., Peres, I.P. and Dorado, M., 2000. Morphological characteristic and yield components associated with accumulation and loss of dry mass in the internodes of wheat. *Field Crops Research*, *66*, PP.129–139. **doi: 10.1016/s0378-4290(00)00070-8**

Daniels, R.W., Alcock, M.B. and Scarisbrich, D.H., 1982. A reappraisal of stem reserve contribution to grain yield in spring barley (*Hordeum vulgare* L). *The Journal of Agricultural Science*, *98*, PP.347–355. **doi: 1017/s0021859600041897**

Davidson, D.J. and Chevalier, P.M., 1992. Storage and remobilization of water soluble carbohydrates in stem of spring wheat. *Crop Science*, *32*, PP.186–190. **doi: 10.2135/cropsci1992.0011183X003200010038x**

Dodig, D., Rancic, D., Vucelic, R.B., Zoric, M., Savic, J., Kandic, V., Pecinar, I., Stanojevic, S., Seslija, A., Vassilev, V. and Pekic-Quarrie, S., 2017. Response of wheat plants under post-anthesis stress induced by defoliation: II. Contribution on peduncle morpho-anatomical traits and carbon reserves to grain yield. *The Journal of Agricultural Science, 155*, PP.475–493. **doi: 10.1017/s0021859616000551**

Ehdaie, B. and Waines, J.G., 1996. Genetic variation for contribution of pre-anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. *Journal of Genetic and Breeding, 50*, PP.47–56.

Ehdaie, B., Alloush, G.A. and Waines, J.G., 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research, 106*, PP.34–43. **doi: 10.1016/j.fcr.2007.10.012**

Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. and Waines, J.G., 2006a. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. Postanthesis changes in internode dry matter. *Crop Science, 46*, PP.735–746. **doi: 10.2135/cropsci2005.04–0033**

Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. and Waines, J.G., 2006b. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water soluble carbohydrates. *Crop Science, 46*, PP.2093–2103. **doi: 10.2135/cropsci2006.01.0013**

Flood, R.G., Martin, P.J. and Gardner, W.K., 1995. Dry matter accumulation and partitioning and its relationships to grain yield in wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture, 35*, PP.495–502. **doi: 10.1071/ea9950495**

Gebbing, T., Schnyder, H. and Kühbauch, W., 1998. Carbon mobilization in shot parts and roots of wheat during grain filling: assessment by $^{13}C/^{12}C$ steady-state labeling, growth analysis and balance sheets of reserves. *Plant Cell and Environment, 21*, PP.301–313. **doi: 10.1046/j.1365-3040.1998.00286.x**

Hoogmoed, M. and Sadras, V.O., 2016. The importance of water soluble carbohydrates in the theoretical framework for nitrogen dilution in shoot biomass of wheat. *Field Crops Research, 193*, PP.196–200. **doi: 10.1016/j.fcr.2016.04.009**

Huang, X., Wang, C., Hou, J., Du, C., Liu, S., Kang, J., Lu, H., Xie, Y., Guo, T. and Ma, D., 2020. Coordination of carbon and nitrogen accumulation and translocation of einter wheat plant to improve grain yield and processing quality. *Scientific Reports, 10*, 10340. **doi: 10.1038/s41598-020-67343-5**

Inoue, T., Inanaga, S., Sugimoto, Y. and El-Siddig, K., 2004. Contribution of pre–anthesis assimilates and current photosynthesis to grain yield, and their relationships to drought resistance in wheat cultivars grown under different soil moisture. *Photosynthetica, 42*, PP.99–104. **doi: 10.1023/b:phot.0000040576.52128.ed**

Joudi, M., 2009. Study of storage and remobilization of water-soluble carbohydrates in stem of Iranian wheat cultivars. Ph. D Thesis. University of Tehran [In Persian].

Joudi, M., 2017. Breeding effects on dry matter accumulation and remobilization in different internodes of the stem in Iranian wheat cultivars. *Jordan Journal of Agricultural Sciences, 1*, PP.149–162.

Joudi, M., 2022a. Fructan metabolism in wheat under abiotic stress conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology, 65*, PP.145–162 [In Persian]. **doi:10.30495/iper.2022.688794**

Joudi, M., 2022b. The effects of internodes dry matter remobilization on linear rate of grain growth among wheat cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(3), PP.53–64 [In Persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2021.324672.654831**

Joudi, M. and Van den Ende, W., 2018. Genotypic variation in Pre- and Post-anthesis dry matter remobilization in Iranian wheat cultivars: Associations with stem characters and grain yield. *Czech Journal of Genetic and Plant Breeding, 54*(3), PP.123–134. **doi: 10.17221/93/2017-cjgpb**

Joudi, M., Ahmadi, A. and Mohammai, V., 2017. Changes in stem and spike related traits resulting from breeding in Iranian wheat cultivars: Associations with grain yield. *Czech Journal of Genetic and Plant Breeding, 53*(3), PP.107–113. **doi: 10.17221/178/2016-cjgpb**

Joudi, M., Ahmadi, A., Mohamadi, V., Abbasi, A. and Mohammadi, H., 2014. Genetic changes in agronomical and phenologic traits of Iranian wheat cultivars grown in different environmental conditions. *Euphytica, 196*, PP.237–249. **doi: 10.1007/s10681-013-1027-7**

Joudi, M., Ahmadi, A., Mohamadi, V., Abbasi, A., Vergauwen, R., Mohamadi, H. and Van den Ende, W., 2012. Comparison of fructan dynamics in two wheat cultivars with different capacities of accumulation and remobilization under drought stress. *Physiologia Plantarum, 144*, PP.1–12. **doi: 10.1111/j.1399-3054.2011.01517.x**

Joudi, M., Ahmadi, A., Mohammadi, V., Abbasi, A.R., Mohammadi, H., Esmaeilpour, M., Bayat, Z. and Torkashvand, B., 2010. Evaluation of stem reserves accumulation and remobilization in Iranian wheat cultivars under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science, 41*(2), PP.315–328 [In Persian].

Latiri, K., Lhomme, J.P. and Lawlor, D.W., 2013. Grain filling of durum wheat through assimilate remobilization under semi–arid conditions. *Experimental Agriculture, 49*, PP.197–211. **doi: 10.1017/s0014479712001238**

Liang, X.G., Gao, Z., Zhang, L., Shen, S., Zhao, X., Liu, Y.P., Zhou, L.L., Paul, M.J. and Zhou, S.L., 2019. Seasonal and diurnal patterns of nonstructural carbohydrates in source and sink tissues in field maize. *BMC Plant Biology, 19*, 508. **doi: 10.1186/s12870-019-2068-4**

Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M. and Meskarbashee, M., 2014. Stem water soluble carbohydrate remobilization in wheat under heat stress during the grain filling. *International Journal of Agriculture and Biology, 16*(2), PP.401–405.

Papakosta, D.K. and Garianas, A.A., 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal, 83*, PP.864–870. **doi: 10.2134/agronj1991.00021962008300050018x**

Pheloung, P.C. and Siddique, K.H.M., 1991. Contribution of stem dry matter to grain yield in wheat cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology, 18*, PP.53–64. **doi: 10.1071/pp9910053**

Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S. and Wrigley, C.W., 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post–anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research, 86*, PP.185–198. **doi: 10.1016/j.fcr.2003.08.005**

Reynolds, M.P., Hobbs, P.R. and Braun, H.J., 2007. Challenges to international wheat improvement. *The Journal of Agricultural Science*, *145*, PP.223–227. **doi: 10.1017/s0021859607007034**

Ruuska, S.A., Rebetzke, G.J., van Herwaarden, A.F., Richards, R.A., Fettell, N.A., Tabe, L. and Jenkins, C.L.D., 2006. Genotypic variation in water–soluble carbohydrate accumulation in wheat. *Functional Plant Biology*, *33*, PP.799–809. **doi: 10.1071/fp06062**

Saint Pierre, C., Trethowan, R. and Reynolds, M., 2010. Stem solidness and its relationship to water-soluble carbohydrates: association with wheat yield under water deficit. *Functional Plant Biology*, *37*, PP.166–174. **doi: 10.1071/fp09174**

Sallam, A., Hashad, M., Hamed, E.S. and Omara, M., 2015. Genetic variation of stem characters in wheat and their relation to kernel weight under drought and heat stresses. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, *18*, PP.137–146. **doi: 10.1007/s12892-015-0014-z**

Schnyder, H., 1993. The role of carbohydrate storage and redistribution in the source–sink relations of wheat and barley during grain filling. *New Phytologist*, *123*, PP.233–245. **doi: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03731.x**

Scofield, G.N., Ruuska, S.A., Aoki, N., Lewis, D.C., Tabe, L.M. and Jenkins, C.L.D., 2009. Starch storage in the stems of wheat plants: localization and temporal changes. *Annals of Botany*, *103*, PP.859–868. **doi: 10.1093/aob/mcp010**

Šešlija, A., Vucelić-Radović, B., Stanojević, S., Savić, J., Rančić, D., Pećinar, I., Kandić, V. and Dodig, D., 2017. Water-soluble carbohydrates accumulation in peduncle of wheat and its relationship to morpho-anatomical and productive traits. *Zemdirbyste-Agriculture*, *104*(2), PP.165–172. **doi: 10.13080/z-a.2017.104.021**

Shakiba, M.R., Ehdaie, B., Madore, M.A. and Waines, J.G., 1996. Contribution of internode reserves to grain yield in a tall and semi-dwarf spring wheat. *Journal of Genetic and Breeding*, *50*, PP.91–100.

Sharbatkhari, M., Shobbar, Z., Galeshi, S. and Nakhoda, B., 2016. Wheat stem reserves and salinity tolerance: molecular dissection of fructan biosynthesis and remobilization to grains. *Planta*, *244*, PP.191–202. **doi: 10.1007/s00425-016-2497-3**

Shearman, V.J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K. and Foulkes, M.J., 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*, *45*, PP.175–185. **doi: 10.2135/cropsci2005.0175a**

Sun, Y., Zhang, S. and Yan, J., 2021. Contribution of green organs to grain weight in dryland wheat from the 1940s to the 2010s in Shaanxi Province, China. *Scientific Reports*, *11*, 3377. **doi: 10.1038/s41598-021-82718-y**

Takahashi, T., Chevalier, P.M. and Rupp, R.A., 2001. Storage and remobilization of water soluble carbohydrates after heading in different plant parts of a winter wheat cultivar. *Plant Production Science*, *4*, PP.160–165. **doi: 10.1626/pps.4.160**

Thapa, S., Rudd, J.C., Jessup, K.E., Liu, S., Baker, J.A., Devkota, R. and Xue, Q., 2021. Middle portion of the wheat culm remobilizes more carbon reserve to grains under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *208*(6), PP.795–804. **doi: 10.1111/jac.12508**

Uzik, M. and Zofajova, A., 2007. Translocation of dry matter in ten winter wheat cultivars released in the years

1921-2003. *Cereal Research Communications, 35*, PP.1583–1592. **doi: doi.org/10.1556/crc.35.2007.4.5**

Valluru, R. and Van den Ende, W., 2008. Plant fructans in stress environments: emerging concepts and future prospects. *Journal of Experimental Botany, 59*, PP.2905–2916. **doi: 10.1093/jxb/ern164**

Vosoghi Rad, M., Jami Moeini, M., Taherian, M. and Mohammad A., 2022. Accumulation and remobilization of assimilates in different genotypes of durum wheat under terminal drought stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology, 25*, PP.199–214. **doi: 10.1007/s12892-021-00123-3**

Wardlaw, I.F. and Willenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation of sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. *Australian Journal of Plant Physiology, 21*, PP.255–271. **doi: 10.1071/pp9940255**

Winzeler, M., Dubois, D. and Nösberger, J., 1990. Absence of fructan degradation during fructan accumulation in wheat stems. *Journal of Plant Physiology, 136*, PP.324–329. **doi: 10.1016/s0176-1617(11)80057-x**

Xue, G.P., Mclntyre, C.L., Rattey, A.R., van Herwaarden, A.F. and Shorter, R., 2009. Use of dry matter content as a rapid and low–cost estimate for ranking genotypic differences in water–soluble carbohydrate concentration in the stems and leaf sheath of *Triticum aestivum*. *Crop and Pasture Science, 60*, PP.51–59. **doi: 10.1071/cp08073**

Yang, J.C., Zhang, J.H., Wang, Z.Q., Zhu, Q.S. and Liu, L.J., 2003. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant, Cell and Environment, 26*, PP.1621–1631. **doi: 10.1046/j.1365-3040.2003.01081.x**

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. and Liu, L., 2004. Activities of fructan– and sucrose–metabolizing enzymes in wheat stems subjected to water stress during grain filling. *Planta, 220*, PP.331–343. **doi: 10.1007/s00425-004-1338-y**

Zhang, J., Dell, B., Ma, W., Vergauwen, R., Zhang, X., Oteri, T., Foreman, A., Laird, D. and Van den Ende, W., 2016. Contributions of root WSC during grain filling in wheat under drought. *Frontiers in Plant Science, 7*, 904. **doi: 10.3389/fpls.2016.00904**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 365-382

Storage and remobilization of photoassimilates in wheat: Agronomic and morpho- physiologic aspects

Mehdi Joudi[1*], Mohammad Esmailpour[2], Shahram Mehri[3]

[1] Department of Plant Science and Medicinal Herbs, Meshgin–Shahr College of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
[2] Department of Plant Production and Genetic, College of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran
[3] Department of Agriculture, ParsAbad Moghan Branch, Islamic Azad University, ParsAbad Moghan, Iran
[*]Corresponding Author: mehdijoudi@gmail.com; joudi@uma.ac.ir

Received: 12 May 2022 Accepted: 26 July 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.342095.1236**

Abstract

Introduction: Wheat is the most important source of carbohydrates in a majority of countries. It provides more nourishment for people than any other food source. Limited rainfall and drought stress occur frequently during the grain filling stage of wheat in many areas. Accumulation of photoasimilates in the stem of wheat and remobilization of theses storages could be considered as important adaptive traits to environmental stresses and are important in breeding cultivars with improved grain yield.

Materials and Methods: Previous published researches on carbohydrates accumulation and remobilization in wheat were studied. The results of these articles were summarized systematically and then critically analyzed. Approaches for future works in terms of carbon accumulation and remobilization were also presented.

Results and Discussion: Water-soluble carbohydrates (glucose, fructose, sucrose, and fructans) accumulate in the stem of wheat plants. The accumulation of reserves in the different internodes started near the end of extension growth. That is to say, the accumulation of reserves in the lower internodes takes place over long periods of time compared to the upper internodes. Accumulation of stem reserves, depend on environmental conditions and cultivars, continues until 10-25 days after anthesis when maximal amounts are reached. Wheat cultivars with optimum stem length and stem specific weight (stem dry weight per unit stem length) have higher potential for stem storages. Under optimal conditions, where photosynthesis takes place over long periods of time, storage of assimilates is high. In contrast, stress conditions such as drought reduce the amount of accumulated carbohydrates. Typically, remobilizations of stem reserves are started at the second half of linear grain growth when the current photosynthesis is declined. Physiological bases for remobilization initiation have not been understood well. It is probable that sucrose level as well as abscisic acid (ABA) concentration in the stem are involved in this process. The amount of remobilization in each cultivar is determined by stem reserves and remobilization efficiency. The later factor is affected, in turn, by grain number and grain weight (sink strength). That is to say, cultivars with higher stem storage do not necessarily show higher carbohydrates remobilization. Abiotic stresses (such as drought, salinity and heat stress) have pronounced effects on the amount and initiation of carbohydrate remobilization. However, wheat cultivars respond to such conditions differently. Researches on 81 Iranian wheat cultivars showed that drought stress increased stem dry matter remobilization from 2 to 45% whereas this trait was decreased from 1 to 72 percent in the remaining cultivars. Interestingly, the response of each stem segment (internode) to imposed stress conditions may be different with respect to remobilization amount. The flow of carbon (carbohydrates) to the grain from stored stem materials has been classified to pre- (All the carbon in the grain which is derived from photosynthesis prior to anthesis) and post-anthesis (All the carbon in the grain which is derived from photosynthesis after anthesis) remobilization. The contribution of stem dry matter to grain growth is not consistent and varies depends on the cultivar, environmental conditions, and grain weight changes. Clear association is not found between grain yield and remobilization. No clear relation was found between stem reserve mobilization and year of cultivar release.

Conclusion: Weather conditions have pronounced effects on carbohydrates accumulation and its subsequent remobilization in wheat stem. Therefore, when breeding for these traits are considered, special attention should be paid to the environmental conditions. Typically, the lower internodes of wheat stem have higher potential for carbohydrates accumulation and remobilization when compared with the upper internodes (peduncle and penultimate). Clear relations were not found between grain yield and remobilization. This suggests that manipulating of this trait (remobilization) in wheat breeding program is a challenging task.

Keywords: Drought stress, Grain yield, Internodes, Water soluble carbohydrates

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۹۴-۳۸۳

مقاله پژوهشی

انگشت‌نگاری ژنتیکی بخشی از ژرم‌پلاسم خربزه ایران با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره

طاهره شهرکی[۱]، محمدرضا ناروئی راد[۲*]، حمیدرضا گنجعلی[۳]، حسین کمال الدینی[۴]، حمیدرضا مبصر[۳]

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، زاهدان، ایران

۲- بخش تحقیقات زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

۳- گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، زاهدان، ایران

۴- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل، زابل، ایران

* مسئول مکاتبه: mr.narouirad@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۱۲/۰۲ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.327080.1187**

چکیده

آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی بر اساس نشانگرهای مولکولی روشی سریع است که نقش مهمی در برنامه‌های اصلاحی دارد. در این بررسی تنوع ژنتیکی ۴۰ توده محلی خربزه از مناطق شرقی و مرکزی ایران با استفاده از ۱۵ جفت آغازگر ریزماهواره مورد ارزیابی قرار گرفت که ۱۳ جفت از آغازگرهای مورد استفاده، قادر به تکثیر مکان‌های ژنی ریزماهواره شدند. تمام مکان‌های ژنی به جز آغازگر CMCT44، چند شکل بودند، در مجموع تعداد ۲۵ آلل با میانگین ۱/۹۳ آلل به ازای هر جایگاه ژنی ریزماهواره، مشاهده گردید. بالاترین میزان مکان‌های چند شکلی (۸۴/۶۲ درصد) متعلق به توده KC-357009 بود. میزان بالای مکان‌های چند شکلی، تأییدکننده کارآیی نشانگرهای مولکولی SSR در آنالیز ژنتیکی توده‌های بومی مورد بررسی است. میانگین محتوای اطلاعات چند شکلی و هتروزیگوتی مورد انتظار به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۳ به‌دست‌آمد. مقادیر بالای هموزیگوتی مشاهده شده با میانگین ۰/۸۴ نشان‌دهنده تنوع پایین درون توده‌های مورد بررسی است که دلیلی بر میزان پایین دگرگشنی بین توده‌ها و میزان بالای خویش‌آمیزی است. در بررسی ساختار ژنتیکی جمعیت‌ها، توده‌های مورد بررسی در دو گروه (زیرجمعیت) قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه ساختار جمعیت براساس روش بیزین و خوشه‌بندی UPGMA نشان داد که طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مستقل از منشاء جغرافیایی‌شان می‌باشد. با توجه به مقادیر حاصل از پارامترهای فوق از بین آغازگرهای مورد مطالعه، مکان‌های ژنی CMCCA145، CMGA172 و CMCT134b جهت تجزیه و تحلیل مجموعه‌های ژرم پلاسم خربزه در تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توده‌های بومی، ساختار ژنتیکی، نشانگرهای مولکولی، هتروزیگوتی

مقدمه

تقریباً نیمی از تولید سبزیجات در ایران متعلق به خانواده کدوئیان است و تولید ملون‌ها در ایران در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۱۳۶۰۰۰ تن بوده است (FAOSTAT, 2019). از ملون‌های شناخته شده در ایران می‌توان به گروه‌های Cantaloupensis (طالبی)، Inodorus (خربزه) و Flexousous (خیار چنبر) اشاره نمود (Moayedi Nejad *et al.*, 2010). خربزه که با نام علمی *Cucumis melo* L به خانواده Cucurbitaceae تعلق دارد (Kirkbride, 1993)، یک محصول مهم باغبانی در سراسر جهان و در آب و هوای گرم و معتدل است و ایران ازنظر تولید این محصول در مقام چهارم جهان قرار دارد (FAOSTAT, 2019). طبق نظر برخی از محققان، کشورهای ترکیه، سوریه، ایران، افغانستان، شمال و مرکز هند، قفقاز، تاجیکستان و ازبکستان مراکز اولیه ملون‌ها می‌باشند (Kerje and Grum, 2000). اما با توجه به توزیع ملون‌های وحشی در مونوگراف کیرکبراید، به‌نظر می‌رسد آفریقا مرکز اولیه تنوع باشد و ایران، هند، افغانستان و چین مراکز ثانویه تنوع ملون باشند (Kirkbride, 1993).

آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی ذخایر توارثی گونه‌های گیاهی، جهت کاهش حجم نمونه‌های موجود در بانک ژن و بررسی خلوص بذرها در اصلاح نباتات از اهمیت خاصی برخوردار است. روش‌های مختلفی برای برآورد تنوع ژنتیکی وجود دارد که یکی از ابزارهای بسیار مهم و قوی در این زمینه تجزیه و تحلیل DNA گیاهی است که امکان ارزیابی مستقیم تنوع ژنتیکی را فراهم می‌کند (Bagheri *et al.*, 2007).

جدول ۱- چهل توده خربزه مورد بررسی مربوط به مناطق شرقی و مرکزی ایران

Table 1- Forty melon accessions studied in the eastern and central regions of Iran

شماره No	نام توده Landrace designation	موقعیت جغرافیایی Geographical location	شماره No	نام توده Landrace designation	موقعیت جغرافیایی Geographical location
1	TN-345	خراسان Khorasan	21	KC- 357044	البرز Alborz
2	KC-35700	البرز Alborz	22	KC-357009	البرز Alborz
3	TN-271	اصفهان Esfahan	23	KC-357067	البرز Alborz
4	KC-357238	البرز Alborz	24	KC-357100	البرز Alborz
5	TN-441	خراسان Khorasan	25	TN-272	خراسان Khorasan
6	TN-377	خراسان Khorasan	26	KC-357079	البرز Alborz
7	TN-277	خراسان Khorasan	27	357063	قاین Qaen
8	KC-257236	البرز Alborz	28	KC-357047	البرز Alborz
9	TN-629	خراسان Khorasan	29	KC357062	البرز Alborz
10	TN-92-334	خراسان Khorasan	30	سفیدک Sefidak	زابل Zabol
11	TN-628	خراسان Khorasan	31	سوسکی Suski	اصفهان Esfahan
12	TN-92-319	البرز Alborz	32	سوسکی سبز Suski Sabz	اصفهان Esfahan
13	TN-623	خراسان Khorasan	33	سوسکی زرد Suski Zard	اصفهان Esfahan
14	TN92317	خراسان Khorasan	34	گرگاب Gorgab	اصفهان Esfahan
15	TN92312	خراسان Khorasan	35	قصری پیشرفته Ghasri Pishrafte	اصفهان Esfahan
16	TN622	اصفهان Esfahan	36	تیل مگسی Teele Magasi	اصفهان Esfahan
17	KC- 357020	البرز Alborz	37	جاجو Jajoo	اصفهان Esfahan
18	TN621	سمنان Semnan	38	زرد زواره Zarde Zavare	اصفهان Esfahan
19	TN-92-306	سمنان Semnan	39	جاجو ۸۵ Jajoo85	اصفهان Esfahan
20	TN92-302	سمنان Semnan	40	درگزی Dargazi	قاین Qaen

در سال‌های اخیر، فناوری نشانگرهای مولکولی نقش مهمی در مطالعات ژنتیکی و تکاملی، تهیه نقشه‌های پیوستگی، و

بومی‌سازی صفات تک‌ژنی و چندژنی ایفا کرده است (Filiz *et al.*, 2018; Hocaoglu-Ozyigit *et al.*, 2020; Saidi *et al.*, 2017; Tamboli *et al.*, 2018). نشانگرهای SSR دارای خصوصیات مطلوب ژنتیکی هم‌چون تنوع زیاد، مکان‌یابی اختصاصی کروموزوم، توارث همبارز و تکرارپذیری هستند در حالی‌که استفاده از آن‌ها سریع، ساده و کارآمد است (Bagheri *et al.*, 2007). براساس این مزایا، نشانگرهای SSR به طور گسترده‌ای خصوصاً در تجزیه و تحلیل تنوع ژنتیکی استفاده می‌شوند (Ercisli *et al.*, 2011; Laosatit *et al.*, 2021). اگرچه مطالعاتی روی ساختار ژنتیکی ملون‌های ایرانی با استفاده از نشانگرهای مختلف مولکولی از جمله نشانگر مولکولی RAPD(Feyzian *et al.*, 2007) و نشانگرهای ریزماهواره‌ای ISSR (Maleki *et al.*, 2018) و SSR (Moayedi Nejad *et al.*, 2010; Raghami *et al.*, 2014) در سال‌های اخیر انجام شده است، اما به‌دلیل قدمت کاشت و وجود ذخایر عظیم ژنتیکی خربزه که ایران را به عنوان یکی از مراکز اصلی تنوع این محصول در دنیا مطرح می‌کند، تحقیقات در این زمینه ناکافی است. این درحالی است که در سال‌های اخیر، فرسایش ژنتیکی توده‌های بومی خربزه به دلیل افزایش سطح زیرکشت ارقام غیربومی محتمل است. در حال حاضر هیچ‌گونه گزارشی در مورد روابط ژنتیکی بین چهل توده بومی خربزه مورد مطالعه از طریق نشانگرهای SSR وجود ندارد؛ بنابراین هدف از این پژوهش، آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی و استفاده مناسب در انتخاب تلاقی‌های احتمالی توده‌های مورد بررسی است.

مواد و روش‌ها

چهل توده بومی خربزه مورد استفاده در این پژوهش از ژرم‌پلاسم خربزه بانک ژن ایران (که اکثراً از توده‌های مناطق مرکزی و شرق ایران بودند) تهیه شد و در فروردین سال ۱۳۹۸ در مزرعه‌ای واقع در زهک با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۶۱ درجه و ۶۸ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۸۹ دقیقه شمالی کشت گردید (جدول ۱)، آزمایشات مولکولی در دانشکده علوم دانشگاه زابل انجام شد. ۵-۴ برگ از هر گیاه در مرحله دو تا سه برگی، جمع‌آوری و تا زمان استخراج DNA در فریزر در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. DNA ژنومی آن‌ها با استفاده از کیت گیاهی ZandBio (تهیه شده از شرکت زیست فناوری زند، cat. P0401) استخراج شد. کمیت و کیفیت DNA به‌دست آمده توسط دستگاه نانودراپ (ساخت شرکت Nabi کره جنوبی) و الکتروفورز ژل آگارز یک درصد تعیین شد. نمونه‌های DNA تا زمان استفاده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

نشانگرهای مورد استفاده (جدول ۲) در این پژوهش براساس مطالعات پیشین که توسط محققین مختلفی پیشنهاد شده بود، انتخاب شد (Danin-Poleg *et al.*, 2001; Gonzalo *et al.*, 2005; Ritschel *et al.*, 2004). ساخت آغازگرها توسط شرکت سیناکلون صورت پذیرفت. برای واکنش زنجیره‌ای پلیمراز از دستگاه ترموسایکلر Gradiant PCR Vapo Protect ساخت شرکت Eppendorf استفاده شد. تکثیر قطعات DNA در واکنش‌هایی با حجم نهایی ۱۵ میکرولیتر شامل دو میکرولیتر DNA (با غلظت ۵ نانو گرم)، ۰/۵ میکرولیتر از هر کدام از آغازگرهای رفت و برگشت (با غلظت ۱۰ میکرومولار)، هشت میکرولیتر Taq 2x Mastermix Red ساخت شرکت Ampliqon دانمارک و چهار میکرولیتر آب فاقد نوکلئاز انجام شد. واکنش زنجیره‌ای پلیمراز شامل واسرشت‌سازی اولیه در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت سه دقیقه و سپس ۳۵ چرخه حرارتی که شامل یک دقیقه واسرشت‌سازی در دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ ثانیه جهت اتصال در دمای ۵۹/۸-۵۰ درجه سانتی‌گراد (بسته به آغازگر)، یک دقیقه جهت بسط آغازگرها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و پنج دقیقه هم به منظور بسط نهایی در ۷۲ درجه سانتی‌گراد بود. محصولات PCR بر روی ژل آگارز ۱/۸ درصد در بافر TBE 1X و در ولتاژ ۸۵ ولت به مدت یک ساعت الکتروفورز شدند. مشاهده و عکس‌برداری از ژل به کمک دستگاه ژل‌داک مدل UV-2100 صورت گرفت.

تحلیل آماری

امتیازدهی باندها به صورت صفر (عدم مشاهده باند) و یک (مشاهده باند) انجام شد. ارزیابی تجزیه خوشه‌ای و پارامترهای ژنتیکی مانند هتروزیگوتی مشاهده شده، هتروزیگوتی مورد انتظار و تعداد آلل‌های مؤثر از طریق نرم‌افزارهای Ntsys 2.1 و Popgene 1.32به‌دست آمد. برای هر جایگاه، میزان اطلاعات چند شکلی از رابطه زیر محاسبه گردید که در آن Pi فراوانی

آلل i ام و n تعداد مکان‌هاست (رابطه ۱).

$$PIC = 1- \Sigma fi^2 \quad (۱)$$

برای تخمین تعداد زیر جمعیت‌ها (K) و تشخیص ژنوتیپ‌های خالص و مختلط از نرم‌افزار Structure نسخه ۲/۳ و با استفاده از روش بیزین انجام شد (Pritchard *et al*., 2000). تعداد زیر جمعیت‌های فرضی (K) در محدوده ۱۰-۱ تنظیم شد و جهت افزایش دقت برای هر کدام از زیرجمعیت‌ها پنج تکرار منظور شد، در ادامه از مدل Admixture و استقلال فراوانی آللی با ۲۰۰۰۰ تکرار آزمایش (Burn-in) و ۵۰۰۰۰ تکرار MCMC(Markov Chain Monte Carlo) استفاده گردید تا منحنی حداکثر درست‌نمایی به‌دست آید. بهترین مقدار K با استفاده از ابزار آنلاین Structure Harvester و به کمک نتایج حاصل از محاسبات نرم‌افزار Structure به‌دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که از ۱۵ جفت آغازگر مورد استفاده، ۱۳ جفت قادر به تکثیر مکان‌های ژنی ریزماهواره شدند (جدول ۳). دو جفت آغازگر نیز احتمالاً به‌دلیل متفاوت بودن توالی‌های احاطه‌کننده جایگاه‌ها در یک یا دو جایگاه اتصال آغازگر، اشکال در ساخت، نامناسب بودن بافر و مواد مورد استفاده قادر به تکثیر مکان ژنی مورد نظر نبودند. به جز یک جایگاه ژنی، سایر جایگاه‌های ژنی ریزماهواره چند شکل بودند. میزان مکان‌های چند شکلی در توده‌های بومی از ۱۵/۳۸ درصد (جاجو) تا ۸۴/۶۲ درصد (KC-357009) با میانگین ۴۳/۴۶ درصد متغیر بود (داده‌ها نشان داده نشده است) که میزان چند شکلی مشاهده شده تأییدکننده کارآیی آن‌ها در آنالیز ژنتیکی ژرم پلاسم خربزه است. در چندین بررسی نیز (Danin-Poleg *et al*., 2001; Katzir *et al*., 1996; Monforte *et al*., 2003; Raghami *et al*., 2014)، میزان بالایی از چند شکلی با استفاده از نشانگر مولکولی SSR روی توده‌های ملون گزارش شد که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، مطابقت داشت.

جدول ۲- ارزیابی تنوع ژنتیکی توده‌های بومی خربزه ایران با استفاده از شاخص‌های نشانگرهای SSR

Table 2- Assess the genetic diversity of Iranian indigenous melon using the indices of SSR primers

شماره No	مکان ژنی Locus	توالی رفت (۳'- ۵') Forward sequence	توالی برگشت (۵'-۳') Reverse sequence	دمای اتصال Annealing temperature (C)
1	CMGA15	CGGCAAGACGATTGGCAGC	ATCACCGTAGCGAAGCACC	59.8
2	CMCT44	TCAACTGTCCATTTCTCGCTG	CCGTAAAGACGAAAACCCTTC	59.8
3	CMGA104	TTACTGGGTTTTGCCGATTT	AATTCCGTATTCAACTCTCC	51
4	CMACC146	CAACCACCGACTACTAAGTC	CGACCAAACCCATCCGATAA	55.1
5	CMCTT144	CAAAAGGTTTCGATTGGTGGG	AAATGGTGGGGGTTGAATAGG	55.8
6	CMTC47	GCATAAAAGAATTTGCAGAC	AGAATTGAGAAGAGATAGAG	50
7	CMAT141	AAGCACACCACCACCCGTAA	GTGAATGGTATGTTATCCTTG	58.3
8	CMCCA145	GAGGGAAGGCAGAAACCAAAG	GCTACTTTTGTGGTGGTGG	57.9
9	CMTC168	ATCATTGGATGTGGGATTCTC	ACAGATGGATGAAACCTTAGG	55
10	CMGA172	CAATCGCAGATACTTCCACG	TGCTTGTCCCAACGGTGTCAT	57.5
11	CMGT108	CTCCTTCAAACATTGTGTGTG	GAGATAGGTATAGTATAGGGG	-
12	CMTA170a	TTAAATCCCAAAGACATGGCG	AGACGAAGGACGGTTAGCTTT	-
13	CMTA134a	ACGTGCTTCAGTAAACATG	CCGACATTGAAAACCAACTTC	53.7
14	CMCT134b	GCTCCTCCTTAACTCTATAC	GCATTATTACCCATGTACGAG	54.4
15	CMTC160a+b	GTCTCTCTCCCTTATCTTCCA	GATGGTGCCTTAGTTGTTCCG	58.7

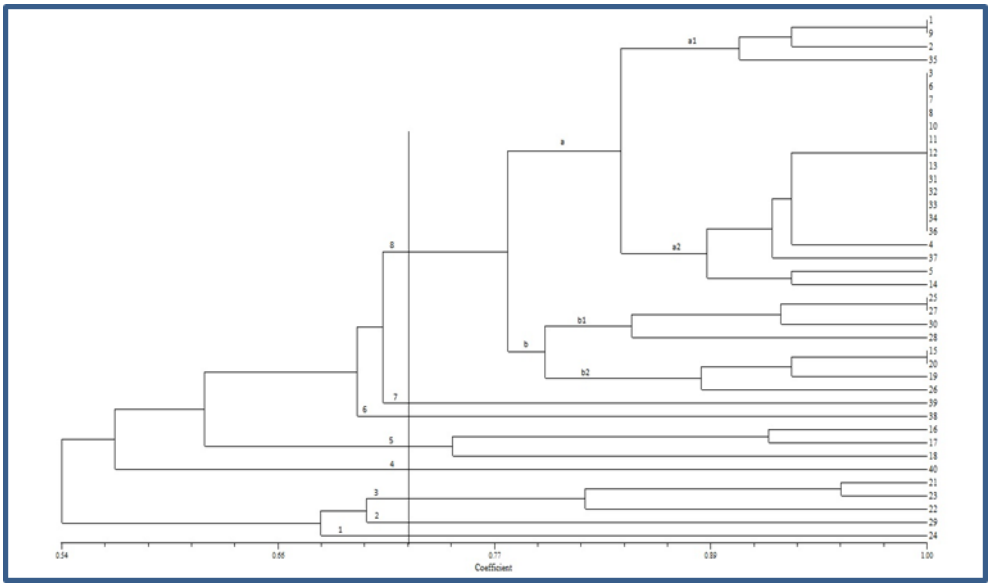
جدول ۳- اطلاعات به‌دست آمده ازآغازگرهای مورد استفاده در پژوهش

Table 3- Information obtained from the primers used in the research

شماره No	مکان ژنی Locus	تعداد آلل Allele number	محتوای اطلاعات چند شکلی Polymorphic information content	هتروزیگوتی مورد انتظار Expected heterozygosity	هتروزیگوتی مشاهده شده Observed heterozygosity
1	CMGA15	2	0.27	0.18	0.2
2	CMCT44	1	0	0	0
3	CMGA104	2	0.27	0.21	0.175
4	CMACC146	2	0.19	0.23	0.165
5	CMCTT144	2	0.22	0.17	0.185
6	CMTC47	2	0.18	0.28	0.17
7	CMAT141	2	0.14	0.17	0.18
8	CMCCA145	2	0.53	0.44	0.185
9	CMTC168	2	0.22	0.16	0.155
10	CMGA172	2	0.43	0.41	0.17
11	CMGT108	-	-	-	-
12	CMTA170a	-	-	-	-
13	CMTA134a	2	0.18	0.15	0.145
14	CMCT134b	2	0.36	0.39	0.10
15	CMTC160a+b	2	0.33	0.24	0.245
میانگین Mean		1.92	0.24	0.23	0.16

میزان تنوع ژنی نشـــان‌دهنده توانایی نشـــانگر در تمایز ژنوتیپ‌هاســـت (Matus and Hayes, 2002). بالاترین و کمترین مقدار هتروزیگوتی مورد انتظار (۰/۴۴ و ۰/۱۵) به ترتیب مربوط به نشـــانگرهای CMCCA145 و CMTA134a بود. محتوای اطلاعات چندشـکلی با اسـتفاده از تعداد و فراوانی آلل‌ها در هر جایگاه ژنی، قدرت تفکیک آن را مشـخص می‌کند (Anderson *et al.*, 1993). میانگین محتوای اطلاعات چندشـــکل (PIC)، ۰/۲۴ بود در حالی‌که مقادیر آن در دامنه ۰/۱۹ تا ۰/۵۳ قرار داشت (جدول ۱). بر این اساس بیشترین مقدار متعلق به آغازگر CMCCA145 (۰/۵۳) و پس از آن متعلق به جایگاه‌های ژنی CMGA172 و CMCT134b بود. نشانگرهایی که محتوای اطلاعات چند شکلی بالایی داشتند، تنوع ژنی بالایی نیز داشتند که نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین میزان PIC و تنوع ژنی اســـت. این نشـــانگرها (CMCCA145، CMGA172 و CMCT134b) بهتر از بقیه توانستند فاصله ژنتیکی ژنوتیپ‌ها را آشکار سازند پس می‌توان به خوبی از این مکان‌های ژنی برای آنالیز مجموعه‌های دیگر ژرم‌پلاسم خربزه بهره جست.

میانگین تعداد آلل مشاهده شده و آلل مؤثر برای مکان‌های ژنی به ترتیب ۱/۹۲ و ۱/۳۳ بود. هنگامی‌که فراوانی‌های آللی یکسان هستند، مقدار تعداد آلل‌های مؤثر به تعداد مشاهده شده آللها در یک مکان نزدیک می‌باشـــد. تفاوت‌های زیاد بین این پارامترها نشان‌دهنده فراوانی پایین بعضی از آلل‌ها می‌باشد، زیرا آن‌ها فقط در یک و یا تعداد کمی از افراد وجود دارند؛ بنابراین در شناسایی آلل‌های کمیاب مفید هستند (Darvishzadeh and Azizi, 2016). میانگین تعداد آلل‌های مشاهده شده در بررسی که بر روی ۵۲ توده ملون ایرانی و خارجی با استفاده از نشانگر SSR، انجام شد، ۴/۱۱ آلل بود (Raghami *et al.*, 2014). در تحقیقی مشابه مقدار ۲/۴ آلل از بررسی ۱۵ ژنوتیپ ملون از اسپانیا گزارش شد (López-Sesé *et al.*, 2002)، هم‌چنین در بررسی دیگری که ۱۴ ژنوتیپ ملون از یونان مورد ارزیابی قرار گرفت، مقدار۲/۴۷ آلل مشاهده گردید (Tzitzikas *et al.*, 2009). می‌توان گفت تعداد بالای آلل‌های مشاهده شده در گزارشات مذکور ناشی از به کار بردن زیر گونه‌های متفاوت از گونه *Cucumis melo* است.



شکل ۱- نمودار تنوع ژنتیکی برحسب ضریب جاکارد و روش UPGMA برای ۴۰ توده بومی خربزه

Figure 1- Dendrogram of genetic diversity for the 40 melon landraces based on Jacard Similarity Coefficient and UPGMA method

مناسب‌ترین شاخص برای به دست آوردن یک دید کلی در مورد تنوع ژنتیکی برای نشانگرهای همبارز هتروزیگوسیتی است (Darvishzadeh and Azizi, 2016). مکان‌های ژنی CMCT134b و CMTC160a+b به ترتیب کمترین (۰/۱) و بیشترین (۰/۲۴) مقدار هتروزیگوسیتی را داشتند. میانگین هتروزیگوتی مشاهده شده برای تمام توده‌ها در بین مکان‌های ژنی مورد بررسی ۰/۱۶ بود که این پارامتر با مقدار حاصل از میانگین هتروزیگوتی مشاهده توده‌های ملون ایران (۰/۱۲) که در پژوهشی توسط برخی از محققان به‌دست آمد تا حدودی مشابه است (Raghami *et al*., 2014). پایین‌ترین مقدار هتروزیگوتی (۰/۰۴۶) در میان توده‌ها به توده TN-277 و بالاترین مقدار هتروزیگوتی (۰/۷، ۰/۵۸، ۰/۵۲و ۰/۳۵) به توده‌های KC-357009، KC-357067، KC-357044 و KC-357100 تعلق داشت (داده‌ها نشان داده نشده است)، این پارامتر در توده جاجو، صفر بود که نشان داد این توده برای تمام مکان‌های ژنی آزمون شده هموزیگوت بود و هیچ هتروزیگوتی در آن مشاهده نشد. کمترین و بیشترین هتروزیگوسیتی مشاهده شده در بین گروه‌های جغرافیایی مورد بررسی نیز به‌ترتیب مربوط به زابل (۰/۰۴۶) و استان البرز (۰/۲۹) بود. مقادیر کم هتروزیگوتی در توده‌ها، ناشی از نحوه تولیدمثل گیاه است. خربزه‌های ایرانی عمدتاً به صورت رقم بوده و جداگانه کشت می‌شوند، هم‌چنین برخی ارقام خربزه دارای گل‌های کامل بوده که باعث افزایش خودگرده‌افشانی و به تبع آن کاهش هتروزیگوتی آن‌ها می‌شود (Moayedi Nejad *et al*., 2010). هم‌چنین در پژوهشی مقدار بالای هموزیگوتی توده‌های ملون یونان به استفاده از بذور مشابه در بین کشاورزان و عمل گزینش توسط آن‌ها، نسبت داده شد (Tzitzikas *et al*., 2009). از طرفی برخی پژوهش‌گران مقدار پایین هتروزیگوتی مشاهده شده در توده‌های ملون ایرانی را حتی در صورت دگرلقاحی، حفظ اصالت توده‌ها جهت نگهداری صفات میوه توسط کشاورزان به دلیل ترجیح مصرف‌کنندگان گزارش کردند (Raghami et al., 2014). در بررسی که محققان بر روی ۳۶ ژنوتیپ خربزه و طالبی ایرانی با استفاده از ۱۶ مکان ژنی ریزماهواره انجام دادند، میانگین هتروزیگوتی مشاهده شده در طالبی‌های ایرانی نسبت به خربزه‌ها بیشتر بود که نشان‌دهنده تنوع بیشتر ارقام و توده‌های طالبی ایرانی نسبت به خربزه‌ها بود، براساس نظر این محققان شاید این موضوع به‌دلیل انجام کارهای اصلاحی و فشار بیشتر گزینش روی خربزه‌های ایرانی باشد (Behbahanei, 2005).

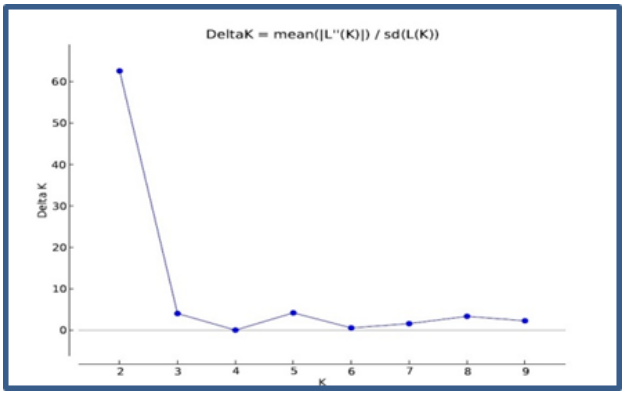
براساس نتایج، ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی UPGMA و بر اساس ماتریس شباهت ژنتیکی جاکارد به هشت شاخه اصلی تقسیم شدند (شکل ۱). ضریب همبستگی cophenetic توسط آزمون Mantel برآورد شد که نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً خوبی بین ماتریس شباهت و تحلیل خوشه‌ای

بر اساس ضریب شباهت جاکارد است (r=۰/۹۲). شاخه اول تا چهارم شامل ۶ توده بود که همه از توده‌های بومی کرج بودند. سه توده از استان‌های کرج، اصفهان و سمنان، شاخه پنجم را تشکیل دادند. توده‌های بومی زرد زواره و جاجو به ترتیب متعلق به کلاسترهای ششم و هفتم بودند. تقریباً ۷۰ درصد توده‌ها در شاخه هشتم که دارای دو زیرشاخه a و b بود قرار گرفتند که هر کدام از زیر شاخه‌ها نیز دارای دو گروه بودند. توده‌های TN-345، TN-629، KC-35700 و قصری پیشرفته، گروه a1 و توده‌هایی از اصفهان، خراسان و البرز (TN92317، TN-441، Jajoo، KC-357238، Teele Magasi، Gorgab، Suski Zard، Suski Sabz، Suski، TN-623، TN-92-319، TN-628، TN-92-334، KC-257236، TN-277، TN-377 و TN-27) گروه a2 را تشکیل دادند. توده‌های TN-272، KC-357047، Sefidak و 357063 (مربوط به خراسان، البرز، زابل و قائن) و توده‌های TN92312، TN-92-306، TN92-302 و KC-357079 (متعلق به خراسان و سمنان و البرز) به ترتیب در گروه‌های b1 و b2 قرار گرفتند. در این تحقیق توده‌های TN-345 و TN-629 از گروه a1، توده‌های Teele Magasi، Gorgab، Suski Sabz،Suski Zard، Suski، TN-623، TN-92-319، TN-628، TN-92-334، KC-257236، TN-277، TN-377 و TN-271 از گروه a2، توده‌های TN-272 و 357063 از گروه b1 و توده‌های TN92312 و TN92-302 از گروه b2 دارای فاصله ژنتیکی صفر بودند، لذا احتمال دارد که آن‌ها توده‌هایی یکسان باشند که به‌دلیل جابجایی بین مناطق مختلف کشور، نام‌های متفاوت گرفتند و یا اینکه مکان‌های ژنی مورد استفاده در این بررسی قادر به تشخیص تفاوت‌های اندک موجود بین آن‌ها نبوده‌اند.

هفت توده از ۱۰ توده متعلق به هرکدام از استان‌های اصفهان و خراسان در گروه a2 قرار گرفتند که نشان از قرابت زیاد این توده‌ها دارد. قرار گرفتن توده‌های KC-357100، KC357062، Dargazi، Zarde Zavare و Jajoo به صورت منفرد در شاخه‌های جداگانه، شاید حاکی از این باشد که بر خلاف سایر توده‌ها، آن‌ها از توده‌های محلی متمایز بوده و سال‌ها در این مناطق به‌طور جداگانه کشت و محافظت شده‌اند. در پژوهشی که بر روی گروه‌های مختلف ملون با استفاده از نشانگرهای رپید انجام شد (Feizian, 2004) و هم‌چنین در بررسی که محققان دیگری بر روی ارقام و توده‌های محلی خربزه و طالبی ایرانی با استفاده از نشانگرهای مولکولی SSR، انجام دادند (Moayedi Nejad *et al.*, 2010) تجزیه خوشه‌ای نتوانست گروه‌های مختلف را از یکدیگر متمایز کند که بیانگر نزدیک بودن ژنوم این گروه‌هاست.

ساختار جمعیت نتیجه تفاوت فراوانی آللی بین جمعیت‌های مختلف است که در نتیجه تفاوت‌های زمینه ژنتیکی است و ممکن است با تفاوت فنوتیپی شناخته شده مورد مطالعه غیر مرتبط باشد. یک ژنوتیپ وقتی درصد عضویت آن در یک گروه (زیرجمعیت) خاص بیشتر و مساوی ۰/۷ باشد، به آن گروه نسبت داده می‌شود و اگر کمتر یا مساوی ۰/۶۹ باشد، به عنوان یک ژنوتیپ مخلوط تعریف می‌شود (Spataro *et al.*, 2011).

در بررسی ساختار ژنتیکی جمعیت‌ها، بیشترین میزان دلتا K در مقابل تغییرات K در K = ۲ به‌دست آمد که نشان داد توده‌های مورد بررسی در دو گروه (زیرجمعیت) قرار می‌گیرند (شکل ۲).



شکل ۲- توزیع Delta K

Figure 2– Distribution of Delta K

شکل ۳- تقسیم‌بندی توده‌های بومی به دوزیر جمعیت (K = 2) بر اساس نرم‌افزار Structure

Figure 3– STRUCTURE-based genetic clustering (K = 2) of fourty melon populations

مطابق شکل ۳، نتایج گراف شده از آنالیز Structure، ۱۹ توده به گروه اول (اکثر توده‌های اصفهان و خراسان) و ۱۱ توده به گروه دوم (اکثر توده‌های کرج و سمنان) تعلق داشتند. در ۱۰ توده نیز درجات متفاوتی از اختلاط ژنتیکی بین جمعیت‌ها وجود داشت. با توجه به اینکه خربزه گیاه بومی ایران است و سابقه کشت طولانی در ایران دارد، شباهت ژنتیکی برخی از جمعیت‌های مورد مطالعه می‌تواند به‌دلیل تعادل ژنتیکی ناشی از جابجایی بذرها بین مناطق مختلف ایران باشد. نتایج حاصل از تجزیه ساختار جمعیت بر اساس روش بیزین و خوشه‌بندی UPGMA نشان داد که طبقه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مستقل از منشاء جغرافیایی‌شان می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج، تلاقی بین ارقامی که کمترین شباهت را دارند، باعث بهترین نتیجه در دستیابی به هیبریدها و یا دستیابی به حداکثر تفکیک در نسل‌های پس از F1 خواهد شد. البته فاصله ژنتیکی تنها عامل مؤثر در شناسایی والدین مناسب برای تولید هیبرید نیست و عواملی مانند ترکیب‌پذیری و فاصله ژنتیکی بر اساس صفات مورفولوژیکی نیز باید درنظر گرفته شود. از نتایج این مطالعه می‌توان در برنامه‌های هیبریداسیون استفاده کرد. ضمناً بسیاری از نژادهای بومی مانند KC-257236، KC-357009 و TN92317 که تاکنون مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند، در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند.

References

Anderson, J.A., Churchill, G., Autrique, J., Tanksley, S. and Sorrells, M. 1993. Optimizing parental selection for genetic linkage maps. *Genome*, *36*(1), PP.181-186. **doi: 10.1139/g93-024**

Bagheri, A.A., Darbandi, A. and Malbubi, M.A. 2007. Practical applications of plant molecular biology. Ferdwosi Mashhad Publications [In Persian].

Behbahanei, M. 2005. Genetic diversity among Iranian melons (*Cucumis melo* L.) via SSR markers. M. Sc. Thesis, Bu-Ali Sina University [In Persian].

Danin-Poleg, Y., Reis, N., Tzuri, G. and Katzir, N. 2001. Development and characterization of microsatellite markers in Cucumis. *Theoretical and Applied Genetics*, *102*(1), PP.61-72. **doi: 10.1007/s001220051618**

Darvishzadeh, R. and Azizi, A. 2016. Molecular markers and their application in genetic diversity analysis. Urmia University Publishers [In Persian].

Ercisli, S., Ipek, A. and Barut, E. 2011. SSR marker-based DNA fingerprinting and cultivar identification of olives (*Olea europaea*). *Biochemical Genetics*, *49*(9), PP.555-561. **doi:10.1007/s10528-011-9430-z**

FAOSTAT, 2019. FAO statistical database. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize.

Feyzian, E., Javaran, M.J., Dehghani, H. and Zamyad, H. 2007. Analysis of the genetic diversity among some of Iranian melon (*Cucumis melo* L.) landraces using morphological and RAPD molecular markers. *JWSS-Isfahan University Technology*, *11*, PP.151-163.

Filiz, E., Uras, M.E., Ozyigit, I.I., Sen, U. and Gungor, H. 2018. Genetic diversity and phylogenetic analyses of Turkish rice varieties revealed by ISSR markers and chloroplast trnl-F region. *FEB-Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(12), PP.835-8358.

Gonzalo, M., Oliver, M., Garcia-Mas, J., Monfort, A., Dolcet-Sanjuan, R., Katzir, N., Arus, P. and Monforte, A. 2005. Simple-sequence repeat markers used in merging linkage maps of melon *(Cucumis melo* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, *110*(5), PP.802-811. **doi: 10.1007/s00122-004-1814-6**

Hocaoglu-Ozyigit, A., Ucar, B., Altay, V. and Ozyigit, I.I. 2020. Genetic diversity and phylogenetic analyses of Turkish cotton (*Gossypium hirsutum* L.) lines using ISSR markers and chloroplast trnL-F regions. *Journal of Natural Fibers*, *17*(1), PP.1-14. **doi: 10.1080/15440478.2020.1788493**

Katzir, N., Danin-Poleg, Y., Tzuri, G., Karchi, Z., Lavi, U. and Cregan, P. 1996. Length polymorphism and homologies of microsatellites in several Cucurbitaceae species. *Theoretical and Applied Genetics*, *93*(8), PP.1282-1290. **doi: 10.1007/bf00223461**

Kerje, T. and Grum, M. 2000. The origin of melon, Cucumis melo: a review of the literature. *Acta Horticulture*, *510*, PP.37-44. **doi: 10.17660/actahortic.2000.510.5**

Kirkbride, J.H. 1993. Biosystematic monograph of the genus Cucumis (Cucurbitaceae): botanical identification of cucumbers and melons. *Parkway Publishers*, 26-35.

Laosatit, K., Amkul, K., Chankaew, S. and Somta, P. 2021. Molecular genetic diversity of winged bean gene pool in Thailand assessed by SSR markers. *Horticultural Plant Journal*, *8*(1), PP.81-88. **doi: 10.1016/j.hpj.2021.05.001**

López-Sesé, A.I., Staub, J., Katzir, N. and Gómez-Guillamón, M.L. 2002. Estimation of between and within accession variation in selected Spanish melon germplasm using RAPD and SSR markers to assess strategies for large collection evaluation. *Euphytica*, *127*(1), PP.41-51. **doi: 10.1023/a:1019904224170**

Maleki, M., Shojaeiyan, A. and Monfared, S.R. 2018. Population structure, morphological and genetic diversity within and among melon (*Cucumis melo* L.) landraces in Iran. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, *16*(2), PP.599-606. **doi: 10.1016/j.jgeb.2018.08.002**

Matus, I. and Hayes, P. 2002. Genetic diversity in three groups of barley germplasm assessed by simple sequence repeats. *Genome*, *45*(6), PP.1095-1106. **doi:10.1139/g02-071**

Moayedi Nejad, A., Irshadi, A. and Kohpayegani, J.A. 2012. Genetic diversity among Iranian cantaloupe landraces (*Cucumis melo L.*) using Microsatellite Markers. *Agricultural Biotechnology*, *1*(1), PP.1-8.

Monforte, A., Garcia-Mas, J. and Arus, P. 2003. Genetic variability in melon based on microsatellite variation. *Plant Breeding*, *122*(2), PP.153-157. **doi: 10.1046/j.1439-0523.2003.00848.x**

Pritchard, J.K., Stephens, M. and Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype

data. *Genetics*, *155*(2), PP.945-959. **doi: 10.1093/genetics/155.2.945**

Raghami, M., López-Sesé, A.I., Hasandokht, M.R., Zamani, Z., Moghadam, M.R.F. and Kashi, A. 2014. Genetic diversity among melon accessions from Iran and their relationships with melon germplasm of diverse origins using microsatellite markers. *Plant Systematics and Evolution*, *300*(1), PP.139-151. **doi:10.1007/s00606-013-0866-y**

Ritschel, P.S., de Lima Lins, T.C., Tristan, R.L., Buso, G.S.C., Buso, J.A. and Ferreira, M.E. 2004. Development of microsatellite markers from an enriched genomic library for genetic analysis of melon (*Cucumis melo* L.). *BMC Plant Biology*, *4*(1), PP.1-14. **doi: 10.1186/1471-2229-4-9**

Saidi, A., Eghbalnegad, Y. and Hajibarat, Z. 2017. Study of genetic diversity in local rose varieties (Rosa spp.) using molecular markers. *Banat's Journal of Biotechnology*, *8*(16), PP.148-157. **doi:10.7904/2068-4738-viii(16)-148**

Spataro, G., Tiranti, B., Arcaleni, P., Bellucci, E., Attene, G., Papa, R., Zeuli, P.S. and Negri, V. 2011. Genetic diversity and structure of a worldwide collection of *Phaseolus coccineus* L. *Theoretical and Applied Genetics*, *122*(7), PP.1281-1291. **doi: 10.1007/s00122-011-1530-y**

Tamboli, A.S., Yadav, P.B., Gothe, A.A., Yadav, S.R. and Govindwar, S.P. 2018. Molecular phylogeny and genetic diversity of genus Capparis (Capparaceae) based on plastid DNA sequences and ISSR markers. *Plant Systematics and Evolution*, *304*(2), PP.205-217. **doi: 10.1007/s00606-017-1466-z**

Tzitzikas, E.N., Monforte, A.J., Fatihi, A., Kypriotakis, Z., Iacovides, T.A., Ioannides, I.M. and Kalaitzis, P. 2009. Genetic diversity and population structure of traditional Greek and Cypriot melon cultigens (*Cucumis melo* L.) based on simple sequence repeat variability. *HortScience*, *44*(7), PP.1820-1824. **doi: 10.21273/hortsci.44.7.1820**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 383-394

Genetic fingerprinting of a part of Iranian melon germplasm using microsatellite markers

Tahereh Shahraki[1], Mohammad Reza Naroui Rad[2*], Hamid Reza Ganjali[3], Hossein Kamaladini[4], Hamid Reza Mobaser[3]

[1] Ph.D. Student in Plant Breeding, Department of Agriculture, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

[2] Horticultural Research Department, Agricultural and Natural Resources Center of Sistan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Zabol, Iran

[3] Department of Agriculture, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, Iran

[4] Department of Biology, College of Basic Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran

[*]Corresponding Author: mr.narouirad@areeo.ac.ir

Received: 29 January 2022 Accepted: 21 February 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.327080.1187**

Abstract

Introduction: Awareness of the extent of genetic diversity based on molecular markers is a rapid method that plays an important role in breeding programs. *Cucumis melo* L. is the scientific name for a melon that belongs to the Cucurbitaceae family (Kirkbride, 1993). This plant is a popular garden crop in warm and temperate climates across the globe, and Iran ranks fourth in the world in terms of output (FAOSTAT, 2019). Although several studies were conducted on the genetic structure of Iranian melons using various molecular markers including RAPD molecular markers (Feizian, 2004), ISSR (Maleki *et al*., 2018) and SSR microsatellite markers (Moayedi Nejad *et al*., 2010; Raghami *et al*., 2014) in recent years, due to the history of planting and the presence of huge genetic resources of melon, which makes Iran as one of the main centers of diversity of this crop in the world, research is inadequate.

Materials and Methods: Forty native melon stands used in this research were prepared from the melon germplasm of Iran Gene Bank. 4-5 leaves from each plant at the two- to three-leaf stage were collected and kept in a freezer at -80°C until DNA extraction. Their genomic DNA was extracted using the ZandBio plant kit. The markers used in this research were selected based on previous studies that were suggested by different researchers. Gradient PCR Vapo Protect thermocycler was used for polymerase chain reaction. PCR products were electrophoresed on 1.8% agarose gel in 1X TBE buffer and at 85 V for one hour. Observation and photographing of the gel was done with the help of UV-2100 geldoc device. Bands were scored as zero (not seeing a band) and one (observing a band). Evaluation of cluster analysis and genetic parameters such as observed heterozygosity, expected heterozygosity and number of effective alleles were obtained through Ntsys 2.1 and Popgene 1.32 software. To estimate the number of subpopulations (K) and distinguish pure and mixed genotypes, it was done using Structure software version 2.3 and using the Bayesian method (Pritchard *et al*., 2000).

Results and Discussion: All gene loci except CMCT44 primer were polymorphic. A total of 25 alleles with an average of 1.93 alleles per microsatellite gene locus were observed. The highest amount of polymorphic sites (84.62%) belonged to KC-357009 genotype.. The high amount of polymorphic sites confirms the effectiveness of SSR molecular markers in the genetic analysis of the investigated indigenous populations. The average content of polymorphism and expected heterozygosity information was obtained as 0.24 and 0.23, respectively. The observed high homozygosity values with an average of 0.84 indicate the low diversity within the investigated populations, which is a proof of the low level of variation between the populations and the high level of inbreeding. In the investigation of the genetic structure of the populations, the investigated populations were divided into two groups (sub-populations). The results of population structure analysis based on Bayesian method and UPGMA clustering showed that the classification of studied genotypes is independent of their geographical origin.

Conclusion: According to the values obtained from the above parameters, among the studied primers, gene locations CMCCA145, CMGA172 and CMCT134b are recommended for the analysis of melon germplasm collections in future research.
The results of this study can be used in hybridization programs. Crossing between the figures that have the least similarity will lead to the best results in achieving hybrids or achieving maximum separation in the generations after F1. Although genetic distance is not the only effective factor in identifying suitable parents for hybrid production and factors such as compatibility and genetic distance based on morphological traits should also be considered.

Keywords: Genetic structure, Heterozygosity, Local accessions, Molecular markers

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۱۱-۳۹۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر اندازه مزرعه بر کارایی مصرف منابع و پایداری تولید سیب زمینی با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان فریمان)

مهسا مصطفوی بابوکانی[۱]، یوسف هاشمی نژاد[۲]، محمد آرمین[۳*]، حمید مروی[۳]، کورش شجاعی نوفرست[۴]

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

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی و علوم دامی سبزوار، سبزوار، ایران

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

۴- بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

* مسئول مکاتبه: moh.armin@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲ /۰۳/۰۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.376465.1302**

چکیده

با هدف تبیین وضعیت پایداری در مزارع سیب زمینی با سطح زیر کشت مختلف، مطالعه‌ای با استفاده از تحلیل امرژی در شهرستان فریمان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. جمع‌آوری اطلاعات در نظام‌های مختلف تولید سیب‌زمینی از مزارع کوچک، متوسط و بزرگ (به ترتیب ۳۰، ۱۵ و ۵ مزرعه بر اساس فرمول کوکران) با استفاده از پرسش‌نامه‌ها صورت گرفت. برای محاسبه شاخص‌های امرژی، نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌های مورد بررسی به چهار دسته نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر رایگان، نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر رایگان، نهاده‌های غیر رایگان تجدیدپذیر و نهاده‌های غیر رایگان تجدیدناپذیر تقسیم شد و از داده‌های جمع‌آوری شده برای محاسبات شاخص‌های امرژی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که نظام‌های مختلف تولید سیب‌زمینی تأثیر متفاوتی بر سهم منابع مختلف از امرژی کل دارند. کشت در مزارع کوچک بر عکس مزارع بزرگ کمترین میزان امرژی را برای تولید محصول نیاز داشت. به‌علاوه، کشت در مزارع بزرگ از نظر منابع خریداری‌شده به کشت در مزارع متوسط شباهت بیشتری داشت. از سوی دیگر، مزارع بزرگ بر اساس شاخص نسبت بارگذاری محیطی دارای پایداری تولید بالایی در مقایسه با مزارع کوچک بودند و اختلاف قابل توجه‌ای با مزارع متوسط نداشتند. از آن‌جا که عملکرد اقتصادی مزارع بزرگ بسیار بیشتر از عملکرد اقتصادی مزارع متوسط و کوچک بود، سایر شاخص‌های امرژی به جز تجدیدپذیری در مزارع بزرگ نیز بالاتر از مزارع متوسط و کوچک بود. بر این اساس، کشت در مزارع بزرگ با استفاده از مکانیزاسیون بیشتر در این منطقه سبب بهبود عملکرد به‌همراه حفظ پایداری سیستم تولید شده است.

واژه‌های کلیدی: پایداری زیست‌محیطی، تحلیل سیستم، مساحت مزرعه، منابع طبیعی

مقدمه

ارتباط نزدیکی بین رشد جمعیت و توسعه سریع اقتصادی و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی وجود دارد. یکی از اصلی‌ترین مشکلات جوامع بشری در سال‌های آینده مدیریت مصرف انرژی است (Molajou *et al.*, 2021). در بوم‌نظام‌های کشاورزی وابستگی شدیدی به نهاده‌های غیر رایگان مانند تجهیزات مکانیکی، برق، آفت‌کش‌ها، سوخت، کود و ورودی‌های محیطی رایگان مانند نور خورشید، آب، خاک و باد و مواد آلی خاک وجود دارد و در نظام‌های مختلف تولید، برای افزایش پایداری از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود (Fallahinejad and Armin, 2022). برای تجزیه و تحلیل مناسب سیستم‌های کشاورزی باید سهم نهاده‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید در نظر گرفته شود. امروزه از تجزیه و تحلیل انرژی، تحلیل امرژی، تحلیل اگزرژی و ارزیابی چرخه حیات که مبتنی بر قوانین ترمودینامیکی می‌باشند و سهم نهاده‌ها و خدمات محیطی در نظام تولیدی بر مبنای واحد معادل را تعریف می‌کنند برای ارزیابی پایداری در اکوسیستم‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Hercher-Pasteur *et al.*, 2020). از بین روش‌های مختلف ارزیابی پایداری، تجزیه و تحلیل امرژی که توسط (Odum, 2000) توسعه داده شده مد نظر بسیاری از محققان در سالیان اخیر قرار گرفته است (Amiri *et al.*, 2019; Fallahinejad *et al.*, 2021; Moonilall *et al.*,

2020; Yasini *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2019). با استفاده از تحلیل امرژی یک بوم نظام، می‌توان تمام ورودی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر رایگان، انرژی‌های خریداری‌شده و خدمات را مورد ارزیابی قرارداد و پایداری بوم نظام تولیدی را ازلحاظ مصرف انرژی تبیین کرد، علاوه بر این می‌توان تأثیر محیطزیست و سرمایه‌های طبیعی را از طریق محاسبه ارزش منابع طبیعی و اقتصادی ممکن ساخت. هم‌چنین با کمک تکنیک امرزی می‌توان پایداری سیستم‌ها را کمی سازی نمود (Amiri *et al.*, 2019).

مطالعات متعددی توسط محققان در سراسر جهان با هدف ارزیابی عملکرد سیستم‌های تولید کشاورزی با استفاده از تحلیل امرژی انجام شده است. در بررسی پایداری نظام‌های تولید سیب‌زمینی گزارش شده است برای بوم نظام‌های بهاره سیب‌زمینی ورودی امرژی کل از بوم نظام پاییزه بیشتر است. بیشترین وابستگی به ورودهای محیطی در بوم نظام بهاره مشاهده شده اما در نظام پاییزه سهم ورودی‌های خریداری شده از ورودی‌های محیطی بیشتر بوده است. نظام تولید بهاره پایداری بیشتری از بوم نظام تولید پاییزه سیب‌زمینی داشته است که علت آن استفاده زیاد بوم نظام پاییزه از ورودی‌های خارجی مانند بذر و سوخت‌های فسیلی بود. اما بر اساس شاخص نسبت عملکرد امرژی و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی، برتری سطح توسعه اقتصادی در بوم نظام پاییزه از بهاره بیشتر بوده است (Shahhoseini *et al.*, 2020). اگرچه کارایی استفاده از منابع اقتصادی در بوم نظام بهاره بالاتر بود. در بررسی اثر مکانیزاسیون بر پایداری تولید چغندر قند در منطقه جوین سبزوار گزارش شده است با افزایش مکانیزاسیون سهم منابع تجدیدپذیر از امرژی کل کاهش و سهم منابع خریداری شده در کشت چغندرقند افزایش می‌یابد. شاخص پایداری امرژی کشت مکانیزه، در مقایسه با کشت سنتی ۸/۰۲ درصد و در مقایسه با کشت نیمه مکانیزه ۳۸/۷ درصد کاهش می‌یابد. اگرچه با وجود افزایش سهم منابع خریداری‌شده کارایی امرژی در مزارع مکانیزه افزایش و شاخص بارگذاری محیطزیست کاهش می‌یابد اما مکانیزاسیون باعث حفظ بیشتر محیطزیست در مقایسه با کشت سنتی خواهد شد (Fallahinejad and Armin, 2022) . در ارزیابی پایداری مبتنی بر امرژی در پنج بوم‌نظام عمده کشاورزی هیرمند در استان سیستان و بلوچستان پایداری بوم‌شناختی نظام تولید یونجه بیشتر از گندم، جو، هندوانه و خربزه گزارش شده است (Mirshekari *et al.*, 2023). تغییر شاخص‌های امرژی با تغییر الگوی کاشت در منطقه خوشاب سبزوار گزارش شده است. در این بررسی، بوم‌نظام زعفران و چغندرقند بالاترین شاخص پایداری محیطزیست را داشتند(Fallahinejad *et al.*, 2021). در ارزیابی دو سیستم کشت معیشتی و تجاری کلزا در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان گزارش شده است که می‌توان پایداری زیست‌محیطی سیستم تولید کلزای تجاری را از طریق بهبود ماده آلی خاک و جلوگیری از تخریب آن افزایش داد (Amiri *et al.*, 2019). در بررسی پایداری نظام‌های تولید سیر، پیاز و گندم در سیستان با استفاده از تکنیک امرژی، گزارش شده است که در تولید سیر کل امرژی حمایت‌کننده بیشتر از پیاز و در پیاز بیشتر از گندم است. در مقایسه با سایر نظام‌ها، در نظام تولید سیر از منابع غیر رایگان بیشتری استفاده شده بود. عملکرد امرژی در تولید گندم ۱۰/۴۳ درصد بیشتر از سیستم تولیدی پیاز و ۳۳/۱۵ درصد کمتر از سیستم تولیدی سیر بود (Yasini *et al.*, 2020). در تحلیل امرژی نظام‌های تولید محصولات زراعی و تلفیقی روستای بلند سیستان نشان داده شده است ادغام محصولات زراعی و دام ضمن کاهش ریسک اقتصادی و افزایش سودآوری، مزایای زیادی برای حفاظت از منابع خاک و آب و بهره‌وری از چرخه مواد مغذی را ایجاد می‌کند و نظام تولید یکپارچه محصولات زراعی-دامی به‌عنوان گزینه مناسب برای تولیدکنندگان جهت تنوع بخشیدن به عملیات کشاورزی جهت جلوگیری از مخاطرات، بهبود تولید اکولوژیکی محصولات و جلوگیری از آسیب‌های محیطی ناشی از فرسایش خاک و ازبین‌رفتن مواد مغذی می‌باشد (Golshani *et al.*, 2022).

سیب‌زمینی با نام علمی (*Solanum tuberosum* L) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیاست که در سال ۲۰۲۱ پنجمین رتبه تولید بعد از نیشکر، ذرت، برنج، گندم و نخل روغنی را دارا می‌باشد. بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی، ایران از لحاظ سطح زیر کشت سیب‌زمینی با حدود ۱۳۱۰۰۰ هکتار هجدهمین کشور دنیا و با تولید حدود ۴۵ میلیون تن نود و چهارمین کشور تولید کننده سیب‌زمینی در سطح جهان است. در همین حال بیست و چهارمین کشور آسیایی از لحاظ تولید و از لحاظ سطح زیر کشت جزو چند کشور اول آسیا است

(Anonymous, 2022). خراسان رضوی سومین تولیدکننده کل محصولات زراعی کشور است، ولی از لحاظ سطح زیر کشت سیب‌زمینی با ۴۴۷۶ هکتار، دوازدهمین استان کشور و از لحاظ میزان تولید با ۱۴۷ هزار تن سیزدهمین استان تولیدکننده سیب‌زمینی کشور می‌باشد. میزان عملکرد سیب‌زمینی در واحد سطح در استان خراسان رضوی حدود ۳۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که در مقایسه با میانگین کشوری که حدود ۳۶۹۰۰ کیلوگرم در هکتار است، به‌طور چشم‌گیری کمتر است (Anonymous, 2021). مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد سیب زمینی، عدم استفاده از بذر گواهی شده، تنش خشکی، بافت نامناسب خاک، خاک‌دهی نا مناسب پای بوته و تراکم کم بوته می‌باشد. در تحقیقات انجام شده در بررسی پایداری سیستم‌های تولید با استفاده از تحلیل امرژی تاکنون در مورد تأثیر اندازه مزرعه بر پایداری تولید سیب زمینی مطالعه‌ای انجام نشده است. از این‌رو، در مطالعه حاضر، تأثیر اندازه مزرعه بر پایداری تولید سیب زمینی با استفاده از رویکرد امرژی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش برای ارزیابی اثر اندازه مزرعه بر پایداری تولید سیب‌زمینی با استفاده از تحلیل امرژی اجرا شد. شهرستان فریمان در شرق استان خراسان رضوی با عرض جغرافیایی ۵۹°۵۱′ و طول جغرافیایی ۳۵°۴۲′ واقع گردیده است. میانگین درجه حرارت سالیانه در منطقه فریمان ۱۴/۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین سالیانه سرعت باد ۳/۲ متر بر ثانیه و مجموع بارش سالانه در حدود ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر است.

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه با استفاده از پرسش‌نامه چهره‌به‌چهره از کشاورزان جمع‌آوری شد. برای تعیین تعداد نمونه از فرمول کوکران بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده شد (Ahmad and Halim, 2017).

$$n = \frac{N(s\times t)^2}{(N-1)d^2+(s\times t)^2} \quad (۱)$$

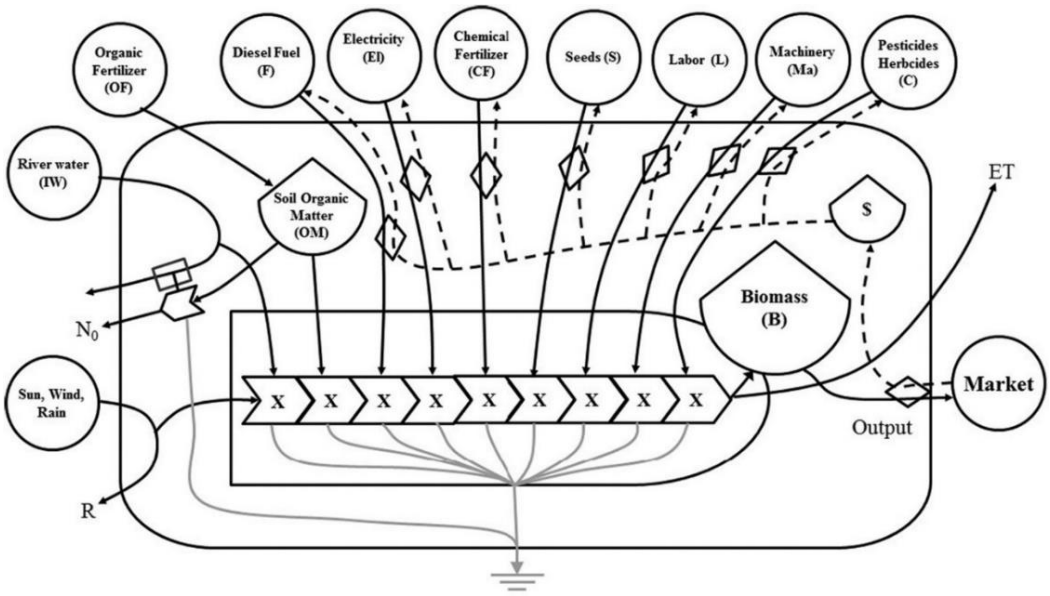
$$d = \frac{t\times s}{\sqrt{n}} \quad (۲)$$

در این معادلات t: ۱/۹۶ (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، s: پیش برآورد انحراف معیار جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب، N: حجم جامعه، و n: حجم نمونه است. تعداد مزارع کوچک، متوسط و بزرگ در این مطالعه به ترتیب ۳۰، ۱۵ و ۵ مزرعه بود. نمونه‌های خاک از مکان‌های مورد مطالعه برای ارزیابی نحوه تغییرات کربن آلی برداشت شد. در هر مکان نمونه‌های خاک در مرکز و چهارگوشه هر مزرعه با استفاده از یک اوگر برداشته شده و برای تشکیل یک نمونه مرکب روی هم ریخته شد. نمونه‌های خاک پس از آماده‌سازی و حذف قطعات سنگ و ریشه‌های قابل مشاهده در معرض هوا خشک شده و از غربال یک میلی‌متری عبور داده شدند. کربن آلی نمونه‌های خاک با استفاده از روش والکی و بلک اندازه‌گیری شد (Jha *et al.*, 2014). هم‌چنین عملکرد اقتصادی (غده) در هر مزرعه تحقیقاتی اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل امرژی

برای محاسبه شاخص‌های امرژی، ابتدا نهاده‌های محیطی رایگان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و نهاده‌های غیر رایگان برای هر نظام تعیین و برای سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اندازه‌گیری و برآورد گردید. از داده‌های جمع‌آوری شده در این دوره زمانی برای محاسبات ساختار امرژی ورودی و محاسبه شاخص‌های امرژی استفاده شد. نهاده‌های مورد استفاده در نظام‌های مورد بررسی به سه دسته نهاده‌های رایگان تجدیدپذیر، نهاده‌های رایگان تجدیدناپذیر و نهاده‌های غیر رایگان تقسیم بندی شد. داده‌های مورد نیاز از پایگاه اطلاعات جهاد کشاورزی، مصاحبه چهره‌به‌چهره با استفاده از پرسش‌نامه و اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات محقق در طول دوره مطالعه به‌دست آمد (Amiri *et al.*, 2019; Asgharipour *et al.*, 2018; Fallahinejad and Armin, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2021; Shahhoseini *et al.*, 2020; Yasini *et al.*, 2020).

تعریف محدوده مکانی و زمانی نظام، اولین گام برای تحلیل امرژی به حساب می‌آید؛ در ادامه برای تشخیص مؤلفه‌های اصلی نظام، روابط آن‌ها، جریان انرژی و مواد و نهاده‌های اقتصادی، دیاگرام امرژی نمادهای جریان انرژی ترسیم می‌شود. شکل ۱ دیاگرام تجمعی جریان امرژی برای نظام‌های تولیدی را نمایش می‌دهد. این کار برای مدیریت روابط بین اجزای اصلی و فرایندهای سودآور سیستم ضروری است و هم‌چنین پایه‌های زیست‌محیطی اکوسیستم و ارتباط آن‌ها را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی نظام‌های تولید سیب‌زمینی در منطقه فریمان

Figure 1- Emergy flow diagram of potato production systems in Fariman region

مرزهای نظام توسط جعبه مستطیلی شکل، ورودی‌های طبیعی در سمت چپ شکل، ورودی‌های بازاری در قسمت بالای شکل و عملکرد مفید نظام‌های تولیدی در سمت راست شکل نشان داده شده است. برای تجزیه و تحلیل امرژی در نظام‌های تولید و محاسبه شاخص‌های امرژی، ورودی‌ها به چهار نوع تقسیم شدند: نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر رایگان (R)[1]، مانند آفتاب، باران و باد؛ نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر رایگان (N)[2]، مانند فرسایش خاک و منابع مورد استفاده برای فرایند ساخت و ساز خاک؛ نهاده‌های غیر رایگان تجدیدپذیر (FR)[3] مانند آب، بذر، کود آلی که از خارج از نظام خریداری شده‌اند؛ و نهاده‌های غیر رایگان تجدیدناپذیر (FN)[4] نظیر ماشین آلات، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و سوخت و برق. سایر مطالعات نشان دادند که ۹۰ درصد از نیروی کارگری از منابع غیرقابل‌تجدید حاصل می‌شود و در N قرار می‌گیرد، و ۱۰ درصد از نیروی کارگری از منابع طبیعی تجدیدپذیر به‌دست می‌آید و R می‌باشد(Amiri *et al.*, 2019; Fallahinejad *et al.*, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2021; Yasini *et al.*, 2020). برای جلوگیری از شمارش مضاعف، تنها بزرگ‌ترین مقدار منابع طبیعی تجدیدپذیر (خورشید، باد و باران) که با هم پیوند خورده‌اند و محصول مشترک زیست زمین سپهر می‌باشند، برای برآورد کل R در نظر گرفته شدند. داده‌های خام منابع طبیعی تجدیدپذیر، از جمله تابش خورشید، بارش و باد، از ایستگاه هواشناسی فریمان واقع در ۲۵ کیلومتری نظام‌های مورد مطالعه به‌دست آمد. تمام ساختمان‌ها، ماشین‌آلات و مواد مورد استفاده در سیستم‌ها به جریان سالانه بر اساس طول عمر پیش‌بینی شده خود تبدیل شدند. طول عمر ماشین‌آلات ۱۰ سال و برای ساختمان‌ها ۴۰ سال تخمین زده شد (Asgharipour *et al.*, 2018). معادل انرژی نهاده‌ها بر اساس ضرایب تبدیل مربوط تخمین‌زده شد، که از منابع به‌دست آمد (Shahhoseini *et al.*, 2020) محتوای انرژی خروجی‌ها با استفاده از روش توصیف شده ایزو ۱۹۲۸ توسط سوزاندن در بمب کالریمتری تعیین شد.

همه جریان‌های ورودی و خروجی انرژی و مواد برای هر نظام تولیدی محاسبه و این مقادیر با ضرب‌کردن در ضرایب مربوط، به واحد امرژی خورشیدی (sej) تبدیل شدند. ضرایب مربوطه از مطالعات قبلی برآورد شد (Amiri *et al.*, 2019; Asgharipour *et al.*, 2018; Brown and Ulgiati, 2005; Fallahinejad and Armin, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2022; Fallahinejad *et al.*, 2021; Lefroy and Rydberg, 2003; Yasini *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2012).

1- Renewable environmental inputs
2- Non-renewable environmental inputs
3- Renewable purchased inputs
4- Non-renewable purchased inputs

جدول ۱- مشخصات و فرمول‌های شاخص‌های امرژی مورد استفاده در ارزیابی سیستم‌های تولید

Table 1- Specifications and formulae of the emergy-based indices used in the evaluation production systems

شاخص‌ها Indices	روابط Formula	مشخصات Specifications
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs	R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان Renewable flows from free local resources
نهاده‌های زیست‌محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	N	جریان‌های بالقوه تجدیدپذیر محلی از منابع محلی آزاد به روشی غیر قابل تجدید استفاده می‌شوند. Local potentially renewable flows from free local resources that are being used in a non-renewable manner
ورودی‌های خریداری شده قابل تجدید Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع خریداری شده Renewable flows from purchased resources
ورودی‌های خریداری شده غیر قابل تجدید Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع خریداری شده Non-renewable flows from purchased resources
عملکرد اقتصادی Economic yield	E	عملکرد غده Tuber yield.
کل ورودی امرژی Total emergy input	$U = R+ N+F_R+F_N$	کل منابع انرژی مورد نیاز برای حمایت از سیستم تولید Total emergy resources required to support the production system
کل خروجی امرژی Total emergy output	$Y = R+N_0+F$	انرژی کل محصولات سیستم Total emergy of system products
ارزش واحد امرژی برای بازده اقتصادی Unit emergy value for economic yield	$UEV_E = U / E$ (sej J^{-1})	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک خروجی اقتصادی بر حسب ژول، معیاری برای کارایی سیستم. Amount of emergy required to produce an economic output in joules, a measure of system efficiency.
امرژی ویژه Specific emergy	SE = U / W	مقدار امرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم اندازه‌گیری می‌شود. W وزن قابل دسترس محصول است. Amount of emergy required to produce an output unit measured in grams. W is the accessible weight of the product.
تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability	$\%R = (R+F_R) / U$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط سیستم Percentage of renewable emergy used by the system
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR = U / F_R+F_N$	توانایی یک فرایند برای استفاده از منابع محلی تجدیدپذیر و غیر قابل‌تجدید زمانی که منابع اقتصادی از خارج به‌عنوان ورودی سرمایه در سیستم سرمایه‌گذاری می‌شود. Ability of a process to use local renewable and non-renewable resources when economic resources from outside are invested in the system as a capital input.
نسبت بار زیست‌محیطی Environmental loading ratio	$ELR = (N+F_R+F_N) / R$	نسبت امرژی خریداری شده و تجدیدناپذیر مورد استفاده به نهاده‌های تجدیدپذیر از یک منطقه تولید معادل در محیط محلی. این شاخص معیاری برای بارگذاری تولید در محیط محلی است. The ratio of purchased and non-renewable emergy used to the renewable inputs from an equivalent production area in the local environment. This index is a measure of production loading on the local environment.
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio	$ELR^* = (N+F_N) / (R+F_R)$	نسبت انرژی‌های تجدیدناپذیر به انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده در سیستم. ELR* معیار معکوس پایداری سیستم است. The ratio of non-renewable emergy to renewable emergy used by the system. ELR* is an inverse measure of the sustainability of the system.
شاخص پایداری امرژی استاندارد Emergy sustainability ratio	ESI = EYR / ELR	نسبت بازده سیستم به ازای واحد ورودی خریداری شده به کل بارگذاری در سیستم محلی. سیستم‌هایی با بازده بالاتر و نهاده ورودی کمتر پایدارتر هستند. The ratio of system yield per unit of purchased input to the total loading on the local system. Systems with higher yields and lower loadings are more sustainable.
شاخص پایداری امرژی اصلاح شده Modified emergy sustainability ratio	ESI* = EYR / ELR*	این شاخص بازده سیستم را در رابطه با معیار معکوس پایداری سیستم (ELR*)، نشان می‌دهد. سیستمی با ESI* بالاتر پایدارتر است. This index shows the system yield in relation to an inverse measure of system sustainability, ELR*. A system with a higher ESI* is more sustainable.
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	EIR = $(F_N+F_R) / (R+N)$	نسبت امرژی خریداری‌شده به آزاد نشان‌دهنده شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و تطبیق آن با منابع رایگان تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محیط محلی است. The ratio of purchased to free emergy indicates the intensity of economic investment and its matching to the free renewable and non-renewable resources of the local environment.
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده Modified emergy investment ratio	EIR* = (FN + FR) / R	نسبت منابع خریداری‌شده به منابع زیست‌محیطی تجدیدپذیر. The ratio of purchased resources to renewable environmental resources, alone.

شاخص‌های مبتنی بر امرژی متعددی برای ارزیابی وضعیت محیطی، بوم‌شناختی و اقتصادی نظام‌ها به کار رفته است (Brown and Ulgiati, 2005; Odum *et al.*, 2000; Odum, 1996) در این مطالعه، چگالی امرژی[1](ED)، نسبت تبدیل امرژی[2] (Tr)، نسبت عملکرد امرژی[3](EYR)، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی[4](EIR)، نسبت بارگذاری محیطی[5](ELR) و شاخص پایداری امرژی[6] (ESI) و کسر تجدیدپذیری[7](%R) که به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان قابل اعتمادترین شاخص‌ها برای ارزیابی امرژی اکوسیستم شناخته شده‌اند برای مقایسه سه نظام به کار گرفته شد (Nadalini *et al.*, 2021). فرمول و روش محاسبه این شاخص‌ها که برای ارزیابی رفتار نظام‌های مورد مطالعه به کار رفته‌اند در جدول ۱ توصیف شده است.

نتایج و بحث

تحلیل امرژی و ساختار نهاده‌های امرژی

کل امرژی حمایت کننده نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب $۴/۲۱\times۱۰^{۱۶}$، $۵/۳۱\times۱۰^{۱۶}$ و $۵/۷۸\times۱۰^{۱۶}$ ام ژول خورشیدی در هکتار در سال بود. بدین ترتیب در مزارع بزرگ تقریباً ۳۷/۲ درصد بیشتر از مزارع کوچک و ۸/۹۲ درصد بیشتر از مزارع متوسط امرژی مصرف شده است. از عوامل مؤثر در مصرف بیشتر امرژی در نظام تولید در مزارع بزرگ نیاز بیشتر به استفاده از ماشین‌آلات، مصرف بیشتر کودهای آلی و مصرف سوخت نسبت به نظام‌های تولید در مزارع کوچک و متوسط بود.

نهاده‌های رایگان محیطی تجدیدپذیر (R)

در میان نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر در هر سه نظام امرژی باران بیشترین مقدار را دارا بود. برای اجتناب از شمارش مضاعف امرژی باران به اضافه انرژی خورشید مورد استفاده در فتوسنتز به‌عنوان کل امرژی رایگان محیطی تجدیدپذیر در نظر گرفته شد. مقدار نهاده‌های محیطی تجدیدپذیر برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۱/۴۲، ۱/۱۳ و ۱/۰۴ درصد از کل امرژی‌های ورودی بود (جدول ۲). سهم کمتر منابع خریداری شده در سیستم کشت سنتی در مقایسه با دو سیستم کشت مکانیزه و نیمه‌مکانیزه چغندر قند در منطقه جوین سبزوار به دلیل بیشتر بودن سهم منابع قابل تجدید محیطی بوده است (Fallahinejad *et al.*, 2021). در پنج سیستم مختلف تغذیه‌ای ذرت نشان داده شد که منابع قابل تجدید محیطی مورد استفاده در همه سیستم‌های کشت تقریباً مشابه بود. اگرچه در سیستم‌های تغذیه‌ای که در آن‌ها بیوچار استفاده شده بود به‌دلیل استفاده از نیروی انسانی بیشتر و مواد تجدیدپذیری که در تولید بیوچار استفاده می‌شود سهم منابع قابل تجدید محیطی مورد استفاده بیشتر بود (Moonilall *et al.*, 2020). اعتقاد بر این است انجام فعالیت‌های به‌زراعی مناسب مانند استفاده از ارقام با طول فصل رشد بیشتر و انتخاب تاریخ کاشت مناسب سبب می‌شود که حداکثر استفاده از منابع محیطی انجام شود (Fatima *et al.*, 2020).

نهاده‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر غیر رایگان (FR و FN)

در هر سه نظام، منابع غیر رایگان بیشترین سهم را از کل نهاده‌های امرژی به خود اختصاص دادند (به ترتیب ۶۰/۲۵، ۸۰/۸۳ و ۷۱/۲۷ درصد برای سه نظام تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ). هم‌چنین تفاوت اصلی میان نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ در استفاده از نهاده‌های غیر رایگان بود که برای نظام‌های تولید در مزارع متوسط ۶۸/۹۹ بیشتر از نظام‌های تولید در مزارع کوچک و تنها ۴/۱۲ درصد بیشتر از نظام‌های تولید در مزارع بزرگ بود (جدول ۳). این تفاوت نشان‌دهنده سطح بالاتر مصرف نهاده‌ها در نظام تولید در مزارع متوسط و بزرگ است. سهم زیاد نهاده‌های غیر رایگان که معمولاً از خارج نظام وارد می‌شود، نشان می‌دهد که هر سه نظام مورد مطالعه، نظام‌هایی باز می‌باشند که به شدت تحت تأثیر ورودی‌های خریداری شده از اقتصاد قرار می‌گیرند.

در بین نهاده‌های خریداری شده در نظام تولید در مزارع کوچک، کود آلی بیشترین سهم (۲۹/۹۶ درصد) را داشت و پس از آن کود فسفر (۱۰/۴ درصد)، کود پتاس (۶/۶۹ درصد)، کود نیتروژن (۵/۱۵ درصد) و بذر (۴/۱۴ درصد) بیشترین سهم را داشتند.

1- Emergy density
2- Transformity
3- Emergy yield ratio
4- Emergy Investment Ratio
5- Environmental Loading Ratio
6- Emergy Sustainability Index
7- Renewable fraction

جدول ۲- جریان‌های طبیعی و اقتصادی سیب زمینی در سیستم‌های مختلف تولید (واحد در هکتار).
واحد، ضریب تجدیدپذیری (کسر انرژی تجدیدپذیر) و نمادهای کلیدی مقادیر در این جدول، در شکل ۱ نیز آورده شده است.

Table 2- Natural and economic flows of the potato at different production systems (units ha^{-1}). The unit and the renewability factor (fraction renewable energy) and the symbols keying the values in this table to Figure 1 are also given.

	Unit	ضریب تجدیدپذیری renewability factor	مقیاس کوچک Small-scale	مقیاس متوسط medium-scale	مقیاس بزرگ Large-scale
ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر Renewable Environmental Input					
انرژی خورشیدی Solar energy	J	1	4.41E+13	4.41E+13	4.41E+13
باد، انرژی جنبشی Wind, kinetic energy	J	1	4.89E+10	4.08E+10	4.08E+10
باران، شیمیایی Rain, chemical	J	1	2.47E+10	2.47E+10	2.47E+10
باران، ژئوپتانسیل Rain, geopotential	J	1	5.40E+07	5.40E+07	5.40E+07
ورودی‌های زیست‌محیطی تجدید ناپذیر Non-renewable Environmental Input					
آبیاری Irrigation		1	3.87E+10	3.07E+10	2.87E+10
کاهش ماده آلی خاک SOM reduction	J	0	5.65E+10	6.65E+10	7.65E+10
فرسایش خاک Soil erosion	g	0	2.35E+06	2.35E+06	2.35E+06
ورودی‌های خریداری شده Purchased inputs					
کار انسانی Human labour	J	0.1	4.76E+08	4.34E+08	3.84E+08
دستگاه Machinery	g		4.12E+03	5.21E+03	5.71E+03
کود ارگانیک Orhanic Fertilizer	g	0.8	1.25E+06	2.50E+06	2.00E+06
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	g	0	6.98E+04	1.01E+05	1.35E+05
کود فسفر Phosphorus fertilizer	g	0	1.50E+05	1.50E+05	1.75E+05
کود پتاس Potash fertilizer	g	0	1.00E+05	2.25E+05	2.25E+05
کود میکرو Micro fertilizer	g or Li	0	1.00E+04	4.00E+04	5.00E+04
آفت‌کش Pesticide	g or Li	0	3.00E+03	4.50E+03	8.00E+03
علف‌کش Herbicide	g or Li	0	2.00E+03	1.00E+03	3.00E+03
برق Electricity	J	0.01	5.70E+03	5.00E+03	5.10E+03
بذر Seed	IRR	0.43	2.50E+07	2.00E+07	2.00E+07
نصب سیستم آبیاری Installation of irrigation system	IRR	0	0.00E+00	5.00E+06	5.00E+06
سوخت فسیلی و روان‌کننده Fossil fuel and lubricant	g	0	9.34E+09	3.83E+09	1.87E+10
خروجی Output					
بازده اقتصادی Economic yield	gr		2.95E+07	2.99E+07	4.87E+07
بازده اقتصادی Economic yield	J		7.77E+12	7.89E+12	1.29E+13

جدول ۳- تلفیق امرژی و ساختار ورودی سیب زمینی در سیستم‌های مختلف تولید ($sej\ ha^{-1}$)

Table 3- Emergy synthesis and input structure of the potato at different production systems ($sej\ ha^{-1}$)

		واحد Unit	ضریب تبدیل امرژی Transformity	مقیاس کوچک Small-scale		مقیاس متوسط medium-scale		مقیاس بزرگ Large-scale	
				-	%	-	%	-	%
Renewable Environmental Input	**ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدپذیر**								
Solar energy	انرژی خورشیدی	J	1.00E+00	4.41E+13	0.10%	4.41E+13	0.08%	4.41E+13	0.08%
Wind, kinetic energy	باد، انرژی جنبشی	J	1.25E+03	6.11E+13	0.15%	5.10E+13	0.10%	5.10E+13	0.09%
Rain, chemical	باران، شیمیایی	J	2.25E+04	5.55E+14	1.32%	5.55E+14	1.05%	5.55E+14	0.96%
Rain, geopotential	باران، ژئوپتانسیل	J	1.34E+04	7.24E+11	0.00%	7.24E+11	0.00%	7.24E+11	0.00%
Subtotal	جمع فرعی			5.99E+14	1.42%	5.99E+14	1.13%	5.99E+14	1.04%
Non-renewable Environmental Input	**ورودی‌های زیست‌محیطی تجدید ناپذیر**								
Irrigation	آبیاری		1.92E+05	7.43E+15	17.64%	0.00E+00	0.00%	5.51E+15	9.53%
SOM reduction	کاهش ماده آلی خاک	J	9.36E+04	5.29E+15	12.55%	6.22E+15	11.73%	7.16E+15	12.39%
Soil erosion	فرسایش خاک	g	1.27E+09	2.99E+15	7.09%	2.99E+15	5.63%	2.99E+15	5.16%
Subtotal	جمع فرعی			1.57E+16	37.27%	9.21E+15	17.35%	1.57E+16	27.08%
Purchased inputs	**ورودی‌های خریداری شده**								
Human labour	کار انسانی	J	2.22E+06	1.06E+15	2.51%	9.63E+14	1.81%	8.52E+14	1.47%
Machinery	دستگاه	g	1.01E+10	4.16E+13	0.10%	5.26E+13	0.10%	5.77E+13	0.10%
Orhanic Fertilizer	کود ارگانیک	g	2.96E+08	1.26E+16	29.97%	2.53E+16	47.58%	2.02E+16	34.95%
Nitrogen fertilizer	کود نیتروژن	g	3.09E+10	2.16E+15	5.12%	3.13E+15	5.90%	4.17E+15	7.22%
Phosphorus fertilizer	کود فسفر	g	2.82E+10	4.23E+15	10.04%	4.23E+15	7.97%	4.94E+15	8.54%
Potash fertilizer	کود پتاس	g	2.23E+09	2.82E+15	6.69%	6.35E+15	11.96%	6.35E+15	10.98%
Micro fertilizer	کود میکرو	g or Li	2.96E+08	2.82E+14	0.67%	1.13E+15	2.13%	1.41E+15	2.44%
Pesticide	آفت‌کش	g or Li	1.90E+10	8.46E+13	0.20%	1.27E+14	0.24%	2.26E+14	0.39%
Herbicide	علف‌کش	g or Li	1.90E+10	3.80E+13	0.09%	1.90E+13	0.04%	5.70E+13	0.10%
Electricity	برق	J	2.31E+05	1.32E+09	0.00%	1.16E+09	0.00%	1.18E+09	0.00%
Seed	بذر	IRR	6.76E+07	1.69E+15	4.01%	1.35E+15	2.55%	1.35E+15	2.34%
Installation of irrigation system	نصب سیستم آبیاری	IRR	2.50E+08	0.00E+00	0.00%	3.38E+14	0.64%	3.38E+14	0.58%
Fossil fuel and lubricant	سوخت فسیلی و روان‌کننده	g	8.60E+04	8.03E+14	1.91%	3.29E+14	0.62%	1.61E+15	2.78%
Renewable purchased inputs (FR)	نهاده‌های غیر رایگان تجدیدپذیر			4.44E+14	1.05%	3.67E+14	0.69%	3.56E+14	0.62%
Non-renewable purchased inputs (FN)	نهاده‌های غیر رایگان تجدیدناپذیر			2.54E+16	60.25%	4.29E+16	80.83%	4.12E+16	71.27%
Subtotal	جمع فرعی			2.58E+16	61.30%	4.33E+16	81.52%	4.16E+16	71.88%
Total	**جمع کل**			**4.21E+16**	**100%**	**5.31E+16**	**100%**	**5.78E+16**	**100%**

در نظام تولید در مزارع متوسط بیشترین سهم امرژی مصرفی مربوط به کود آلی (۴۷/۵۸ درصد) بود و پس از آن کود پتاس (۱۱/۹۶ درصد)، کود فسفر (۷/۹۷ درصد)، کود نیتروژن (۵/۹۰ درصد) و بذر (۲/۵۵ درصد) بالاترین سهم را داشتند. در نظام تولید در مزارع بزرگ، کود آلی (۳۴/۹۵ درصد) بیشترین سهم را داشت و پس از آن کود پتاس (۱۰/۹ درصد)، کود فسفر (۸/۵۴ درصد)، کود نیتروژن (۷/۲۲ درصد) و سوخت (۲/۷۸ درصد) بیشترین سهم را داشتند. علف‌کش، الکتریسیته، ماشین‌آلات و آفت‌کش در هر سه نظام سهم بسیار ناچیزی در میان نهاده‌های امرژی داشتند (کمتر از ۱ درصد). در اکوسیستم‌های زراعی کلزا، وابستگی به نهاده‌های بازار و غیر قابل تجدید بسیار بیشتر از نهاده‌های زیست‌محیطی و تجدیدپذیر گزارش شده است و سوخت‌های فسیلی با ۵۹/۹۴ درصد از کل نهاده امرژی بالاترین سهم جریان امرژی را در اکوسیستم‌های زراعی کلزا، به خود اختصاص دادند (Shahhoseini and Kazemi, 2022).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های مبتنی بر امرژی

برای نمایش تفاوت بین نظام‌های مورد مطالعه از نظر کارایی استفاده از منابع، اثرات محیطی و مزایای اقتصادی و هم‌چنین برای تعیین مناسب‌ترین عملیات مدیریتی جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار محاسبه و مقایسه شاخص‌های امرژی سودمند می‌باشد. مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های مبتنی بر امرژی برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ

Table 4- Emergy indices for potato production systems in small, medium and large farms

	مقیاس کوچک Small-scale	مقیاس متوسط medium-scale	مقیاس بزرگ Large-scale
ضریب تبدیل Transformity	5.42E+03	6.73E+03	4.50E+03
امرژی ویژه Specific emergy	1.43E+09	1.78E+09	1.19E+09
کسر تجدیدپذیری امرژی R%	2.48%	1.82%	1.65%
نسبت عملکرد امرژی EYR	0.613	0.815	0.719
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی EIR	1.58E+00	4.41E+00	2.56E+00
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی اصلاح شده EIR*	4.31E+01	7.22E+01	6.93E+01
نسبت بار زیست‌محیطی ELR	6.93E+01	8.76E+01	9.55E+01
نسبت بار زیست‌محیطی اصلاح شده ELR*	2.54E-02	1.85E-02	1.68E-02
شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد ESI	8.85E-03	9.31E-03	7.53E-03
شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده ESI*	2.42E+01	4.40E+01	4.28E+01

عملکرد و ضرایب تبدیل

بنا بر اطلاعات گردآوری شده عملکرد غده در این منطقه به ترتیب به طور میانگین ۲۹/۴۵، ۲۹/۸۷ و ۴۸/۷ تن در هکتار است. با تقسیم کل امرژی نهاده‌های ورودی هر نظام بر محتوای انرژی نهاده‌ها بر حسب ژول یا بر حسب گرم، ضریب تبدیل ($sej\ J^{-1}$) یا امرژی ویژه هر محصول ($sej\ g^{-1}$)، که معیاری از کارایی فرایند تولید است، محاسبه می‌شود. مقدار ضریب تبدیل یا امرژی ویژه بالاتر به مفهوم کارایی پایین‌تر فرایند تولید در محیط و رقابت اقتصادی در دوره‌های زمانی طولانی است (Odum, 1996).

معادل ضریب تبدیل برای سه نظام در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب $۵/۴۲\times۱۰^{۳}$، $۶/۷۳\times۱۰^{۳}$ و $۴/۰۵\times۱۰^{۳}$ام ژول خورشیدی در ژول انرژی محصول است. هم‌چنین امرژی ویژه برای سه نظام در مزارع کوچک، متوسط و

بزرگ به ترتیب ۱/۴۳×۱۰^۹، ۱/۷۸×۱۰^۹ و ۱/۱۹×۱۰^۹ام ژول خورشیدی در گرم محصول بود. در مقایسه ضریب تبدیل در سیستم‌های مختلف کشت سیب‌زمینی در استان گلستان نشان داده شده است که جریان خروجی ورودی برای تولید هر واحد، در سیستم کاشت مستقیم پاییزه نسبت به سیستم‌های کاشت مستقیم بهاره و تابستانه کمتر است. در سیستم کاشت مستقیم پاییزه، مقادیر نهاده‌های محیطی آزاد با ضریب تبدیل کمتر، از دو سیستم دیگر بیشتر بوده است، در حالی که نرخ جریان آزاد ورودی‌های زیست‌محیطی تجدیدناپذیر مانند آب‌های زیرزمینی و نهاده‌های بازار، مانند سموم شیمیایی که دارای ضریب تبدیل بالاتری هستند، کمتر بوده است (Shahhoseini *et al.*, 2020).

کسر تجدیدپذیری امرژی (R%)

این کسر از تقسیم منابع ورودی تجدید پذیر امرژی به ورودی امرژی کل محاسبه می‌شود. به‌طورکلی نظام‌های تولیدی یا فرایندهایی با بخش بزرگتری از منابع امرژی تجدید پذیر احتمالاً پایدارترند و در رقابت اقتصادی نسبت به آن‌هایی که از منابع غیر قابل تجدید امرژی استفاده می‌کنند، موفق‌تر می‌باشند (Brown and Ulgiati, 2005). وابستگی سه نظام تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به نهاده‌های امرژی‌های تجدیدپذیر به ترتیب ۲/۴۸، ۱/۸۲ و ۱/۶۵ درصد بود. به عبارت دیگر به ترتیب ۲/۴۸، ۱/۸۲ و ۱/۶۵ درصد از کل نهاده‌های امرژی از منابع تجدیدپذیر به‌دست می‌آید. دو نظام تولید در مزارع متوسط و بزرگ به‌دلیل مصرف مقادیر زیاد کودهای شیمیایی برای تأمین نیازهای غذایی در مقایسه با سایر مطالعات وابستگی بیشتری به نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر داشتند. در بررسی اندازه مزرعه در تولید گندم در منطقه جوین سبزوار بر کارایی امرژی در مساحت‌های مختلف گزارش شده است R با افزایش اندازه مزرعه کاهش می‌یابد و از ۱۶/۴۳ درصد در مزارع کوچک به ۸/۱۱ درصد در مزارع بزرگ در تولید گندم می‌رسد. اتکای بیشتر به نیروی انسانی و استفاده کمتر از نهاده‌های شیمیایی در مزارع در مقیاس کوچک منجر به R٪ بالاتری می‌شود. در مقابل، سهم نهاده‌های خریداری‌شده یا منابع تجدیدناپذیر در مزارع بزرگ یا متوسط بیشتر است که منجر به کاهش R٪ می‌شود (Fallahinejad *et al.*, 2022). ضریب تجدیدپذیری در کشت تجاری کلزا ۷۳/۳۶ درصد کمتر از کشت معیشتی گزارش شده است. استفاده از کودهای زیستی به همراه مدیریت مناسب عملیات زراعی سبب افزایش کیفیت خاک می‌گردد و سبب کاهش مقدار انرژی تجدیدناپذیر ورودی به نظام تولید می‌شود که این امر سبب کاهش مقدار فرسایش و تجزیه خاک، کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی و افزایش ظرفیت نگهداری آب و ذخیره کربن می شود؛ که در نتیجه موجب شد وابستگی سیستم تولید به منابع خریداری شده غیرقابل تجدید کمتری شده و از منابع قابل تجدید محیطی یا خریداری شده بیشتراستفاده کند (Amiri *et al.*, 2019).

نسبت عملکرد امرژی (EYR)

این شاخص به شکل نسبت کل عملکرد امرژی به امرژی خریداری شده از بازار تعریف می‌شود و به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان معیاری برای نشان‌دادن توانایی یک فرایند برای جذب منابع تجدیدپذیر و غیر قابل تجدید محلی با سرمایه‌گذاری روی منابع اقتصادی استفاده می‌شود. برای EYR بالاتر، نسبت بالاتری از منابع رایگان امرژی در فرایند استفاده می‌شود (Brown and Ulgiati, 2005). حداقل مقدار قابل دست‌یابی EYR یک می‌باشد که نشان‌دهنده سهم صفر منابع محلی در فرایند تولید و اتکای کامل به منابع خریداری شده از بازار است (Amiri *et al.*, 2019). شاخص EYR برای سه نظام تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ ۰/۶۱، ۰/۸۱ و ۰/۷۲ محاسبه شد که به روشنی با وجود تلفات زیاد مواد آلی خاک و فرسایش خاک که هر دو در طبقه نهاده‌های غیر بازاری دسته‌بندی می‌شوند، مقدار وابستگی پایین این سه نظام به منابع رایگان محیطی را نشان می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد لزوماً بهره‌برداری یک نظام از منابع دردسترس محلی موجود نمی‌تواند بیانگر کارآمدی نظام باشد. در واقع، در مقایسه با سیستم‌های صنعتی، سیستم‌های کشاورزی سنتی توانایی خوبی برای بهره‌برداری از منابع رایگان محلی دارند، اما معمولاً با بهره‌وری تولید کم و بالعکس. بر این اساس برای افزایش این شاخص کاهش تلفات مواد آلی خاک از طریق کشت گیاهان پوششی یا حفاظت خاک به همراه کاهش اتکائ تولید به نهاده‌های بازاری مانند کود شیمیایی قابل توصیه است. مقادیر EYR در مزارع متوسط و بزرگ تولید گندم در منطقه جوین سبزوار مشابه

گزارش شده است که به‌دلیل شباهت نسبی استفاده از منابع خریداری شده در این دو سیستم باشد. EYR بالاتر در مزارع با مقیاس متوسط نشان‌دهنده سهم نسبی کمتر منابع خریداری شده در مقایسه با مزارع بزرگ است. در مزارع کوچک، ۵۰/۶۱ درصد از کل امرژی علاوه بر بازده اقتصادی پایین، به منابع خریداری شده اختصاص یافت (Fallahinejad *et al.*, 2022).

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی استاندارد (EIR) و اصلاح شده (EIR*)

شاخص EIR نسبت نهاده امرژی غیر رایگان دریافتی به امرژی سرمایه‌گذاری شده رایگان از طریق بهره‌برداری از منابع طبیعی یا محیط‌زیست است. به عبارت دیگر، این شاخص نشان‌دهنده درجه وابستگی نظام کشاورزی به محیط‌زیست و سطح توسعه اقتصادی است (Odum *et al.*, 2000). بنابراین دو شاخص EIR و EYR شاخص‌های مشابه می‌باشند که میزان بهره‌برداری از منابع رایگان را به روش‌های مختلفی بیان می‌کنند. با این وجود، مقدار کمتر EIR نشان‌دهنده وابستگی شدید نظام به منابع محیطی و سطح کم هزینه‌های اقتصادی است (Lefroy and Rydberg, 2003).

مقدار EIR برای نظام‌های تولید در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۱/۵۸، ۴/۴۱ و ۲/۵۵ به‌دست آمد، که نشان می‌دهد منابع غیر رایگان برای دو نظام به ترتیب ۱/۵۸، ۴/۴۱ و ۲/۵۵ برابر نهاده‌های غیر رایگان مصرف شده‌اند. مقادیر EIR^* در نظام‌های در مزارع بزرگ ۶۰/۸ درصد بیشتر از مزارع کوچک و ۶/۶۲ درصد کمتر از مزارع متوسط بود. مقادیر به‌دست آمد بیانگر مقدار بیشتر وابستگی به نهاده‌های غیر رایگان بازاری در نظام تولید در مزارع متوسط و بزرگ و بهره‌برداری بیشتر نظام‌های تولید در مزارع کوچک از منابع رایگان است. گزارش شده است در مزارع گندم منطقه جوین سبزوار مقدار EIR در مزارع بزرگ ۳۲/۶ درصد و ۱۲۰ درصد در مقایسه با مزارع متوسط و کوچک بیشتر بوده است که نشان‌دهنده آن است که استفاده از منابع خریداری شده در مزرعه مقیاس کوچک نسبت به مزارع بزرگ کاهش زیادی داشته است. این کاهش به دلیل وابستگی بیشتر تولید در سال‌های اخیر به کودهای شیمایی به‌دلیل افزایش قیمت کودهای شیمیایی و مشکل دسترسی به این کودها است که باعث شده است تا بسیاری از کشاورزان استفاده از کودهای شیمیایی را به حداقل برسانند. با توجه به محدود بودن کود دامی، کشاورزان از این نوع کود برای تأمین مواد غذایی برای محصولاتی مانند چغندرقند استفاده می‌کنند (Fallahinejad *et al.*, 2022). رابطه معکوسی بین سطح مکانیزاسیون و شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی و مستقیم با شاخص نسبت سرمایه گذاری امرژی اصلاح شده گزارش شده است. شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی در کشت مستقیم ۰/۶۷، نیمه مکانیزه ۱/۲۷ و مکانیزه ۰/۷۵ گزارش شده است (Fallahinejad and Armin, 2022). رابطه مثبتی بین منابع خریداری شده در یک سیستم تولید و مقدار شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی گزارش شده است. به نحوی که در نظام‌های تولیدی که در آن از کود شیمیایی استفاده نشده بود کمترین مقدار و در نظام‌های تولید که در آن استفاده از کود شیمیایی یا بیوچار رایج بود مقدار شاخص نسبت سرمایه‌گذاری امرژی بالاتر بود که با نتایج این تحقیق هم‌خولنی دارد (Moonilall *et al.*, 2020).

نسبت بار زیست‌محیطی استاندارد (ELR) و نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح شده ELR*

شاخص ELR نسبت امرژی از تمام منابع امرژی تجدیدناپذیر و خریداری شده به امرژی از تمام منابع رایگان تجدید پذیر را نشان می‌دهد. این شاخصی از فشار محیطی به دلیل فعالیت‌های تولید اقتصادی است و می‌تولند به‌عنوان معیاری از فشار بالقوه انسانی ناشی از یک فرایند به محیط اطرافش در نظر گرفته شود. مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده فشار محیطی بیشتر بر اکوسیستم‌های محلی به علت استفاده از منابع غیر قابل تجدید است. (Brown and Ulgiati, 2005).

نظام‌های تولید در مزارع بزرگ به ترتیب دارای ۳۷/۷ و ۹/۰۲ درصد ELR بیشتر و ۳۳/۸ درصد نسبت بار محیط‌زیستی اصلاح شده (ELR*) کمتری در مقایسه با نظام تولید در مزارع کوچک و متوسط بود. این شرایط در نتیجه مصرف بیشتر نهاده‌های امرژی تجدیدناپذیر و تلفات مواد آلی خاک در این نظام در مقایسه با نظام‌های تولید در مزارع کوچک و متوسط بود. مقادیر بالای شاخص ELR در این مطالعه به‌دلیل مصرف مقادیر زیاد کود آلی و هزینه زیاد خرید بذر و اتلاف نهاده‌های

امرژی تجدیدناپذیر مانند نهاده‌های شیمیایی و منابع رایگان محیطی است، که سبب اعمال فشار زیادی بر محیط‌زیست می‌شود. مصرف نهاده‌های تجدیدناپذیر امرژی تنها در صورتی قابل قبول می‌باشند که مقدارشان نزدیک به منابع تجدیدپذیر محلی باشد. ELR در کشت رایج گندم در مقایسه با کشت ارگانیک بیش از ۳ برابر بیشتر بوده است که نشان می‌دهد مدیریت ارگانیک به نهاده‌های تجدیدناپذیر بسیار کمتری نیاز دارد (La Rosa *et al.*, 2008). در ارزیابی پایداری سیستم‌های تولید گندم در سیستان با استفاده از تحلیل امرژی گزارش شده است با افزایش راندمان نهاده‌ها با بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری، کود نیتروژن و کود فسفر می‌توان این سیستم تولید را پایدارتر کرد و فشار کمتری بر محیط زیست وارد کرد (Kohkan *et al.*, 2022). در ارزیابی خصوصیات اقتصادی و بوم‌شناختی نظام تولید گندم در منطقه سیستان با استفاده از تکنیک امرژی نهاده‌های محیطی سهم قابل توجه‌ای از جریان امرژی را به خود اختصاص دادند و سهم نهاده‌های اقتصادی تنها ۱۵ درصد از منابع بود (Enayat *et al.*, 2023).

شاخص پایداری محیط‌زیست استاندارد (ESI) و شاخص پایداری محیط‌زیست اصلاح شده (ESI*)

شاخص ESI یک شاخص مرکب است که از تقسیم شاخص EYR به ELR به‌دست می‌آید. این شاخص مزایای به‌دست آمده یک سیستم در واحد سطح را اندازه‌گیری می‌کند. به عبارت دیگر، این شاخص مزیت نظام نسبت به هزینه‌های آن را می‌سنجد. بنابراین، شاخص ESI هر دو جنبه اقتصاد و محیط‌زیست را در نظر می‌گیرد. مقدار بالاتر این شاخص نشان‌دهنده پایداری بیشتر نظام مورد مطالعه است. مقدار این شاخص بین صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقادیر بیش از ۱۰ نظام‌های پایدار با حداقل فشار، مقادیر بین ۱ و ۱۰ پتانسیل خوب، در حالی‌که مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهنده نظام پر مصرف است که منابع سیستم را تخلیه کرده و تأثیرات محیطی زیاد دارد و برای بقا نیاز به مصرف زیاد انرژی دارد (Zhang *et al.*, 2012). در این مطالعه مقادیر ESI هر سه نظام بسیار شبیه به هم و کمتر از ۰/۱ بود که نشان می‌دهد این نظام‌ها از سطح پایداری مطلوبی برخوردار نیستند و فشار محیطی زیادی اعمال می‌کنند. به نظر می‌رسد برای افزایش شاخص پایداری محیط‌زیست باید ضمن حفظ تولید مناسب اتکا به نهاده‌های محیطی تجدیدناپذیر را نیز کاهش داد که این عمل با استفاده بیشتر از کودهای دامی به جای کودهای شیمیایی و استفاده از ارقام با توانایی تحمل به تنش که سبب استفاده کمتر از آب یا الکتریسته خواهند شد انجام پذیر خواهد بود. مقدار شاخص ESI نزدیک سه نظام در مزارع کوچک، متوسط و بزرگ نشان داد که تمام نظام‌ها امرژی خروجی پایین و تقاضای نسبتاً بالا برای منابع تجدیدناپذیر دارند. مقادیر ESI* در نظام‌های تولید در مزارع بزرگ و متوسط تقریباً شبیه هم بود اما این مقدار در مزارع کوچک به نحو قابل ملاحظه‌ای کمتر از مزارع بزرگ و متوسط به‌دست آمد. مقادیر ESI* در نظام‌های در مزارع بزرگ ۷۷/۲ درصد بیشتر از مزارع کوچک و ۴/۸۷ درصد کمتر از مزارع متوسط بود (Fallahinejad *et al.*, 2022). در ارزیابی سیستم‌های مختلف کشت چغندرقند در منطقه جوین سبزوار از نظر زیست‌محیطی گزارش شده است کشت مکانیزه نسبت به نیمه‌مکانیزه و سنتی اثرات منفی زیست‌محیطی کمتری دارد (Soltani *et al.*, 2015). در برزیل رویکرد زیستی (اکولوژیکی و ارگانیک) پایداری بیشتری نسبت به صنعتی (اگروشیمیایی و بدون شخم با استفاده از علف‌کش) در تولید سویا داشته است (Ortega *et al.*, 2005). برای نظام‌های تولید لوبیای غیر فشرده مقادیر ESI و ESI* ۰/۰۸ و ۱/۴۸ محاسبه شده است (Asgharipour *et al.*, 2018). برای نظام تجاری تولید کلزا در خرم‌آباد استان لرستان مقادیر ESI و ESI* ۰/۷۳ و ۰/۷۵ و برای نظام معیشتی تولید کلزا ۰/۸۷، ۱/۳۸ به دست آمده است (Amiri *et al.*, 2019). در نظام‌های زراعی که مقادیر ESI و ESI* کمتر از ۵ می‌باشد یعنی این‌که فشار زیاد بر محیط توسط نظام زراعی وارد می‌شود. برای افزایش شاخص ESI، باید ورودی‌های خریداری شده به حداقل ممکن رسیده و همراه با افزایش جریان ورودی‌های رایگان محیطی، به‌ویژه از منابع تجدیدپذیر باشد.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی امرژی نشان داد که هر یک از سه نظام مورد مطالعه اثرات مختلفی بر سهم منابع مختلف از امرژی کل داشت. کشت در مزارع کوچک کمترین میزان امرژی را برای تولید محصول نیاز داشت در حالی‌که کشت در مزارع بزرگ بیشترین مقدار

امرژی را برای تولید محصول استفاده کرد. کشت در مزارع بزرگ در بیشتر منابع خریداری شده به کشت در مزارع متوسط شباهت بیشتری در مقایسه با کشت در مزارع کوچک داشت. شاخص ELR که به‌عنوان شاخصی از پایداری تولید می‌باشد در کشت در مزارع بزرگ بالاتر بود که اختلاف زیادی با کشت در مزارع متوسط نداشت. از آن‌جا که عملکرد اقتصادی در کشت در مزارع بزرگ بسیار بالاتر از کشت در مزارع کوچک و متوسط بود. سایر شاخص‌های امرژی به جز تجدیدپذیری در کشت در مزارع بزرگ بالاتر از کشت در مزارع کوچک و متوسط بود. به عنوان یک نتیجه کلی، این تحلیل‌ها نشان داد که عملکرد محیطی مطلوب‌تر در نتیجه کنترل‌های بیشتر بر استفاده از نهاده‌های محیطی و مصنوعی در مزارع کوچک با عملکرد اقتصادی ضعیف‌تر همراه است با این وجود عملکرد بیشتر و استفاده از مکانیزاسیون بیشتر می‌تواند ضمن حفظ پایداری زیست‌محیطی عملکرد اقتصادی مطلوبی نیز تولید کند. بر این اساس کشت در مزارع بزرگ توصیه می‌شود.

References

Ahmad, H. and Halim, H., 2017. Determining sample size for research activities. *Selangor Business Review*, PP.20-34. **doi: 10.1177/001316447003000308**

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M., 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in khorramabad ,iran, based on emergy and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, *226*, PP.1051-1066. **doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.091**

Anonymous. 2021. Agricultural statistical yearbook. Https://koaj.Ir/modules/showframework.Aspx?Relfacilityid=1241&objectid=851&frameworkpagetype=sec. Accessed 14 may 2021.

Anonymous. 2022. Food and agriculture data. Http://www.Fao.Org/faostat/en/#data/qc. Accessed 14 nov 2022.

Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I. and Ghadiri, A., 2018. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(1), PP.1-21. **doi: 10.1007/s10661-018-7123-3**

Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2005. Emergy, transformity and ecosystem health. *Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health*, *333*, PP.34.36. **doi: 10.1201/9780203490181.ch14**

Enayat, F., Ghanbari, A., Asgharipour, M. and Seyedabadi, E., 2023. Evaluation of economic and ecological characteristics of wheat production system in sistan region using emergy analysis technique. *Crop Science Research in Arid Regions*, In Press. [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2023.375746.1299**

Fallahinejad, S. and Armin, M., 2022. Role of mechanization on the sustainability of sugar beet production using emergy approach. *Agriculture, Environment & Society*, *2*(1), PP.15-24. **doi:10.22034/aes.2022.327793.1019**

Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2021. A survey on the ecological sustainability of introducing new crops in the cropping pattern using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, *3*, 100083. **doi:10.1016/j.crsust.2021.100083**

Fallahinejad, S., Armin, M. and Asgharipour, M.R., 2022. The effect of farm size on the sustainability of wheat production using emergy approach. *Current Research in Environmental Sustainability*, *4*, 100161. **doi:10.1016/j.crsust.2022.100161**

Fatima, Z., Ahmed, M., Hussain, M., Abbas, G., Ul-Allah, S., Ahmad, S., Ahmed, N., Ali, M.A., Sarwar, G. and

Iqbal, P., 2020. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Scientific Reports*, *10*(1), PP.1-21. **doi: 10.1038/s41598-020-74740-3**

Golshani, F., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A. and Seyedabadi, E., 2022. Emergy analysis of crop and integrated production systems of boland sistan village. *Crop Science Research in Arid Regions*, *5*(9), PP.197-223 [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2022.330716.1195**

Hercher-Pasteur, J., Loiseau, E., Sinfort, C. and Hélias, A., 2020. Energetic assessment of the agricultural production system. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *40*(4), PP.1-23. **doi: 10.1007/s13593-020-00627-2**

Jha, P., Biswas, A ,.Lakaria, B.L., Saha, R., Singh, M. and Rao, A.S., 2014. Predicting total organic carbon content of soils from walkley and black analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *45*(6), PP.713-725. **doi: 10.1080/00103624.2013.874023**

Kohkan, S., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R. and Fakheri, B.A., 2022. Evaluation of the sustainability of wheat production systems in the sistan using emergy analysis. *Agriculture, Environment & Society*, In press. **doi: 10.22034/aes.2022.346800.1039**

La Rosa, A., Siracusa, G. and Cavallaro, R., 2008. Emergy evaluation of sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production*, *16*(17), PP.1907-1914. **doi: 10.1016/j.jclepro.2008.01.003**

Lefroy, E. and Rydberg, T., 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern australia. *Ecological Modelling*, *161*(3), PP.211-215. **doi: 10.1016/S0304-3800(02)00341-1**

Mirshekari, S., Dahmardeh, M., Asgharipour, M.R., Ghanbari, S.A. and Seyedabadi, E., 2023. Assessing emergy-based sustainability in five major agricultural ecosystems in hirmand, sistan and baluchestan province. *Crop Science Research in Arid Regions*, *4*(2), PP.437-457 [In Persian]. **doi: 10.22034/csrar.2021.311181.1146**

Molajou, A., Afshar, A., Khosravi, M., Soleimanian, E., Vahabzadeh, M. and Variani, H.A., 2021. A new paradigm of water, food, and energy nexus. *Environmental Science and Pollution Research*, PP.1-11. **doi: 10.1007/s11356-021-13034-1**

Moonilall, N.I., Homenauth, O. and Lal, R., 2020. Emergy analysis for maize fields under different amendment applications in guyana. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120761. **doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120761**

Nadalini, A.C.V., Kalid, R.d.A. and Torres, E.A., 2021. Emergy as a tool to evaluate ecosystem services, A systematic review of the literature. *Sustainability*, *13*(13), PP.7102. **doi: 10.3390/su13137102**

Odum, H., Brown, M. and Brandt-Williams, S., 2000. Folio# 1: Introduction and global budget. Handbook of emergy evaluation: A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. *Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, Gainesville* .

Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: Emergy and environmental decision making. Wiley.

Ortega, E., Cavalett, O., Bonifácio, R. and Watanabe, M., 2005. Brazilian soybean production: Emergy analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*, *25*(4), PP.232-324. **doi: 10.1177/0270467605278367**

Shahhoseini, H., Ramroudi, M. and Kazemi, H., 2020. Evaluating the resources use efficiency and sustainability indices for two potato production systems using emergy analysis (case study: Gorgan county). *Journal of Agroecology*, *12*(1), PP.127-142 [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v12i1.81189**

Shahhoseini, H.R. and Kazemi, H., 2022. Evaluation of sustainability of rainfed rapeseed production in gorgan county using emergy analysis. *Agriculture, Environment & Society*, *2*(1), PP.61-70. **doi: 10.22034/aes.2022.337172.1031**

Soltani, A., Bazrgar, A.B., Koochaki, A.R., Zeinali ,E., Ghaemi, A.R. and Hajarpoor, A., 2015. Life cycle assessment (LCA) of sugar beet production in various production systems in khorasan. *Electronic Journal of Crop Production*, *8*(1), PP.43-62 [In Persian].

Yasini, H., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R. and Seyedabadi, E., 2020. Evaluation of sustainability in wheat, onion and garlic cropping systems by joint use of emergy and economic accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(2), PP.269-288 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.24764310.1399.30.2.17.0**

Zhang, L., Song, B. and Chen, B., 2012. Emergy-based analysis of four farming systems: Insight into agricultural diversification in rural china. *Journal of Cleaner Production*, *28*, PP.33-44. **doi: 10.1016/j.jclepro.2011.10.042**

Zhao, H., Zhai, X., Guo, L., Liu, K., Huang, D., Yang, Y., Li, J., Xie, S., Zhang, C. and Tang, S., 2019. Assessing the efficiency and sustainability of wheat production systems in different climate zones in china using emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, *235*, PP.724-732. **doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.251**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 395-411

Evaluating the effect of farm size on resource consumption efficiency and potato production sustainability using emergy analysis (case study: Fariman County)

Mahsa Mustafavi Babukani[1], Youssef Hashminejad[2], Mohammad Armin[3*], Hamid Maravi[3], Koresh Shojaei Nofarest[4]

[1] Phd. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
[2] Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Sabzevar, Iran
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
[4] Agronomic and Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
[*]Corresponding Author: moh.armin@iau.ac.ir

Received: 12 December 2022 Accepted: 27 May 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.376465.1302**

Abstract

Introduction: There is a close relationship between population growth and rapid economic development and overuse of natural resources. Recently, one of the main problems of human societies is the management of energy consumption. In agricultural ecosystems, there is a strong dependence on non-free inputs and free environmental inputs. In different production systems, different methods are used to increase stability. Various methods have been utilized to investigate the sustainability of agricultural systems such as emergy analysis. Emergy analysis is an ecological approach that measures all the inputs from natural resources and human activities that are directly and indirectly used to obtain a particular product. This method estimates all the resources, including energy, consumed environmental resources, and financial and human costs based on solar energy units. By considering both economic and ecological factors, emergy analysis helps identify ways to achieve maximum crop yield while supporting resource efficiency in agricultural production. Emergy analysis is a method used for sustainability assessment of agroecosystems, including potato production. It determines the most important indicators related to efficiency, renewability, environmental pressure, and sustainability of potato agroecosystems. Although the sustainable production of crops has been analyzed by some researchers, the effects of farm size have not been considered so far. Hence, in the current study, the effect of farm size on sustainability of potato production was studied using the emergy methodology.

Materials and Methods: In order to evaluate the effect of farm size on the sustainability of potato production, a study using emergy analysis was conducted in Fariman county in 2018-19. Information was collected in different potato production systems in terms of farm size including small, medium and large (Based on Cochran's formula, 30, 15 and 5 farms respectively) using questionnaires completed by farmers. The inputs were divided into four types to examine the sustainability of agroecosystems and calculate the emergy indices: Free renewable environmental inputs (R) include sun, wind and rain; non-renewable environmental inputs (N) include groundwater, soil erosion, and soil organic matter losses; non-free (purchased) renewable inputs (FR) include seeds and organic fertilizer; and purchased non-renewable inputs (FN) include machinery, chemical fertilizer, pesticides, fuel, and electricity. To obtain the emergy value of each input, the raw information of each input is multiplied by the conversion coefficients in terms of joules, grams, or Rials. The total emergy is the sum of all emergies of all independent inputs. Finally, emergy indices are calculated and interpreted to evaluate different production systems.

Results and Discussion: The results of this research showed that different potato production systems have different effects on the contribution of different sources of total energy. By increasing the size of the farm, the share of renewable natural resources decreased and the share of purchased resources

increased. Among the renewable environmental inputs in all three emergency systems, rain had the highest amount. The amount of renewable environmental inputs for production systems in small, medium and large farms was 1.42, 1.13 and 1.04% of the total inputs, respectively. Cultivation in small farms required the least amount of emergy for crop production in contrast to large farms. In addition, cultivation on large farms was more similar to cultivation on medium farms in terms of purchased resources. On the other hand, large farms had high sustainability compared to small farms based on the ELR index. In addition, large farms were not significantly different from medium farms. Since the economic yield of large farms was much higher than the economic yield of medium and small farms, other indicators of emergy except renewable energy were also higher in large farms than in medium and small farms.

Conclusion: In this area, cultivation in large fields with the use of more mechanization has improved the yield along with maintaining the stability of the production system.

Keywords: Environmental sustainability, Field area, Natural resources, System analysis

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۱۳-۴۲۷

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع صفات مورفولوژیک در اکوتیپ‌های مختلف رازیانه با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره

شهرام ریاحی نیا[1]، مریم دانش گیلوایی[1*]

۱- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

* مسئول مکاتبه: daneshg_maryam@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.334423.1213**

چکیده

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات مورفولوژیک، آزمایشی بر روی ۱۱ اکوتیپ رازیانه با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، در گلخانه دانشگاه پیام نور قم در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری میان اکوتیپ‌های مورد مطالعه برای همه صفات مشاهده گردید. اکثر صفات مورد مطالعه از وراثت‌پذیری عمومی بالایی برخوردار بودند. عملکرد دانه در گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد چترک در چتر (۰/۶۴)، تعداد چتر در بوته (۰/۵۹) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۶) داشت. تجزیه به عامل‌ها نشان داد که سه عامل اصلی و مستقل ۷۸/۷۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش وارد، ۱۱ اکوتیپ مورد بررسی را در چهار خوشه مجزا گروه‌بندی کرد. اکوتیپ‌های خوشه دوم (اردبیل و مغان) به علت داشتن مقادیر بالای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد گل در چترک، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ارزشمند هستند و می‌توان از این اکوتیپ‌ها برای گزینش اکوتیپ‌های پر محصول و صفات مورفولوژیک مطلوب در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به عامل، تجزیه خوشه‌ای، وراثت‌پذیری، همبستگی

مقدمه

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) یک گیاه دارویی قدیمی است که معمولاً به‌عنوان غذا و داروی سنتی استفاده می‌شود (Hosseini *et al*., 2021). رازیانه، گیاهی معطر دوساله متعلق به خانواده Apiaceae است و بومی سواحل دریای مدیترانه است. در اکثر نقاط جهان، رازیانه در مناطق خشک نزدیک به مناطق ساحلی و در سواحل رودخانه اهلی شده است (Diaaz-Maroto *et al*., 2006). داروها و اسانس‌های استخراج‌شده از رازیانه دارای خواص ضدالتهابی، ضد درد، ادرارآور و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی هستند (Novais *et al*., 2004).

اصلاح‌گران گیاهی موفقیت خود را در گذشته، حال و آینده مدیون تغییرات ژنتیکی در محصولات و خویشاوندان وحشی آن‌ها هستند. ارقام بومی با صفات منحصربه‌فرد خود برای برنامه‌های اصلاحی امیدبخش هستند (Sharma *et al*., 2003). هدف اصلی مطالعه تنوع ژنتیکی و روابط بین مجموعه‌های ژرم‌پلاسم، به‌کارگیری اطلاعات حاصل از تنوع ارقام بومی برای توسعه و انتشار ارقام با عملکرد بیشتر در میان گونه‌های کشت شده است (Alawala *et al*., 2006).

در بررسی ۱۲ اکوتیپ رازیانه در اصفهان، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین عملکرد گیاه با صفات تعداد چترک در چتر و روز تا رسیدگی کامل گزارش شد (Safaei *et al*., 2011). بر اساس نتایج مطالعه‌ای روی ۱۵ اکوتیپ رازیانه در نجف‌آباد اصفهان، وراثت‌پذیری متوسط تا بالا برای صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد سبز شدن، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی در گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه گزارش شد. آن‌ها بیان نمودند که بالا بودن میزان وراثت‌پذیری صفات بیانگر این است که صفت‌های مطالعه شده کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند و روش‌های مبتنی بر گزینش برای این صفات از کارایی بالایی برخوردار خواهد بود. هم‌چنین آن‌ها رابطه مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد شاخه فرعی در گیاه گزارش دادند (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014).

نتایج آزمایش دیگری بر روی هفت اکوتیپ والدینی و سه

رقم سنتتیک رازیانه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان داد که در شرایط بدون تنش، عملکرد دانه با صفات قطر گل، تعداد چتر، تعداد چترک و تعداد دانه در چتر و در شرایط تنش با صفات قطر گل، قطر ساقه، تعداد چتر و تعداد چترک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. در این آزمایش، صفات مستقل معنی‌دار در عملکرد دانه در شرایط بدون تنش شامل تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در چتر و قطر ساقه و در شرایط تنش شامل تعداد گره، قطر ساقه و تعداد چتر بودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که یکی از مهم‌ترین صفات زراعی در گزینش ارقام رازیانه با عملکرد دانه بالا صفت تعداد چتر بود (Akbari *et al.*, 2015). در تحقیقی در بیرجند، تنوع قابل ملاحظه‌ای بین ۳۳ اکوتیپ مختلف رازیانه مشاهده گردید. بر اساس نتایج این مطالعه، صفات مطلوب برای بهبود کارایی انتخاب اکوتیپ‌های مطلوب شامل تعداد چتر، تعداد دانه در چتر اصلی، تعداد چتر بارور گیاه و تعداد چترک در چتر اصلی بودند که همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند (Izanloo *et al.*, 2017).

در گزارش دیگری، در ارزیابی ۱۹ اکوتیپ رازیانه در تبریز نشان داده شد که عملکرد دانه با تعداد چتر، تعداد دانه در چتر، شاخص برداشت، محتوای اسانس و طول میانگره اول همبستگی مثبت داشت. تعداد چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه به دلیل باقی ماندن در مدل رگرسیون گام‌به‌گام به‌عنوان اجزای مؤثر بر عملکرد دانه در نظر گرفته شدند (Sefidan *et al.*, 2014). در بررسی تنوع فنوتیپی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کرمانشاه، بین صفت ارتفاع گیاه با وزن خشک بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات تعداد چتر در گیاه و تعداد ساقه فرعی همبستگی منفی و معنی‌دار گزارش شد. تغییرات صفت تعداد ساقه فرعی با تعداد چتر در بوته و تعداد چترک در چتر همبستگی هم‌سو و معنی‌دار بود. هم‌چنین، تغییرات هم‌سو و معنی‌دار بین صفت تعداد گل در چترک و تعداد چترک در چتر مشاهده شد (Farshadfar *et al.*, 2017).

در مطالعه ۵۰ ژرم‌پلاسم رازیانه در هند، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دلنه در چتر، وزن دلنه، عملکرد دانه و تعداد شاخه‌های فرعی وراثت‌پذیری بالایی نشان دادند. آن‌ها بیان کردند که برای بهبود ژنتیکی رازیانه باید بر روی صفاتی مانند تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر و وزن دانه که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه دارند تأکید بیشتری شود (Kumar *et al.*, 2017). پژوهش‌گران دیگری در مطالعه ۱۰ اکوتیپ رازیانه گزارش نمودند که عملکرد دانه با ارتفاع، تعداد برگ، تعداد شاخه، تعداد چتر، تعداد چترک و طول دمگل رابطه مثبت و معنی‌داری نشان داد (Kalleli *et al.*, 2019).

در اصلاح گیاهان، اولین گام، گزینش مناسب‌ترین و بهترین پایه‌ها است؛ بنابراین باید ابتدا مواد ژنتیکی را جمع‌آوری، بررسی و ارزیابی کرده، سپس روش‌های اصلاحی متفاوت را بر آن‌ها اعمال کرد (Bahmani *et al.*, 2012). رازیانه گیاهی دگرگشن بوده و دارای تنوع ژنتیکی بالایی است؛ بنابراین، نیاز به توجه بیشتری برای تعیین خصوصیت ژرم‌پلاسم آن دارد. آگاهی از تنوع ژنتیکی به‌ویژه در گیاهان دارویی اولین قدم در تعیین خصوصیت ژرم‌پلاسم است. بنابراین، اطلاع از تنوع ژنتیکی، تعیین خصوصیات ژرم‌پلاسم و حفاظت از ذخایر ژنتیکی کمک بزرگی به درک فرایندهایی از جمله اصلاح ژنتیکی، فرسایش ژنتیکی و تکامل رازیانه می‌نماید (Izanloo *et al.*, 2017). این پژوهش، با توجه به اهمیت رازیانه در حوزه سلامت جامعه، به‌منظور تعیین میزان تنوع و وراثت‌پذیری صفات مورفولوژیک بین اکوتیپ‌های مختلف رازیانه و انتخاب اکوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه پیام نور قم واقع در استان قم (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۳۷ متر) انجام شد. در این تحقیق، تعداد ۱۱ اکوتیپ مختلف رازیانه از مناطق مختلف کشور (جدول ۱) جمع‌آوری شد و آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

بذرهای رازیانه در عمق ۰/۵ سانتی‌متر در گلدان‌های با ارتفاع و قطر متوسط ۳۰ سانتی‌متر دارای خاک با بافت لوم رسی سیلتی (جدول ۲) و تحت شرایط میانگین ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و دمای روزانه ۲ ± ۲۸ و دمای شبانه ۲ ± ۱۶ سلسیوس کشت شدند و هر سه روز آبیاری صورت گرفت. صفات تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (تعداد روز از کاشت تا

۵۰ درصد گل‌دهی بوته)، تعداد روز تا رسیدگی کامل (تعداد روز از زمان کاشت تا برداشت بذر)، ارتفاع بوته (فاصله طوقه تا رأس انتهایی چتر بر حسب سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی در گیاه (تعداد شاخه‌های موجود بر روی ساقه اصلی)، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد گل در چترک، وزن هزار دانه، عملکرد بوته اندازه‌گیری شدند.

بعد از جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین (با آزمون دانکن)، همبستگی بین صفات (با استفاده از روش پیرسون) و رگرسیون گام‌به‌گام انجام شد. برای تعیین سهم نسبی هر یک از صفات اندازه‌گیری شده در ایجاد تنوع بین اکوتیپ‌های مورد بررسی، از تجزیه به عامل‌ها و برای گروه‌بندی آن‌ها از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. اجزای واریانس محیطی، ژنتیکی و فنوتیپی براساس امید ریاضی میانگین مربعات برای محاسبه وراثت‌پذیری صفات (Burton and Devane, 1953) با نرم‌افزار Excel برآورد گردید. واریانس ژنتیکی براساس امید ریاضی میانگین مربعات با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\sigma_g^2 = \frac{MS_g - MS_e}{r}$$

رابطه (۱)

که در آن، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، MS_g میانگین مربعات تیمار، MS_e میانگین مربعات خطا و r تعداد تکرار بود.

واریانس فنوتیپی براساس میانگین تیمار و از طریق امید ریاضی میانگین مربعات با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}$$

رابطه (۲)

که در آن، σ_p^2 واریانس فنوتیپی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، σ_e^2 واریانس خطا (برابر با MS_e) و r تعداد تکرار بود.

وراثت‌پذیری عمومی صفات بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید.

$$h_B^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

رابطه (۳)

که در آن، h_B^2 وراثت‌پذیری عمومی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی و σ_p^2 واریانس فنوتیپی بود.

جدول ۱- فهرست اکوتیپ‌های رازیانه مورد بررسی جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف کشور

Table 1- List of studied fennel ecotypes collected from different regions of the country

شماره Number	استان County	منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°′)	عرض جغرافیایی Latitude (°′)	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)
1	مرکزی Markazi	اراک Arak	49 46 E	34 6 N	1708
2	اردبیل Ardebil	اردبیل Ardebil	48 17 E	38 15 N	1332
3	فارس Fars	فسا Fasa	53 41 E	28 58 N	1288
4	هرمزگان Hormozgan	حاجی‌آباد Hajiabad	55 55 E	28 19 N	931
5	سیستان و بلوچستان Sistan and Balochestan	خاش Khash	61 12 E	28 13 N	1405
6	مرکزی Markazi	محلات Mahalat	50 45 E	33 91 N	1775
7	اردبیل Ardebil	مغان Moghan	47 55 E	39 39 N	31
8	قزوین Ghazvin	قزوین Ghazvin	50 0 E	36 15 N	1278
9	خراسان رضوی Khorasan Razavi	سبزوار Sabzevar	57 43 E	36 12 N	987
10	آذربایجان غربی Western Azerbaijan	سردشت Sardasht	45 30 E	36 9 N	1670
11	مازندران Mazandaran	ساری Sari	53 0 E	36 33 N	23

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2- Some physical and chemical properties of the studied soil

بافت خاک Soil texture	لای Loam (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	منگنز Mn (mg kg^{-1})	مس Cu (mg kg^{-1})	روی Zn (mg kg^{-1})	آهن Fe (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	نیتروژن N (%)	اسیدیته Acidity (Ph)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})
رسی Clay	38.5	41.3	20.2	77	4.5	87	375	720	59	0.4	7.6	1.4

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اختلاف اکوتیپ‌ها برای تمام صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی، تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای برای اکثر صفات بین اکوتیپ‌ها مشاهده شد و اکثر صفات دارای قابلیت توارث بالایی بودند. به دلیل نزدیکی واریانس فنوتیپی و ژنتیکی می‌توان نتیجه گرفت که ژن‌ها تأثیر زیادی بر تنوع مشاهده شده داشتند (جدول ۳). وراثت‌پذیری ارتفاع گیاه ۹۹/۲۴ درصد، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی ۹۸/۱۴ درصد، تعداد روز تا رسیدگی ۹۷/۳۲ درصد، تعداد روز تا سبز شدن ۹۲/۱۶ درصد، وزن هزار دانه ۸۲/۷۲ درصد، تعداد چترک در چتر ۸۱/۸۲ درصد، عملکرد دانه در گیاه ۷۹/۹۳ درصد، تعداد چتر در بوته ۷۵/۵۲ درصد، تعداد گل در چترک ۷۳/۳۳ درصد و تعداد شاخه فرعی در گیاه ۵۹/۵۹ درصد برآورد شد.

در بررسی ۱۵ اکوتیپ رازیانه در نجف‌آباد اصفهان، وراثت‌پذیری تعداد روز تا ۵۰ درصد سبز شدن ۷۰/۴۲ درصد، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی ۹۸/۵۰ درصد، ارتفاع گیاه ۹۸/۸۳ درصد، تعداد شاخه فرعی در گیاه ۹۷/۰۴ درصد، وزن هزار دانه ۸۴/۰۸ درصد و عملکرد دانه در گیاه ۹۰/۵۱ درصد گزارش شد (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014). آن‌ها بیان نمودند که بالا بودن میزان وراثت‌پذیری صفات بیانگر این است که صفت‌های مطالعه شده کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند و روش‌های مبتنی بر گزینش برای این صفات از کارایی بالایی برخوردار خواهد بود (Maghsudi Kelardashti *et al*., 2014). در تحقیقی در بررسی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کاداپا در هند، وراثت‌پذیری تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی ۵۰/۸۶ درصد، تعداد روز تا رسیدگی ۲۸ درصد، ارتفاع گیاه ۹۰/۴۶ درصد، تعداد شاخه فرعی در گیاه ۸۰/۸۴ درصد، تعداد چتر در بوته ۸۷/۱۹ درصد، تعداد چترک در چتر ۸۶/۴۳ درصد، وزن دانه ۴۹/۶۹ درصد و عملکرد دانه در گیاه ۹۵/۶۱ درصد گزارش شد (Hadli *et al*., 2021). آن‌ها بیان کردند که انتخاب برای بهبود صفات با وراثت‌پذیری بالا و متوسط مؤثر خواهد بود (Hadli *et al*., 2021).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، دامنه تغییرات صفت تعداد روز از کاشت تا سبز شدن از ۱۷/۳۳ تا ۲۶/۳۳ روز متغیر بود و اکوتیپ حاجی‌آباد، ساری، خاش و قزوین به‌ترتیب بیشترین و اکوتیپ اراک، محلات و سبزوار به‌ترتیب کمترین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن را به خود اختصاص دادند. حداقل و حداکثر تعداد روز تا گل‌دهی به‌ترتیب ۶۵ و ۱۳۷ روز بود و حداکثر این صفت مربوط به اکوتیپ‌های ساری، سردشت، حاجی‌آباد و قزوین و حداقل آن مربوط به اکوتیپ‌های محلات، فسا، سبزوار و اراک بود. صفت تعداد روز تا رسیدگی بین ۱۱۰ تا ۲۰۱/۶۷ روز بود و دیررس‌ترین اکوتیپ‌ها شامل ساری، سردشت، قزوین و حاجی‌آباد و زودرس‌ترین اکوتیپ‌ها شامل فسا و سبزوار بودند. دامنه تغییرات صفت ارتفاع بوته از ۸۲/۰۳ تا ۱۷۹/۵۷ سانتی‌متر متغیر بود و اکوتیپ‌های ساری و مغان پا بلندترین و اکوتیپ محلات، فسا و سبزوار پا کوتاه‌ترین اکوتیپ‌ها بودند. کمترین و بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه به‌ترتیب ۳/۶۷ و ۷/۶۷ بود و بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه متعلق به اکوتیپ‌های مغان، اردبیل، اراک و خاش و کمترین آن مربوط به ساری، سردشت، سبزوار و قزوین بود. تعداد چتر در بوته بین ۳/۶۷ تا ۹/۳۳ متفاوت بود و اکوتیپ‌های اردبیل، مغان، فسا و خاش حداکثر و سبزوار و قزوین حداقل تعداد چتر در بوته را به خود اختصاص دادند. محدوده تغییر صفت تعداد چترک در چتر بین ۷/۶۷ تا ۱۹/۳۳ بود و بیشترین

تعداد چترک در چتر متعلق به اکوتیپ‌های اردبیل و اراک و کمترین آن مربوط به ساری و حاجی‌آباد بود. دامنه تغییرات صفت تعداد گل در چترک از ۱۲/۳۳ تا ۱۹/۳۳ متغیر بود و حداکثر تعداد گل در چترک متعلق به اکوتیپ‌های فسا و سبزوار و حداقل آن مربوط به قزوین و سردشت بود. دامنه‌ی صفت وزن هزار دانه بین ۲/۵۷ تا ۶/۲۰ گرم متفاوت بود و اکوتیپ‌های اراک و محلات بیشترین و سردشت و ساری کمترین میزان این صفت را به خود اختصاص دادند. عملکرد دانه از ۳/۳۳ تا ۷/۴۲ گرم متغیر بود و بیشترین میزان عملکرد دانه در گیاه مربوط به اکوتیپ اردبیل و مغان و کمترین آن مربوط به اکوتیپ ساری و سبزوار بود. محققان پیشین نیز با مطالعه تنوع ژنتیکی برای عملکرد و اجزاء عملکرد، تنوع قابل ملاحظه‌ای را بین اکوتیپ‌های رازیانه گزارش نمودند (Safaei *et al.*, 2011; Bahmani *et al.*, 2013; Maghsudi Kelardashti *et al.*, 2014; Sefidan *et al.*, 2014; Farshadfar *et al.*, 2017; Izanloo *et al.*, 2017; Kalleli *et al.*, 2019).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس، واریانس ژنوتیپی، واریانس فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

Table 3- Analysis of variance, genotypic and phenotypic variation and broad sense heritability of studied traits in ecotypes of fennel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	روز تا سبز شدن Days to germination	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant
اکوتیپ Ecotypes	10	29.65**	2118.61**	2498.61**	4079.16**	5.42**
خطا Error	22	0.82	13.27	22.73	10.37	1.00
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.17	3.82	3. 12	2.65	19.41
واریانس ژنوتیپی Genotypic variation		9.61	701.78	825.29	1356.26	1.47
واریانس فنوتیپی Phenotypic variation		10.43	715.05	848.02	1366.63	2.47
وراثت‌پذیری عمومی Broad sense heritability (%)		92.16	98.14	97.32	99.24	59.59

جدول ۳- ادامه

Table 3- Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant
اکوتیپ Ecotypes	10	11.50**	34.72**	14.85**	3.07**	3.45**
خطا Error	22	1.12	2.39	1.61	0.20	0.27
ضریب تغییرات CV (%)	-	16.63	11.09	7.74	11.11	10.32
واریانس ژنوتیپی Genotypic variation		3.46	10.78	4.42	0.96	1.06
واریانس فنوتیپی Phenotypic variation		4.58	13.17	6.02	1.16	1.33
وراثت‌پذیری عمومی Broad sense heritability (%)		75.52	81.82	73.33	82.72	79.93

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد (P < ۰/۰۱)

** Significant at 0.01 probability level

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

of studied traits in ecotypes of fennel Table 4- Mean comparison

اکوتیپ Ecotypes	روز تا سبز شدن germination Days to	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant
اراک Arak	17.33 d	75.33 e	146.67 c	82.03 h	6.00 ab
اردبیل Ardebil	21.33 c	94.00 c	145.00 c	157.87 c	7.00 a
فسا Fasa	20.67 c	65.67 f	110.00 d	83.23 h	4.33 bc
حاجی‌آباد Hajiabad	26.33 a	119.00 b	163.33 b	118.53 f	5.00 bc
خاش Khash	25.33 ab	82.33 d	141.33 c	104.43 g	6.00 ab
محلات Mahalat	18.33 d	65.00 f	147.67 c	82.57 h	5.00 bc
مغان Moghan	21.00 c	94.33 c	145.33 c	166.27 b	7.67 a
قزوین Ghazvin	24.00 b	115.00 b	170.67 b	125.50 e	4.00 c
سبزوار Sabzevar	18.67 d	68.67 f	113.33 d	86.80 h	4.00 c
سردشت Sardasht	20.33 c	131.33 a	195.53 a	150.50 d	4.00 c
ساری Sari	25.67 a	137.00 a	201.67 a	179.57 a	3.67 c

جدول ۴- ادامه

Table 4- Continued

اکوتیپ Ecotypes	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant (gr)
اراک Arak	6.00 cd	16.67 ab	16.33 d	5.37 a	5.02 cd
اردبیل Ardebil	9.33 a	19.33 a	16.00 d	4.43 c	7.42 a
فسا Fasa	7.67 abc	15.67 bc	19.33 a	4.13 cd	4.51 de
حاجی‌آباد Hajiabad	5.00 de	9.33 ef	16.00 d	3.56 de	4.73 cde
خاش Khash	8.33 ab	13.33 cd	18.67 abc	3.50 de	5.58 bc
محلات Mahalat	6.00 cd	13.67 cd	16.00 d	6.20 b	4.97 cd
مغان Moghan	8. ab	17.00 ab	17.00 bcd	3.80 cde	5.98 b
قزوین Ghazvin	4.00 e	14.67 bc	13.00 e	3.77 cde	5.22 bcd
سبزوار Sabzevar	3.67 e	11.67 de	19.00 ab	3.80 cde	3.97 ef
سردشت Sardasht	7.33 bc	14.33 bcd	12.33 e	2.57 f	4.64 cde
ساری Sari	4.33 de	6.67 f	16.67 cd	3.17 ef	3.33 f

حروف مختلف در یک ستون نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار است که توسط آزمون دانکن تعیین شده است (P = 0.01)

Different letters within a column indicate significant differences as determined by the Duncan test (P = 0.01)

ضرایب همبستگی ساده پیرسون (جدول ۵) بین صفات مختلف اندازه‌گیری شده نشان داد که عملکرد دانه در گیاه با تعداد چترک در چتر (۰/۶۴)، تعداد چتر در بوته (۰/۵۹) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۶) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. تحقیقات پیشین ارتباط بین عملکرد دانه با تعداد چتر در بوته (Bahmani *et al.*, 2013; Akbari *et al.*, 2015; Izanloo *et al.*, 2017; Kalleli *et al.*, 2019)، تعداد چترک در چتر (Abhay and Sastry, 2011; Safaei *et al.*, 2011; Yadav *et al.*, 2013; Akbari *et al.*, 2015; Izanloo *et al.*, 2017; Kalleli *et al.*, 2019) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (Yadav *et al.*, 2013; Maghsudi Kelardashti *et al.*, 2014; Kalleli *et al.*, 2019) را مثبت و معنی‌دار گزارش نمودند که مطابق نتایج تحقیق حاضر بود. با توجه به نتایج بررسی‌های انجام شده و تحقیق حاضر، این صفات اجزای اصلی برای عملکرد دانه در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، هنگام انتخاب برای بهبود عملکرد رازیانه باید این صفات را در نظر گرفت.

صفت زمان سبز شدن رابطه مثبت و معنی‌داری با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۶۱)، روز تا رسیدگی کامل (۰/۴۳) و ارتفاع بوته (۰/۴۴) نشان داد در حالی‌که رابطه منفی و معنی‌داری با تعداد چترک در چتر (۰/۴۶) و وزن هزار دانه (۰/۵۸) نشان داد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مراحل مختلف فنولوژیک با همدیگر ارتباط مثبت و معنی‌دار داشته و با طولانی شدن یک صفت فنولوژیک، بقیه صفات فنولوژیک نیز از آن متأثر خواهند شد که این موضوع می‌تواند در طولانی شدن رشد و دیررسی حایز اهمیت باشد.

صفت تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی با زمان سبز شدن (۰/۶۱)، روز تا رسیدگی کامل (۰/۹۰) و ارتفاع بوته (۰/۷۷) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت اما با تعداد چترک در چتر (۰/۳۷)، تعداد گل در چترک (۰/۵۶) و وزن هزار دانه (۰/۶۵) همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. نتایج مطالعه دیگری نشان داد که تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و ارتفاع بوته ارتباط مثبت و با تعداد روز تا مرحله خمیری دانه، تعداد چتر و عملکرد دانه ارتباط منفی داشت (Sefidan *et al.*, 2014). در تحقیق دیگری، همبستگی مثبت بین تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی با روز تا رسیدگی کامل و ارتفاع بوته و همبستگی منفی با وزن هزار دانه گزارش شد (Bahmani *et al.*, 2013). تغییرات صفت تعداد چتر در بوته با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۱)، تعداد چترک در چتر (۰/۵۵) هم‌سو و معنی‌دار بود و صفت تعداد چترک در چتر با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (۰/۵۵) رابطه مثبت و معنی‌دار و با صفات زمان سبز شدن (۰/۴۶)، با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۳۷) و روز تا رسیدگی کامل (۰/۳۷) رابطه منفی و معنی‌دار داشت. پژوهش‌گران دیگری در بررسی رازیانه گزارش نمودند که ارتباط بین تعداد چترک در چتر با تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و تعداد چتر مثبت (Akbari *et al.*, 2015; Kalleli *et al.*, 2019) و با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی منفی (Sefidan *et al.*, 2014) بود.

همبستگی منفی و معنی‌داری بین صفت وزن هزار دانه با صفات زمان سبز شدن (۰/۵۸)، تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی (۰/۶۵)، روز تا رسیدگی کامل (۰/۴۰) و ارتفاع بوته (۰/۵۳) وجود داشت. نتایج سایر آزمایش‌ها نیز حاکی از ارتباط منفی بین وزن هزار دانه با صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی کامل (Bahmani *et al.*, 2013) و ارتفاع بوته (Bahmani *et al.*, 2013; Kalleli *et al.*, 2019) بود. در صفاتی که همبستگی مثبت معنی‌داری نشان می‌دهند می‌توان نسبت به اتخاذ برنامه‌های اصلاحی در جهت بهبود هم‌زمان صفات اقدام نمود.

با استفاده از مدل رگرسیونی گام‌به‌گام، صفات کم تأثیر و یا بی‌تأثیر از مدل حذف گردیدند. برای این منظور، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل انتخاب شدند. در نهایت دو صفت تعداد چترک در چتر و تعداد چتر در بوته به‌عنوان صفات تأثیرگذار وارد مدل شدند و ۴۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ۶). رابطه رگرسیونی به‌دست‌آمده به‌صورت رابطه (۱) بود:

$$Y = 1.86 + 0.14\ X_1 + 0.19\ X_2$$ رابطه (۱)

در این رابطه، Y عملکرد دانه، X_1 و X_2 به ترتیب صفات تعداد چترک در چتر و تعداد چتر در بوته و عدد ۱/۸۶ نیز عرض از مبدأ رگرسیون است.

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

Table 5- Correlation coefficients among studied traits in ecotypes of fennel

صفت Trait	روز تا سبز شدن Days to germination	روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	وزن هزار دانه 1000 grain weight
روز تا سبز شدن germination Days to	1								
روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	0.61**	1							
روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	0.43*	0.90**	1						
ارتفاع بوته Plant height	0.44*	0.77**	0.66**	1					
تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	-0.08	-0.25	-0.25	0.15	1				
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	-0.11	-0.19	-0.20	0.17	0.51**	1			
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	-0.46**	-0.37*	-0.37*	-0.05	0.55**	0.54**	1		
تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	-0.01	-0.56**	-0.65**	-0.35*	0.20	0.07	-0.05	1	
وزن هزار دانه 1000 grain weight	-0.58**	-0.65**	-0.40*	-0.53**	0.17	0.04	0.30	0.12	1
عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant	-0.07	-0.17	-0.19	0.16	0.56**	0.59**	0.64**	-0.06	0.18

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

جدول ۶- رگرسیون گام به گام با در نظر گرفتن عملکرد به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغیر مستقل

Table 6- Stepwise regression with regard to yield as dependent variable and other studied traits as independent variable

متغییرهای وارد شده به مدل Variables entered in the model	ضرایب رگرسیون Regression coefficient	اشتباه استاندارد Standard error	ضریب تبیین R^2	ضریب تبیین تصحیح شده Adjusted R^2	F	ضریب تورم واریانس VIF
عرض از مبدأ Intercept	1.86	0.61				
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	0.14	0.05	0.40	0.39	21.13**	1.41
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	0.19	0.08	0.49	0.46	14.53**	1.41

نتایج بررسی ۱۹ اکوتیپ رازیانه در تبریز نشان داد که تعداد چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه در رگرسیون گام‌به‌گام باقی ماندند و به‌عنوان اجزای مؤثر بر عملکرد دانه در نظر گرفته شدند (Sefidan *et al.*, 2014). نتایج تجزیه رگرسیون

گام‌به‌گام در ارزیابی ۱۰ اکوتیپ رازیانه در تهران نشان داد که صفات مستقل مؤثر در عملکرد دانه در شرایط بدون تنش شامل قطر ساقه، تعداد چتر، تعداد چترک، تعداد دانه در چتر و در شرایط تنش شامل تعداد گره در ساقه، قطر ساقه و تعداد چتر بودند (Akbari *et al.*, 2015). در تحقیقی دیگر، در بررسی ۳۳ اکوتیپ مختلف رازیانه در بیرجند، صفات مطلوب برای بهبود کارایی گزینش اکوتیپ‌های مطلوب شامل تعداد چتر بارور در گیاه، تعداد چتر، تعداد دانه در چتر اصلی و تعداد چترک در چتر اصلی گزارش گردید (Izanloo *et al.*, 2017).

با توجه به وجود تنوع میان اکوتیپ‌های مطالعه شده، از تجزیه به عامل برای تعیین نقش هر یک از صفات در تنوع موجود استفاده گردید (جدول ۷). بیشترین سهم را در واریانس مشترک عامل‌های استخراج‌شده صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی کامل، تعداد گل در چترک و ارتفاع بوته داشتند و کمترین سهم مربوط به تعداد چتر در بوته بود. صفات مورد مطالعه در سه عامل گروه‌بندی شدند که ۷۸/۷۴ درصد تغییرات داده‌ها را به‌شرح زیر توجیه کردند: عامل اول ۴۰/۶۲ درصد تغییرات کلی داده‌ها را تبیین کرد. در این عامل صفات روز تا سبز شدن، روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا رسیدگی کامل، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد چترک در چتر همبستگی بالاتری را نسبت به سایر صفات با عامل اول به خود اختصاص دادند و ضریب عاملی روز تا وزن هزار دانه و تعداد چترک در چتر منفی و بقیه صفات مثبت بود. ضرایب بالای صفات مذکور نشان می‌دهد که این صفات در این عامل دارای بالاترین میزان تنوع بوده و سایر صفات دارای تنوع کمتری هستند؛ بنابراین انتخاب جهت بهبود یا افزایش این صفات در این عامل کارایی خواهد داشت. عامل دوم ۲۵/۰۱ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. عملکرد دانه، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و ارتفاع بوته همبستگی بالاتری را نسبت به سایر صفات با عامل دوم به خود اختصاص دادند و ضرایب عاملی همه آن‌ها مثبت بود. عامل سوم ۱۳/۱۱ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. ضرایب عاملی معنی‌دار مربوط به روز تا سبز شدن و تعداد گل در چترک بودند که ضرایب عاملی همه آن‌ها مثبت بودند.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در بررسی تنوع فنوتیپی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کرمانشاه نشان داد که چهار عامل مستقل و اصلی، ۸۱/۴۰ درصد تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (Farshadfar *et al.*, 2017). در مطالعه ۱۰ اکوتیپ رازیانه در کشور تونس در آفریقا، نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو عامل مستقل و اصلی، ۸۵/۰۹ درصد تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (Kalleli *et al.*, 2019).

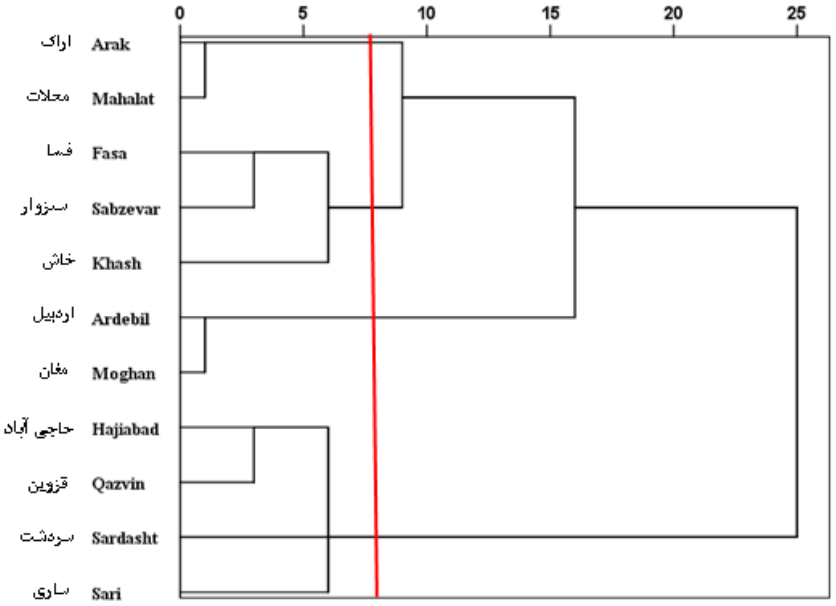
برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) بر روی صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با روش وارد (شکل ۱) اکوتیپ‌ها را در ۴ گروه (دو اکوتیپ در خوشه اول، دو اکوتیپ در خوشه دوم، سه اکوتیپ در خوشه سوم و چهار اکوتیپ در خوشه چهارم) قرار داد. مقایسه میانگین برای صفات مورد نظر نیز انجام شد (جدول ۸). اکوتیپ‌های خوشه اول (اراک و محلات) بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه و وزن هزار دانه را نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل به خود اختصاص دادند. از نظر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر و تعداد گل در چترک اکوتیپ‌های خوشه دوم (اردبیل و مغان) ارزشی بالاتر از میانگین کل ۱۱ اکوتیپ را داشتند. اکوتیپ‌های خوشه سوم (فسا، خاش و سبزوار) بیشترین تعداد گل در چترک در مقایسه با خوشه‌های دیگر و میانگین کل داشتند. بیشترین انحراف مثبت از میانگین کل از نظر صفات روز تا سبز شدن، روز تا ٪۵۰ گل‌دهی و روز تا رسیدگی کامل مربوط به اکوتیپ‌های خوشه چهارم (حاجی‌آباد، قزوین، سردشت و ساری) بود.

نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) ۱۹ اکوتیپ مختلف رازیانه کشت‌شده در شرایط آب و هوایی تبریز را در دو گروه طبقه‌بندی نمود (Sefidan *et al.*, 2014). در بررسی تنوع فنوتیپی ۱۶ اکوتیپ رازیانه در کرمانشاه، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد اکوتیپ‌های مورد مطالعه را در چهار گروه طبقه‌بندی نمود (Farshadfar *et al.*, 2017). در بررسی ۳۳ اکوتیپ مختلف رازیانه بررسی‌شده در شرایط آب و هوایی بیرجند، نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش وارد اکوتیپ‌ها را در دو خوشه قرار داد (Izanloo *et al.*, 2017). در مطالعه ۱۰ اکوتیپ رازیلنه در کشور تونس در آفریقا، تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA اکوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه طبقه‌بندی نمود (Kalleli *et al.*, 2019).

جدول ۷- ضرایب عامل‌های مشترک، واریانس‌های نسبی و تجمعی و میزان اشتراک عامل‌ها صفات مطالعه شده در اکوتیپ‌های رازیانه

Table 7- Coefficients of common factor, relative variance and cumulative variance and percentage for studied traits in ecotypes of fennel

صفت Trait	ضرایب عامل‌های مشترک Coefficients of the common factor			واریانس مشترک Common variance
	1	2	3	
روز تا سبز شدن germination Days to	0.66	0.14	0.56	0.77
روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	0.94	0.28	-0.07	0.97
روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	0.86	0.23	-0.31	0.89
ارتفاع بوته Plant height	0.64	0.63	0.07	0.81
تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	-0.45	0.64	0.25	0.68
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	-0.39	0.70	0.15	0.66
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	-0.62	0.59	-0.24	0.79
تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	-0.48	-0.30	0.75	0.89
وزن هزار دانه 1000 grain weight	-0.68	-0.19	-0.43	0.68
عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant	-0.40	0.76	-0.02	0.74
واریانس نسبی Relative variance	40.62	25.01	13.11	
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	40.62	65.63	78.74	
مقادیر ویژه Eigenvalue	4.06	2.50	1.31	



شکل ۱- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های مورد بررسی رازیانه با استفاده از روش وارد

Figure 1- Dendrogram of cluster analysis in studied ecotypes of fennel by Ward method

جدول ۸- میانگین تجزیه خوشه‌ای برای ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 8- The mean of cluster analysis for composition of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel

صفت Trait	میانگین و انحراف معیار میانگین Mean and standard error of mean				میانگین کل Total mean
	خوشه ۱ Cluster 1	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۳ Cluster 3	خوشه ۴ Cluster 4	
روز تا سبز شدن germination Days to	17.83 ± 0.50	21.17 ± 0.16	21.56 ± 1.97	24.08 ± 1.34	21.73 ± 0.95
روز تا ۵۰٪ گل‌دهی Days to 50% flowering	70.17 ± 5.17	94.17 ± 0.16	72.22 ± 5.13	125.58 ± 5.15	95.24 ± 8.01
روز تا رسیدگی کامل Days to maturity	147.17 ± 0.50	145.17 ± 0.34	121.55 ± 0.62	182.75 ± 0.29	152.76 ± 0.41
ارتفاع بوته Plant height	82.30 ± 0.27	162.07 ± 4.20	91.49 ± 6.55	143.53 ± 13.84	121.57 ± 11.12
تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه Number of branches per plant	5.50 ± 0.50	7.34 ± 0.34	4.78 ± 0.62	4.17 ± 0.29	5.15 ± 0.41
تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	6.00 ± 0.00	8.83 ± 0.50	6.56 ± 1.46	5.17 ± 0.75	6.36 ± 0.59
تعداد چترک در چتر Number of umbellets per umbel	15.17 ± 1.50	18.17 ± 1.17	13.56 ± 1.16	11.50 ± 1.77	13.94 ± 1.03
تعداد گل در چترک Number of flowers per umbellets	16.17 ± 0.16	16.50 ± 0.50	19.00 ± 0.19	14.50 ± 1.08	16.39 ± 0.67
وزن هزار دانه 1000 grain weight	5.78 ± 0.42	4.12 ± 0.32	3.81 ± 0.18	3.27 ± 0.26	4.03 ± 0.30
عملکرد دانه در گیاه Grain yield per plant	4.99 ± 0.03	6.70 ± 0.72	4.69 ± 0.47	4.48 ± 0.40	5.03 ± 0.32

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل نشان داد که اکوتیپ‌های رازیانه از نظر صفات مورد مطالعه تفاوت‌های زیادی با هم داشتند. از جمله این‌که اکوتیپ‌های زودرس (اردبیل و مغان) با تعداد چتر در بوته، چترک در چتر و گل در چترک بالا، تعداد شاخه‌های فرعی بالا، دارای عملکرد دانه بالایی بودند. در حالی‌که اکوتیپ‌های دیررس (حاجی‌آباد، قزوین، سردشت و ساری) با تعداد چتر در بوته، چترک در چتر و گل در چترک پایین، تعداد شاخه‌های فرعی کم، دارای عملکرد دانه کمی بودند. اکوتیپ‌های زودرس، وزن هزار دانه بیشتری داشتند. بنابراین، جهت تولید اکوتیپ‌های با خصوصیات زراعی مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی و انتخاب می‌توان با انجام تلاقی بین اکوتیپ‌های برتر از خوشه‌های مختلف و آزمون نتایج آن‌ها اقدام نمود. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با تجزیه همبستگی ساده مطابقت داشت به‌طوری‌که تعداد چترک در چتر که بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد داشت به‌عنوان اولین صفت وارد مدل شد. صفت بعدی، تعداد چتر در بوته وارد مدل گردید که دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد بود. با توجه به اینکه صفات تعداد چتر در بوته و تعداد چترک در چتر شاخص خوبی برای توجیه عملکرد بودند بنابراین، انتخاب این صفات می‌تواند موجب حداکثر افزایش عملکرد در مقایسه با سایر صفات اجزای عملکرد گردد. در این تحقیق، اکوتیپ‌های اردبیل و مغان به‌عنوان اکوتیپ‌های برتر معرفی می‌گردند که می‌توان با استفاده از این اکوتیپ‌ها انواع روش‌های اصلاحی را بر آن‌ها اعمال کرد و به تولید اکوتیپ‌های با خصوصیات مورفولوژیک مطلوب دست یافت.

References

Abhay, D. and Sastry, E.V.D., 2011. Variability, character association and path coefficient analysis in fennel. *Indian Journal of Horticulture*, *68*(3), PP.351-356.

Akbari, A., Izadi-Darband, A., Bahmani, K. and Ramshini, H.A., 2015. Relationships between seed yield and plant characteristics in synthetic cultivars and elite ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *17*(4), PP.301-314 [In Persian].

Alawala, S., Suman, A., Arro, J.A., Veremis, J.C. and Kimbeng, C.A., 2006. Target region amplification polymorphism (TRAP) for assessing genetic diversity in sugarcane germplasm collections. Crop Science, *46*, PP.448-455. **doi: 10.2135/cropsci2005.0274**

Bahmani, K., Izadi Darbandi, A. and Baghcheghi, R., 2012. Assessment of genetic diversity of Iranian fennel Rapid marker. *Special Twelfth Iranian Genetics Congress*, *12*, PP.99-105 [In Persian].

Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Noori, S.A.S., Jafari, A.A. and Moradi, N., 2013. Determination of interrelationships among phenotypic traits of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) using correlation, stepwise regression and path analyses. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *15*(3), PP.424-444. **doi: 10.1080/0972060x.2012.10644070**

Burton, G.W. and Devane, D.E., 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, *45*(10), PP.478-481. **doi: 10.2134/agronj1953.00021962004500100005x**

Diaaz-Maroto, M.C., Pea Rez-Coello, M.S., Esteban, J. and Sanz, J., 2006. Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from central spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(18), PP.6814-6818. **doi: 10.1021/jf0609532**

Farshadfar, M., Moradzade, N., Farshadfar, E. and Shirvani, H., 2017. Genetic diversity among fennel (*Fueniculum vulgare* Mill.) accessions using morphological and SCoT markers. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *25*(2), PP.212-231 [In Persian].

Hadli, A.A., Yuvaraj, K.M., Srinivasulu, B., Jayaprada, M., Kiran, Y.D. and Vali, D.M., 2021. Genetic variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Rayalaseema region of Andhra Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *10*(1), PP.1755-1760. **doi: 10.22271/phyto.2021.v10.i1y.13605**

Hosseini, E., Majidi, M.M., Ehtemam, M.H., Ghanadian, M. and Huyghe, C., 2021. Variation in a worldwide collection of fennel (*Foeniculum vulgare* var. vulgare). *Crop and Pasture Science*, *72*(12), PP.1008-1021. **doi: 10.1071/cp21149**

Izanloo, A., Jami, A., Zabet, M. and Samadzadeh, A.R., 2017. Assessment of genetic diversity of different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) ecotypes based on morpho-phenological traits. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *33*(5), PP.779-792 [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2017.108103.1874**

Kalleli, F., Rebey, I.B., Razgallah, N., Tounsi, M.S. and M'Hamdi, M., 2019. Comparative analysis of morphological and chemical variability in different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) cultivars.

International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch, *4*(4), PP.200-217. **doi: 10.35410/ijaeb.2019.4418**

Kumar, R., Meena, R.S., Verma, A.K., Hemant, A. and Panwar, A., 2017. Analysis of genetic variability and correlation in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) germplasm. *Agricultural Research and Technology*, *3*(4), PP.125-129. **doi: 10.19080/artoaj.2017.03.555616**

Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M.R. and Talebi, M., 2014. An assessment of morphological genetic variations and heritability of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Taxonomy and Biosystematics*, *6*(18), PP.77-86 [In Persian].

Novais, H.M., Santos, I., Mendes, S. and Pinto-Gomes, C., 2004. Studies on pharmaceutical ethnobotany in arrabida natural park (Portugal). *Journal of Ethnopharmacology*, *93*(2-3), PP.183-195. **doi:10.1016/j.jep.2004.02.015**

Safaei, L., Zeinali, H. and Afiuni, D., 2011. Study of genetic variation of agronomic characteristics in *Foeniculum vulgare* Mill. genotypes. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *19*(1), PP.167-180 [In Persian]. **doi: 10.22092/ijrfpbgr.2011.10076**

Sefidan, A.Y., Valizadeh, M., Aharizad, S. and Sabzi, M., 2014. Path analysis of grain yield, some morphological traits and essential oil content in different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *4*(5), PP.10-15.

Sharma, K.K., Crouch, J.H. and Hash, C.T., 2003. Application of biotechnology for crop improvement: Prospects and constraints. *Plant Sci*ence, *163*, PP.381-397. **doi: 10.1016/s0168-9452(02)00133-4**

Yadav, P.S., Pandey, V.P. and Yadav, Y.P., 2013. Variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *22*(2), PP.203-208.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 413-427

Evaluation of morphological traits variation in different fennel ecotypes using multivariate statistical methods

Shahram Riahinia[1], Maryam Danesh Gilevaei[1*]

[1] Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran
[*]Corresponding Author: daneshg_maryam@yahoo.com

Received: 16 March 2022 Accepted: 24 April 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.334423.1213**

Abstract

Introduction: Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) is an old medicinal plant that is usually used as food and traditional medicine. The main goal of studying genetic diversity and relationships between germplasm sets is to use the information obtained from the diversity of native cultivars to develop and release cultivars with higher yields among cultivated species.

Materials and methods: To investigate genetic diversity and relationships among morphological traits, an experiment was performed using a completely randomized design with 3 replications on 11 fennel ecotypes in the greenhouse of Payame Noor University of Qom, in 2020. The measured traits included number of days to germination, number of days to 50% flowering, number of days to maturity, plant height, the number of branches per plant, the number of umbels per plant, the number of umbellets per umbel, the number of flowers per umbellets, 1000-seed weight, and grain yield per plant. After data collection, analysis of variance, mean comparison (with Duncan's test), correlation between traits (using Pearson's method) and stepwise regression were performed. In order to determine the relative contribution of each of the measured traits in creating diversity among the studied ecotypes, factor analysis was used, and Ward's cluster analysis was used to group them. SPSS software was used to analyze the data. Environmental, genetic and phenotypic variance components were estimated based on mathematical expectation of mean squares to calculate trait heritability with Excel software.

Results and discussion: Based on the results of the analysis of variance, a significant difference was observed among the studied ecotypes for all traits. Most of the studied traits had high broad-sense heritability. Seed yield per plant had a positive and significant correlation with the number of umbellets per umbel (0.64), number of umbels per plant (0.59), and number of branches per plant (0.56). Factor analysis showed that three main and independent factors explained 78.74 percent of the total variance in all ecotypes. Cluster analysis using the Ward method grouped 11 studied ecotypes into four separate clusters. The second cluster ecotypes (Ardebil and Moghan) are valuable due to their high values of plant height, number of branches per plant, number of umbels per plant, number of umbellets per umbel, number of flowers per umbellets, 1000-seed weight, and seed yield, and these ecotypes can be used to select of high yielding ecotypes and desirable morphological traits in breeding programs.

Conclusion: The results showed that fennel ecotypes had many differences in terms of the studied traits. Among them, the early maturing ecotypes (Ardebil and Moghan) with high values of the number of umbels per plant, umbellets per umbels and flowers in umbellets, and number of branches per plant had high seed yield. While long maturing ecotypes (Hajiabad, Qazvin, Sardasht and Sari) with low values of the number of umbels per plant, umbellets per umbels and flowers per umbellets, the number of branches per plant had low seed yield. Therefore, in order to produce ecotypes with desirable agricultural characteristics in breeding and selection programs, crossing between superior ecotypes from different clusters and testing their results can be done. The results of stepwise regression analysis were consistent with correlation analysis, so that the number of umbellets per umbels, which had the highest correlation coefficient with yield, was entered into the model as the first trait. The next trait, the number of umbels per plant, was entered into the model, which had a positive and significant correlation with yield. Considering that the traits number of umbels per plant

and number of umbellets per umbels were good indicators for yield, therefore, the selection of these traits can cause the maximum increase in yield compared to other traits of yield components. In this research, the ecotypes of Ardebil and Moghan are introduced as superior ecotypes, which can be used to apply all kinds of improvement methods on them and achieve the ecotypes with favorable morphological characteristics.

Keywords: Cluster analysis, Correlation, Factor analysis, Heritability

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۲۹-۴۴۶

مقاله پژوهشی

مطالعه تحمل فیزیولوژیکی چغندرقند به تنش خشکی با مصرف اسید سالیسیلیک

عباس ابهری[1*]، مجید سید آبادی[2]، منصوره کرمانی[1]

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

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: abbasabhari@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.356848.1268**

چکیده

به منظور تأثیر مصرف اسید سالیسیلیک بر افزایش تحمل فیزیولوژیکی چغندرقند به تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان جوین انجام شد. تیمارها شامل آبیاری کامل و تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل)، و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در سه سطح صفر، ۲/۵ و پنج میلی‌مولار روی رقم‌های ۰۳۴(شکوفا) و ۰۳۱(آریا) بود. نتایج نشان داد که مصرف اسید سالیسیلیک عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص را افزایش و نیتروژن، سدیم و پتاسیم مضر (در شرایط تنش) را کاهش داد. اسید سالیسیلیک به عنوان یک ماده ضد تنش با تأثیر مثبت بر افزایش محتوای نسبی آب برگ و اسید آمینه پرولین و هم‌چنین کاهش درصد نشت الکترولیت برگ (در شرایط آبیاری کامل)، میزان عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص (عیار) را در هر دو شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل افزایش داد. عملکرد ریشه در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۲/۵ و پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در رقم ۰۳۴ از ۲۰/۷ (در شرایط عدم مصرف اسید سالیسیلیک) به ترتیب به ۲۲/۵ و ۲۷/۶ کیلو گرم بر متر مربع رسید. رقم ۰۳۱ در شرایط تنش خشکی و مصرف پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین عملکرد ریشه را تولید کرد در صورتی‌که رقم ۰۳۴ در شرایط آبیاری کامل و مصرف پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین عملکرد ریشه را تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد ریشه، عیار قند، نیتروژن، نشت الکترولیت

مقدمه

یکی از محصولات زراعی عمده و راهبردی چغندرقند است که سهم زیادی در تولید شکر جهانی دارد (Draycott, 2008). نیاز کشور به تولید شکر و تأمین ۷۰ درصد شکر از چغندرقند داخل کشور، اهمیت این محصول را به خوبی نشان می‌دهد. این محصول علاوه بر تولید قند و شکر، از طریق تأمین خوراک دام بخشی از نیازهای مردم را تأمین می‌کند. علاوه بر این از ملاس نیز که از فرآورده‌های جانبی چغندرقند هست در صنعت تولید الکل و داروسازی استفاده می‌شود (Sadrabadi Haghighi *et al.*, 2011). تجمع قند در چغندرقند تحت تأثیر عوامل محیطی صورت می‌گیرد. حرارت، نور، طول روز و رطوبت خاک تا حد زیادی تعیین‌کننده نحوه رشد و ذخیره قند در ریشه چغندرقند می‌باشد (Draycott, 2003).

اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده درونی رشد گیاه است که بر واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی گسترده‌ای در رشد و توسعه گیاه تأثیر گذار است (Hayat *et al.*, 2010). نقش اسید سالسیلیک در ارتباط با سازوکارهای دفاعی در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیر زیستی به خوبی مشخص شده است (Hayat, 2005). اسید سالیسیلیک یکی از مولکول‌های سیگنال‌دهنده مهم است که باعث عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود. این ماده همانند یک آنتی‌اکسیدانت غیر آنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاه ایفا می‌کند (Arfan *et al.*, 2007). این ترکیب شبه‌هورمونی یک ترکیب فنلی است که در گیاهان بوسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود و در مقادیر کم (میلی‌گرم بر گرم وزن تر یا کمتر) وجود دارد (Raskin, 1992). در تحقیقی پیش‌تیمار بذر لوبیا چشم بلبلی با اسید سالیسیلیک، میزان کلروفیل را افزایش داد و مشخص شد که گیاهان حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده با اسید سالیسیلیک از طریق افزایش محتوای نسبی آب، شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل برگ گیاه، توانستند سرعت فتوسنتز را در شرایط عادی و تنش بهبود بخشند (Pak Mehr *et al.*, 2015). یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ‌دهنده به کم‌آبی محتوای نسبی آب برگ است. مطابق با نتایج حاصل از یک تحقیق با افزایش

شدت کم‌آبی در ریحان محتوای رطوبت نسبی برگ کاسته شد و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد (Zargerian *et al.*, 2016).

تمام تیمارهای محلول‌پاشی مواد ضد تنش اعم از اسید سالیسیلیک، تیوفول و گلیسین در غلظت‌های مختلف باعث افزایش در میزان صفات کیفی چغندرقند اعم از عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد شکر سفید شد (Kheirkhah *et al.*, 2016). افزایش قندهای محلول و نامحلول و کاهش آنزیم‌های اکسیدازی توسط اسید سالیسیلیک در مواجهه با تنش نشان‌دهنده تأثیر این ماده در آسیب‌های اکسایی می‌باشد (Ranjbar *et al.*, 2010). کاهش خسارت غشاء در اثر مصرف اسید سالیسیلیک با تولید آنتی‌اکسیدان در ارتباط می‌باشد و از این طریق اسید سالیسیلیک باعث افزایش پایداری غشاء در برابر تنش‌های اکسایشی می‌گردد (Ghoulam *et al.*, 2001).

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش کمی و کیفی در گیاهان است. بر اساس نتایج یک تحقیق، تنش خشکی در دوره پرشدن دانه گندم تأثیر منفی بارزی بر عملکرد و اجزای آن و هم‌چنین محتوای نسبی آب برگ پرچم گذاشت و در مقابل، افزایش نشت یونی را باعث شد (Naghizadeh and Gholami Toran Poshti, 2015). افزایش در نشت الکترولیت در شرایط تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Borsani *et al.*, 2001; Ghoulam *et al.*, 2001). در تحقیقی مشاهده شده است که تیمار سالسیلیک اسید، آنزیم‌های هیدرولیز کننده پلی ساکارید را مهار کرده و تشکیل پلی ساکاریدها از قندهای محلول را سرعت می‌بخشند. با این فرض، اسید سالسیلیک میزان قندهای غیرمحلول را نسبت به قندهای محلول افزایش می‌دهد (Borsanio and Botella, 2001). با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب گندم بر حسب عملکرد دانه کاهش یافت (Ezzat Ahmadi *et al.*, 2010). به طور کلی، افزایش کمبود آب در شرایط زراعی سبب افزایش راندمان مصرف آب می‌شود و در شرایط کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط رطوبتی مطلوب، نسبت به میزان آب مصرف‌شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Shabiri *et al.*, 2006). مقایسه دو راهبرد کم آبیاری و آبیاری کامل روی رقم‌های سویا نشان داده است که اگر تولید کننده از روش کم آبیاری استفاده کند، در مصرف آب صرفه جویی شده و با افزایش سطح زیر کشت، تولید کل افزایش می‌یابد (Kiani, 2010).

تنش خشکی بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه تأثیر گذاشته و از رشد و تقسیم سلولی ممانعت می‌کند و سبب کاهش عملکرد به صورت کمی و کیفی در گیاهان می‌شود. تنش خشکی از طریق افزایش نشت الکترولیت از غشاءهای سلولی، کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نیتروژن مضر باعث کاهش استحصال قند و عملکرد قند در واحد سطح می‌شود. مواد ضد تنش با تأثیر مثبت بر افزایش محتوای نسبی آب برگ و پرولین و هم‌چنین کاهش درصد نشت الکترولیت مواد از سلول‌ها باعث تعدیل تنش و افزایش عملکرد در گیاهان می‌شوند؛ لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان تعدیل اثرات منفی تنش خشکی در ارقام چغندرقند تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسلیک در دورهای مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، در مزرعه شخصی در شهرستان جوین، روستای خرم آباد با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ارتفاع متوسط ۱۱۰۰ متر از سطح دریا اجرا شد.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تیمار آبیاری در دو سطح آبیاری کامل (هر هشت روز یک‌بار ۱۳۰ لیتر در متر مربع) و تنش (۵۰٪ آبیاری کامل) و تیمار اسید سالیسلیک در سه سطح صفر (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۲/۵ و پنج میلی‌مولار در لیتر در مراحل رشدی ۱۶-۱۴ برگی در کرت‌های مورد نظر انجام شد (Abhari *et al.*, 2019). در این مرحله هم قابلیت جذب بالاست و هم شروع ذخیره‌سازی مواد در ریشه هست بنابراین تیمارها در این مرحله اجرا شد (Khajepoor, 2004).

هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول سه متر، با فاصله بین ردیف ۵۰ و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. رقم‌های چغندر مورد استفاده در این تحقیق، رقم‌های ۰۳۴ (شکوفا) و ۰۳۱ (آریا) بودند. در پاییز، جهت تهیهٔ بستر کاشت، نسبت به شخم عمیق با گاو آهن برگردان‌دار زمین اقدام شد. در بهار سال

بعد، عملیات نهایی آماده‌سازی زمین که شامل شخم سبک با چیزل، دیسک و تسطیح بود، انجام شد.

قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری به عمل آمد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید. براساس نتایج تجزیه خاک، مقدار توصیه شده فسفر به صورت کود سوپر فسفات تریپل (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و پتاسیم به صورت کود سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم درهکتار) به خاک اضافه و با آن مخلوط شد. نیتروژن توصیه شده نیز به صورت کود اوره (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و در سه مرحله، یک‌سوم هم‌زمان با کاشت و دو سوم باقی‌مانده به صورت سرک در طی دوره رشد (در مرحله هشت و ۱۶ برگی) محصول مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری محل انجام آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil at a depth of 0-30 cm at the test location

PH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity(dS/m)	بافت Texture	کربن آلی Organic carbon(%)	نیتروژن N (%)	پتاسیم قابل جذب K(ppm)	فسفر قابل جذب P(ppm)
8.3	2.6	لوم –رسی-سیلتی loam-clay-silty	0.407	0.85	236	3.2

برای اندازه‌گیری محتوای آب نسبی از روش اسمارت و بینگهام (Smart and Bingham, 1974) و برای تعیین درصد نشت الکترولیت، از روش والنتوویک و همکاران (Valentovic *et al.*, 2006) استفاده شد. در هنگام رسیدگی و زمان برداشت محصول چغندرقند در منطقه پس از حذف اثر حاشیه‌ای، یک متر مربع از محصول هر کرت به صورت کاملاً تصادفی برداشت و پس از جدا کردن طوقه و لندام هوائی، نسبت به محاسبه عملکرد ریشه بر حسب کیلوگرم اقدام شد.

جهت بررسی خصوصیات کیفی ریشه، نمونه‌های ریشه ابتدا به طور کامل شسته شده و پس از توزین، از آن‌ها خمیر تهیه و در ظروف مخصوص تحت شرایط انجماد نگهداری شد. برای تجزیه کیفی هر نمونه خمیر، آن را در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از خارج شدن از حالت انجماد، از هر نمونه، ۲۶ گرم خمیر با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب در همزن ریخته و به مدت زمان سه دقیقه مخلوط گردید. پس از انتقال مخلوط به قیف صافی، شربت زلالی حاصل گردید که برای اندازه‌گیری خصوصیات کیفی مورد استفاده قرار گرفت.

در شربت حاصله، درصد قند به روش پلاریمتری و توسط دستگاه ساکاریمتر (مدل 361 CL Elico)، سدیم و پتاسیم به روش فیلم فتومتری (مدل PFP7) و نیتروژن مضره به روش عدد آبی و با استفاده از دستگاه بتالایزر اندازه‌گیری شد (Saeed Abadi *et al.*, 2021). با توجه به غلظت ناخالصی‌های پتاسیم (K)، سدیم (Na) و نیتروژن مضره (N)، ضریب قلیائیت یا آلکالیته (ALK) برای هر نمونه بر مبنای رابطه ۱ محاسبه گردید (Gooding *et al.*, 2003).

$$AlK = (K+Na)/N \quad (۱)$$

با توجه به غلظت ناخالصی‌های موجود، مقدار شکر سفید (قند قابل استحصال یا درصد قند خالص) بر حسب گرم شکر در ۱۰۰ گرم چغندرقند و درصد قند ملاس بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم چغندرقند و عملکرد شکر سفید (عملکرد قند) بر حسب تن در هکتار بر مبنای روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه شد.

درصد قند خالص (قند قابل استحصال) = درصد قند ناخالص - (درصد قند ملاس - ۰/۶) (۲)

ضایعات شکر کارخانه قند، معادل ۰/۶ در نظر گرفته شد. مقدار قند ملاس، بر اساس مقدار پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره بر اساس فرمول تجربی زیر برآورد شد (Draycott, 2008).

$$\text{قند ملاس} = 0.12\,(k + Na) + 0.24\,N + 0.48 \quad (۳)$$

عملکرد قند (شکر سفید) = عملکرد ریشه × درصد قند خالص (۴)

آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه

میانگین‌ها به روش LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) در سطح آماری ۵٪ صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس نشان داد که برای صفات درصد نیتروژن، سدیم، پتاسیم، عملکرد ریشه، قند ناخالص، عملکرد قند، محتوای نسبی آب برگ، پرولین و نشت الکترولیت اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد؛ بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل برش‌دهی صورت گرفت و رقم‌ها در مقادیر اسید سالیسیلیک در هر یک از شرایط آبیاری کامل و پنجاه درصد آبیاری (تنش خشکی) کامل بصورت جداگانه مقایسه میانگین شد (جدول ۲).

درصد نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس برای درصد نیتروژن نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). شرایط آبیاری باعث کاهش مقدار نیتروژن مضر شد (جدول ۵). مقدار نیتروژن مضر در شرایط تنش با مصرف اسید سالیسیلیک کاهش یافت ولی در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک افزایش یافت (جدول‌های ۶ و ۷). در شرایط تنش خشکی مقدار نیتروژن مضر در رقم ۰۳۱ با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک کاهش یافت ولی در رقم ۰۳۴ با مصرف ۲/۵ میلی‌مول بر لیتر کاهش یافت ولی با مصرف پنج میلی‌مول بر لیتر مقدار نیتروژن مضر را افزایش داد (شکل‌های ۱ و ۲).

در شرایط تنش خشکی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک رقم ۰۳۴ با ۳/۲۶ درصد کمترین نیتروژن را داشت. در شرایط مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و شرایط تنش خشکی رقم ۰۳۴ با ۲/۳ کمترین درصد نیتروژن را داشت. کمترین مقدار نیتروژن در شرایط تنش خشکی و مصرف ۵ میلی‌مولار مربوط به رقم ۰۳۱ با ۲/۵ درصد نیتروژن بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل، مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۱/۷۶ درصدی نیتروژن در رقم ۰۳۱و مصرف پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۰/۷۶ درصدی نیتروژن در رقم ۰۳۴ شد.

در مطالعه‌ای تأثیر مواد ضد تنش (اسید سالیسیلیک، تیوفول و گلیسین) بر عملکرد چغندرقند در شرایط تنش خشکی بعد از سبز شدن بررسی شد و نشان داد این مواد باعث کاهش نیتروژن مضر شد (Kheirkhah *et al.*, 2016). به نظر می‌رسد مواد ضد تنش به افزایش تبدیل شدن نیتروژن آزاد به اسید آمینه و پروتئن کمک می‌کنند. بدین ترتیب فشار اسمزی گیاه منفی‌تر شده و آب بیشتری توسط گیاه جذب می‌شود که این امر منجر به افزایش تحمل گیاه در برابر خشکی و هم‌چنین کاهش نیتروژن مضر در انتهای رشد می‌شود (Borsanio and Botella, 2001).

درصد سدیم

نتایج تجزیه واریانس برای درصد سدیم نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۲). درصد سدیم در شرایط آبیاری با تنش تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). درصد سدیم در شرایط تنش با مصرف اسید سالیسیلیک ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت، ولی در شرایط آبیاری کامل با مصرف اسید سالیسیلیک روند کاهشی داشت (جدول‌های ۶ و ۷). در شرایط تنش خشکی با افزایش مصرف مقادیر اسید سالیسیلیک درصد سدیم در رقم ۰۳۱ کاهش یافت ولی در رقم ۰۳۴ افزایش یافت. در پژوهشی آمده است که سدیم یکی از املاح معدنی محلول در ریشه چغندرقند است که از طریق ممانعت از بلوری شدن ساکارز در فرایند استخراج قند ایجاد اختلال کرده و با افزایش درصد قند ملاس باعث افزایش ضایعات قندی و کاهش درصد قند قابل استحصال شد (Bayat, 1995).

درصد پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس برای درصد پتاسیم نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری

در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). درصد پتاسیم در شرایط آبیاری با تنش تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). پتاسیم در شرایط تنش با مصرف اسید سالیسیلیک کاهش یافت ولی در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک افزایش یافت (جدول‌های ۶ و ۷). در شرایط تنش خشکی با افزایش مصرف مقادیر اسید سالیسیلیک (صفر، ۲/۵ و پنج میلی‌مولار بر لیتر) درصد پتاسیم در هر دو رقم ۰۳۱ و ۰۳۴ کاهش یافت، ولی در شرایط آبیاری کامل از روند خاصی پیروی نکرد (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۱). پتاسیم نقش مهمی در تنظیم پتانسیل سلول‌های گیاهی دارد که نقش تعیین‌کننده‌ای در جذب آب ایفا می‌کند و هم‌چنین فعال‌کننده بسیاری از آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و تنفس می‌باشد. با این وجود زیادی آن استحصال قند را با مشکل مواجه می‌کند (Yadollahi *et al.*, 2021).

عملکرد ریشه

نتایج تجزیه واریانس عملکرد ریشه نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل برش‌دهی صورت گرفت و رقم‌ها در مقادیر اسید سالیسیلیک در هر یک از شرایط آبیاری کامل و پنجاه درصد آبیاری (تنش خشکی) کامل به‌صورت جداگانه مقایسه میانگین محاسبه شد (جدول ۲).

تنش خشکی عملکرد را کاهش داد ولی مصرف اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد تیمارها در شرایط تنش به نسبت تیمار شاهد شد. رقم ۰۳۱ با مصرف ۵ میلی‌مولار اسید سالیسیک بیشترین مقدار عملکرد ریشه (۱۶/۵۹ کیلوگرم بر متر مربع) را تولید کرد. در شرایط آبیاری کامل هم با افزایش مقادیر اسید سالیسیلیک عملکرد افزایش یافت (جدول‌های ۵، ۶ و ۷).

طبق نتایج مقایسه میانگین برای صفت عملکرد ریشه در شرایط تنش خشکی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک رقم ۰۳۱ با ۱۵/۶ کیلوگرم بر متر مربع بیشترین مقدار و رقم ۰۳۴ با ۹/۶ کیلوگرم بر متر مربع کمترین مقدار را دارا بود. در شرایط تنش و مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک رقم ۰۳۱ با ۱۶/۵ کیلوگرم بر متر مربع بیشترین مقدار عملکرد ریشه را داشت و در شرایط تنش خشکی و مصرف ۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک رقم ۰۳۱ با ۱۶/۵ کیلوگرم بر متر مربع بیشترین مقدار عملکرد ریشه را دارا بود (جدول ۳). آبیاری کامل و عدم مصرف اسید سالیسیلیک باعث شد رقم ۰۳۱ با ۱۶/۷۵ کیلو گرم بر متر مربع کمترین عملکرد ریشه را تولید کند و در شرایط مصرف ۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و آبیاری کامل رقم ۰۳۴ با ۲۷/۳ کیلو گرم بر متر مربع دارای بیشترین مقدار عملکرد ریشه بود. در مجموع نتایج نشان داد که در شرایط خشکی و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک، به لحاظ عملکرد رقم ۰۳۱ بهتر از ۰۳۴ بود این در صورتی بود که در شرایط آبیاری کامل رقم ۰۳۴ بیشترین عملکرد را تولید کرد.

افزایش عملکرد با مصرف اسید سالیسیلیک توسط محققان گزارش شده است (Vahabi *et al.*, 2017; Yun-Xia *et al.*, 2010). در تحقیقی با مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دیم، عملکرد رقم‌های گندم نسبت به شاهد۱۰ درصد افزایش یافت (Sajedi and Gholinezhad, 2012). هم‌چنین در گزارشی در مورد سورگوم بیان شد که در شرایط تنش خشکی مصرف اسید سالیسیلیک باعث افزایش رشد ریشه و ارتفاع گیاه شد (Draycott and Christenson, 2003). محلول‌پاشی چغندرقند با مولد ضد تنش سیلیکون و پرولین توانست کاهش عملکرد در نتیجه تنش خشکی را از طریق افزایش محتوای نسبی آب برگ، کاهش نشت الکترولیت و افزایش پرولین برگ جبران نماید (Muneera *et al.*, 2021). نتایج به دست آمده از آزمایشی نشان داد تمام تیمارهای محلول‌پاشی مواد ضد تنش اعم از اسید سالیسیلیک، تیوفول و گلیسین در غلظت‌های مختلف باعث افزایش در میزان صفات کیفی چغندرقند اعم از عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد شکر سفید شد (Kheirkhah *et al.*, 2016). اسید سالیسیلیک موجب تعدیل تنش خشکی از طریق کاهش نشت یونی، افزایش غلظت پرولین، افزایش شاخص کلروفیل و در نتیجه بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط قطع آبیاری گردید (Abhari *et al.*, 2019).

در این مطالعه هم تنش خشکی باعث کاهش عملکرد شد و این کاهش عملکرد هم به لحاظ کیفی و هم به لحاظ کمی بود. تنش خشکی از طریق افزایش نشت الکترولیت از غشای سلولی، کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نیتروژن مضر باعث

کاهش عملکرد قند و عملکرد ریشه در چغندرقند شد. با این وجود مصرف مقادیر اسید سالیسیلیک توانست بخشی از این کاهش عملکرد را از طریق افزایش پرولین (در رقم ۰۳۴) و منفی شدن پتانسیل اسمزی، افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نیتروژن مضر جبران نماید و باعث افزایش عملکرد قند و عملکرد ریشه در چغندرقند شد (جدول ۵).

درصد قند ناخالص (عیار)

نتایج تجزیه واریانس درصد قند ناخالص نشان داد که اثرات رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۲). رقم ۰۳۱ با مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل بیشترین درصد قند ناخالص را تولید کرد. نتایج مقایسه میانگین درصد قند ناخالص نشان داد که بین تنش و آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). در شرایط تنش درصد قند ناخالص روند افزایشی داشت، ولی در شرایط آبیاری کامل درصد قند ناخالص کاهش یافت که با مصرف پنج به نسبت ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک افزایش یافت (جدول‌های ۶ و ۷).

در آزمایشی تمام تیمارهای محلول‌پاشی مواد ضد تنش اعم از اسید سالیسیلیک، تیوفول و گلیسین در غلظت‌های مختلف باعث افزایش عیار قند و عملکرد شکر سفید در چغندرقند شد (Kheirkhah *et al*., 2016). در مطالعه حاضر هم در شرایط تنش و مصرف ۲/۵ میلی‌مولار سالسیلیک اسید عیار قند در رقم ۰۳۴ با ۲۰/۵۱ درصد بیشترین مقدار را دارا بود. در هر دو شرایط تنش و آبیاری کامل مصرف مقادیر مختلف اسید سالسیلیک درصد قند ناخالص را افزایش داد و این افزایش در محدوده صفر تا پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌صورت خطی بود (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۳ و ۴).

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که محتوای نسبی آب برگ در شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط تنش افزایش یافت (جدول ۵). در شرایط آبیاری کامل محتوای نسبی آب برگ با مصرف ۲/۵ و پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول‌های ۶ و ۷). در شرایط تنش خشکی نیز مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ شد (جدول ۶). درصد محتوای نسبی آب برگ در رقم ۰۳۴ در شرایط تنش خشکی و مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک افزایش یافت، ولی در شرایط آبیاری کامل از روند خاصی پیروی نکرد (جدول ۳).

گزارش شده که پیش‌تیمار بذر لوبیا چشم بلبلی با اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش گردید (Pak Mehr *et al*., 2015). در گزارشی در مورد سورگوم آمده است که در شرایط تنش خشکی، رشد بخش هوایی و ریشه گیاه تحت تأثیر اسید سالیسیلیک افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده است (Draycott and Christenson, 2003). این امر می‌تواند باعث افزایش توان جذب آب توسط ریشه و در نتیجه افزایش محتوای نسبی آب گیاهان شود (Pak Mehr *et al*., 2015).

پرولین

نتایج تجزیه واریانس پرولین نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). شرایط آبیاری کامل میزان پرولین (میلی‌مول بر کیلوگرم وزن برگ) را به نسبت شرایط تنش افزایش داد. مصرف اسید سالیسیلیک با غلظت پنج میلی‌مولار باعث افزایش میزان پرولین شد (جدول‌های ۶ و ۷).

در هر دو شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل، میزان پرولین (میلی‌مول بر کیلوگرم وزن برگ) در رقم ۰۳۴ با افزایش مقادیر اسید سالیسیلیک افزایش یافت ولی در رقم ۰۳۱ از روند خاصی پیروی نکرد (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل ۵). در مطالعه‌ای روی چغندرقند محلول‌پاشی با مواد ضد تنش باعث افزایش پرولین برگ شد و توانست کاهش عملکرد در نتیجه تنش

خشکی را جبران نماید (Muneera *et al*., 2021).

درصد نشت الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس درصد نشت الکترولیت نشان داد که اثرات آبیاری، رقم، اسید سالیسیلیک و اثرات متقابل آبیاری در رقم، آبیاری در اسید سالسیلیک، رقم در اسید سالیسیلیک و آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). درصد نشت الکترولیت در شرایط تنش خشکی ۱۰۹/۵ درصد بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود. با افزایش مصرف اسید سالیسیلیک درصد نشت الکترولیت کاهش یافت (جدول‌های ۶ و ۷). با مصرف مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک درصد نشت الکترولیت در شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل برای هر دو رقم کاهش یافت که البته مقادیر نشت الکترولیت در رقم ۰۳۴ کمتر از رقم ۰۳۱ بود. هم‌چنین شیب کاهش با مصرف ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشتر از غلظت پنج میلی‌مولار بود (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۶ و ۷). در مطالعه‌ای روی چغندرقند مشخص شد که مصرف مواد ضد تنش توانست با کاهش نشت الکترولیت برگ، کاهش عملکرد حاصل از تنش خشکی را جبران کند (Muneera *et al*., 2021).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

Table 2- Variance analysis of the measured traits

منابع تغیرات SOV	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean square				
		نیتروژن Nitrogen	سدیم Sodium	پتاسیم Potassium	عملکرد Yield	قند ناخالص Impure sugar
تکرار Replication	2	0.006^{ns}	0.24^{ns}	0.02^{ns}	0.05^{ns}	0.31^{ns}
آبیاری Irrigation	1	0.61^{**}	11.3^{**}	0.07^{**}	519.07^{**}	0.005^{ns}
خطا(Ea) Error a	2	0.001^{ns}	0.006^{ns}	0.002^{ns}	0.01^{ns}	0.001^{ns}
رقم Cultivar	1	3.1^{**}	7.09^{**}	3.69^{**}	15.06^{**}	0.37^{**}
آبیاری*رقم Irrigation*Cultivar	5	10.7^{**}	9.7^{**}	2.32^{**}	51.7^{**}	19.5^{**}
خطا(Eb) Error b	4	0.002^{ns}	0.13^{ns}	0.016^{ns}	0.008^{ns}	0.009^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid	2	3.2^{**}	2.5^{**}	0.79^{**}	53.7^{**}	9.54^{**}
آبیاری*اسید سالیسیلیک Salicylic acid*Irrigation	2	4.1^{**}	5.1^{**}	7.14^{**}	2.62^{**}	9^{**}
رقم*اسید سالیسیلیک Salicylic acid*Cultivar	2	1.73^{**}	1.9^{**}	1.64^{**}	9.7^{**}	2.9^{**}
آبیاری*رقم*اسید سالیسیلیک Irrigation*Cultivar*Salicylic acid	2	1.32^{**}	1.3^{**}	1.25^{**}	16.06^{**}	2.74^{**}
خطا(Ec) Error c	16	0.004^{ns}	0.13^{ns}	0.022^{ns}	0.004^{ns}	0.001^{ns}
CV	-	8.3	11.7	2.33	16.2	11.1

*و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

*.and ** and Ns are significant at the level of 0.05 and 0.01 and non-significant, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

Continued table 2- Variance analysis of the measured traits

منابع تغیرات SOV	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean square			
		عملکرد قند ناخالص Impure sugar yield	محتوای نسبی برگ Relative leaf content	پرولین Proline	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
تکرار Replication	2	0.3^{ns}	0.03^{ns}	0.04^{ns}	0.009^{ns}
آبیاری Irrigation	1	511**	18426**	286838.9**	6822.05**
خطا(Ea) Error a	2	0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.004^{ns}	0.05^{ns}
رقم Cultivar	1	14.1**	82.04**	6962.3**	20203.3**
آبیاری*رقم Irrigation*Cultivar	5	44.4**	132.4**	5911.09**	8084.16**
خطا(Eb) Error b	4	0.15^{ns}	0.053^{ns}	0.026^{ns}	0.021^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid	2	47.58**	78.5**	8609.5**	1685.7**
آبیاری*اسید سالیسیلیک Salicylic acid*Irrigation	2	3.1**	23.7**	6151.5**	7656.6**
رقم*اسید سالیسیلیک Salicylic acid*Cultivar	2	10.54**	117.3**	684.8**	13223.4**
آبیاری*رقم*اسید سالیسیلیک Irrigation*Cultivar*Salicylic acid	2	15.61**	106.7**	3098.89**	3519.2**
خطا(Ec) Error c	16	0.035^{ns}	0.028^{ns}	0.041^{ns}	0.038^{ns}
CV	-	4.7	12.8	10.4	14.7

*و ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

*.and ** and Ns are significant at the level of 0.05 and 0.01 and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات برای هر رقم در هر سطح از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل)

Table 3- Comparison of average traits for each cultivar at each level of salicylic acid under drought stress conditions (50% full irrigation)

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	رقم Cultivar	نیتروژن Nitrogen (%)	سدیم Sodium (%)	پتاسیم Potassium (%)	عملکرد Yield (kg/m2)	قند ناخالص Impure sugar (%)	عملکرد قند ناخالص Impure sugar yield (kg/m2)	محتوای نسبی برگ Relative leaf content (%)	پرولین Proline (mmol/kg leaf weight)	نشت الکترولیت Electrolyte (%) leakage
0	031	4.70a	4.41a	6.3a	15.6c	19.9c	3.10c	39.96a	172.76a	149.2a
	034	3.26b	2.72b	5.86b	9.62e	19.01d	2.11e	28.46e	106.86f	122.1c
2.5	031	3.03c	3.43a	5.57d	16.5b	19.9c	3.26b	35.7c	161.6b	129.4b
	034	2.36e	3.2ab	5.61c	12.32d	20.51b	2.52d	36.8b	134.7d	68d
5	031	2.5d	3.2ab	4.97f	16.59a	20.91a	3.47a	30.25d	122.6e	122.6c
	034	3.17b	4.14a	5.5e	16.51b	20.96a	3.46a	27.2f	147.21c	65.76e
	LSD	0.11	1.3	0.93	0.13	0.25	0.04	0.27	3.25	2.93

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column do not have significant differences

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات برای هر رقم در هر سطح از اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل

Table 4- Comparison of average traits for each cultivar at each level of salicylic acid under full irrigation conditions

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	رقم Cultivar	نیتروژن Nitrogen (%)	سدیم Sodium (%)	پتاسیم Potassium (%)	عملکرد Yield (kg/m2)	قند ناخالص Impure sugar (%)	عملکرد قند ناخالص Impure sugar yield(kg/m2)	محتوای نسبی برگ Relative leaf content (%)	پرولین Proline (mmol/kg)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage(%)
0	031	3.29e	1.64b	3.97e	16.76c	22.76a	3.81e	58.2b	312.6a	206.4a
	034	3.96d	3.8a	5.11c	20.74c	19.25d	3.99d	70.4a	253.7d	91.5c
2.5	031	5.05a	1.48b	5.96b	18.3d	20.45c	3.74f	58.1b	283.2b	98.1b
	034	4.18c	3.4a	7.34a	22.54b	18.1f	4.09c	57.55b	267.5c	57.5d
5	031	3.98d	1.25b	4.34d	18.4d	22.4b	4.14b	55.36c	178.1e	56.1d
	034	4.7b	3. 2a	5.98b	27.3a	18.27e	5.05a	57.5b	272.07c	52.53e
	LSD	0.11	1.01	0.43	0.19	0.12	0.04	0.28	5.51	4.2.21

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column do not have significant differences

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) با آبیاری کامل برای میانگین رقم‌ها

Table 5- Comparison of the average traits in drought stress conditions (50% of full irrigation) with full irrigation for the average cultivars

تیمار آبیاری Irrigation treatment	نیتروژن Nitrogen (%)	سدیم Sodium (%)	پتاسیم Potassium (%)	عملکرد Yield (kg/m2)	قند ناخالص Impure sugar (%)	عملکرد قند ناخالص Impure sugar yield(kg/m2)	محتوای نسبی برگ Relative leaf content (%)	پرولین Proline (mmol/kg)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage(%)
تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) Drought Stress (50% of full irrigation)	3.41a	3.51a	5.49a	14.6b	20.2a	3.11b	33b	140.5b	109.5a
آبیاری کامل Full Irrigation	2.93b	3.41a	5.45a	20.65a	20.1a	4.13a	59.5a	260a	93.68b
Lsd	0.7	0.32	0.28	0.93	0.12	0.11	1.2	20.1	5.3

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column do not have significant differences

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات در هر سطح از اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) برای میانگین رقم‌ها

Table 6- Comparison of average traits at each level of salicylic acid under drought stress conditions (50% of full irrigation) for average cultivars

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	نیتروژن Nitrogen (%)	سدیم Sodium (%)	پتاسیم Potassium (%)	عملکرد Yield (kg/m2)	قند ناخالص Impure sugar (%)	عملکرد قند ناخالص Impure sugar yield(kg/m2)	محتوای نسبی برگ Relative leaf content (%)	پرولین Proline (mmol/kg)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage(%)
0	3.98a	3.56b	6.08a	12.61c	19.455c	2.6c	34.21b	139.81b	135.65a
2.5	3.19b	3.31c	5.59b	14.41b	20.205a	2.89b	36.25a	148.15a	98.7b
5	2.83c	3.67a	5.23c	16.55a	20.935a	3.46a	28.72c	134.90c	93.85c
LSD	0.11	0.09	0.07	0.18	0.45	0.10	1.1	2.5	1.12

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column do not have significant differences

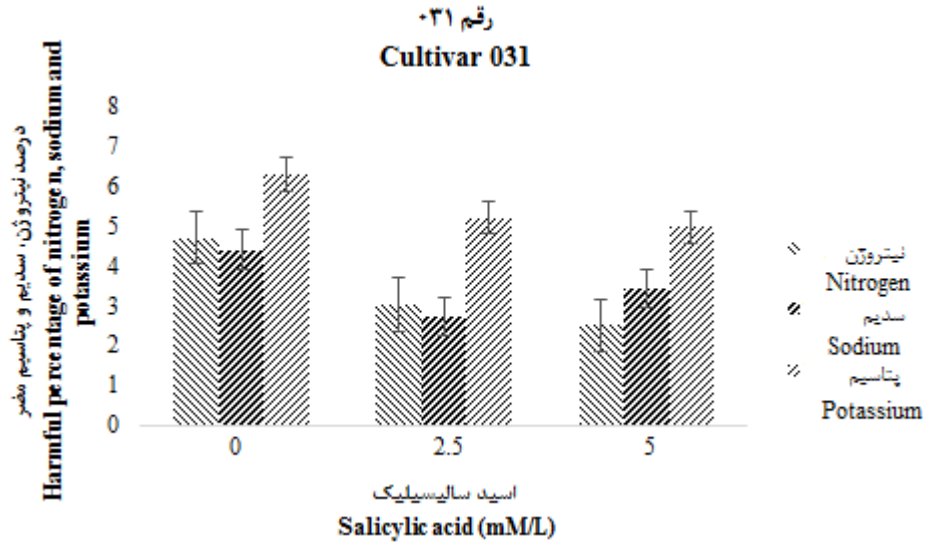
جدول ۷- مقایسه میانگین صفات در هر سطح از اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل برای میانگین رقم‌ها

Table 7- Comparison of average traits at each level of salicylic acid in full irrigation conditions for the average cultivars

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	نیتروژن Nitrogen (%)	سدیم Sodium (%)	پتاسیم Potassium (%)	عملکرد Yield (kg/m2)	قند ناخالص Impure sugar (%)	عملکرد قند ناخالص Impure sugar yield(kg/m2)	محتوای نسبی برگ Relative leaf content (%)	پرولین Proline (mmol/kg)	نشت الکترولیت Electrolyte leakage (%)
0	3.625c	2.72a	4.54c	18.75c	21.0a	3.9b	64.3a	283.15b	148.9a
2.5	4.615a	2.44b	6.65a	20.42b	19.27c	3.91b	57.82b	275.35c	77.8b
5	4.34b	2.22c	5.16b	22.85a	20.33b	4.59a	56.43c	375.08a	54.3b
LSD	0.09	0.15	0.17	0.21	0.20	0.1	0.24	10.2	15.02

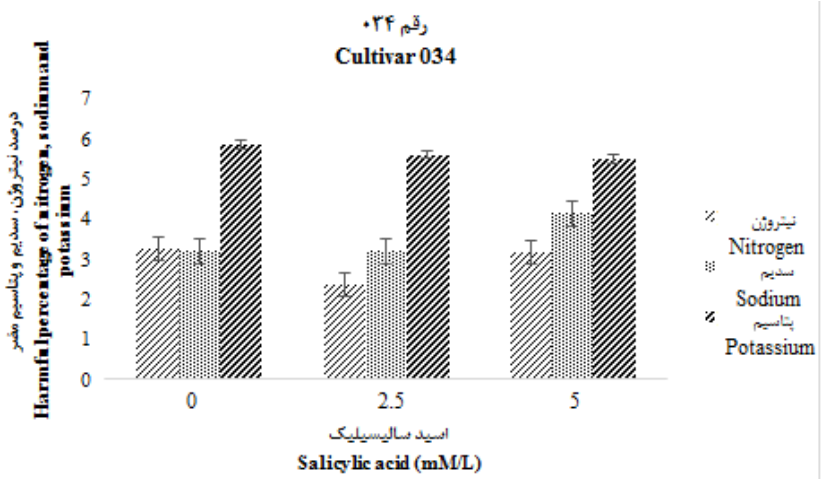
اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

Numbers with common letters in each column do not have significant differences



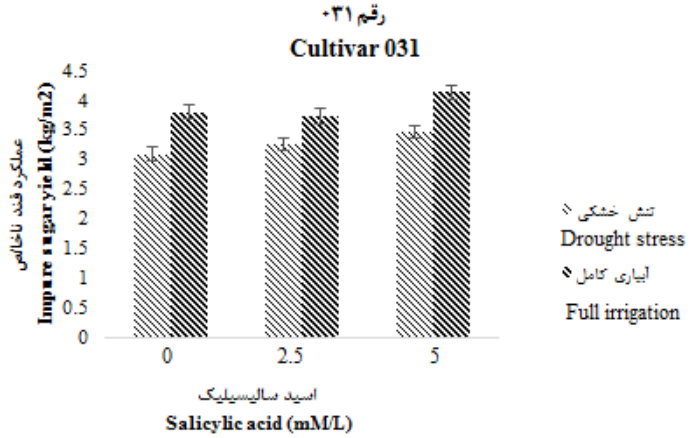
شکل ۱- روابط بین نیتروژن، سدیم و پتاسیم مضر و مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک در رقم ۰۳۱ چغندرقند در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل).

Figure 1- Relationships between harmful nitrogen, sodium and potassium and different amounts of salicylic acid in sugar beet cultivar of 031 under drought stress conditions (50% of full irrigation)



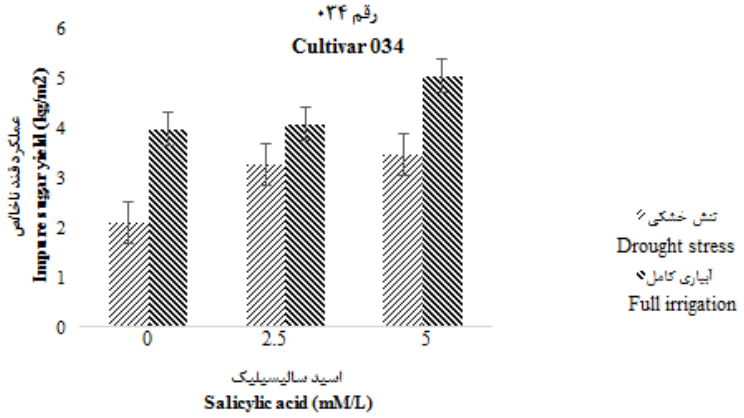
شکل ۲- روابط بین نیتروژن، سدیم و پتاسیم مضر و مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک در رقم ۰۳۴ چغندرقند در شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل).

Figure 2- Relationships between harmful nitrogen, sodium and potassium and different amounts of salicylic acid in sugar beet cultivar of 034 under drought stress conditions (50% of full irrigation)



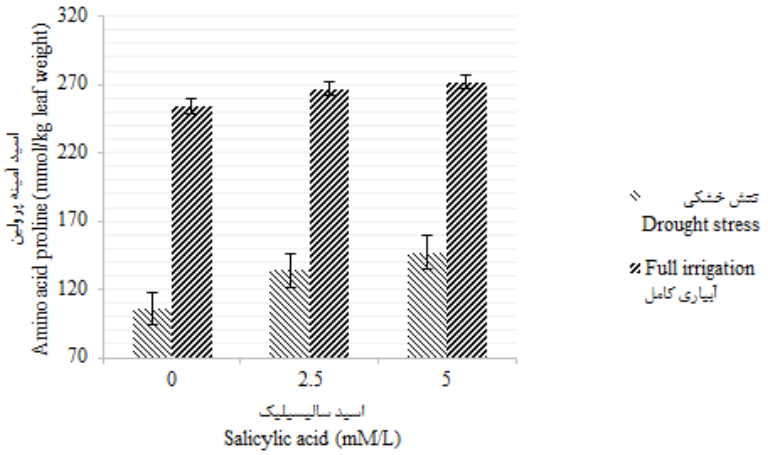
شکل ۳- روابط بین عملکرد قند ناخالص (کیلوگرم در متر مربع) و مقادیر اسید سالیسیلیک در دو شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) و آبیاری کامل برای رقم ۰۳۱

Figure 3- Relationships between gross sugar yield (kg/m2) and salicylic acid values in two conditions of drought stress (50% full irrigation) and full irrigation for cultivar of 031



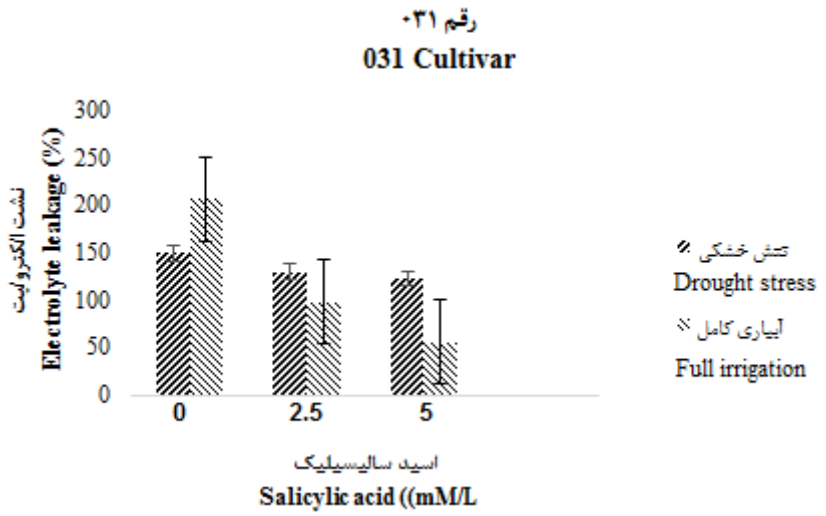
شکل ۴- روابط بین عملکرد قند ناخالص (کیلوگرم در متر مربع) و مقادیر اسید سالیسیلیک در دو شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) و آبیاری کامل برای رقم ۰۳۴

Figure 4- Relationships between gross sugar yield (kg/m2) and salicylic acid values in two conditions of drought stress (50% full irrigation) and full irrigation for cultivar of 034



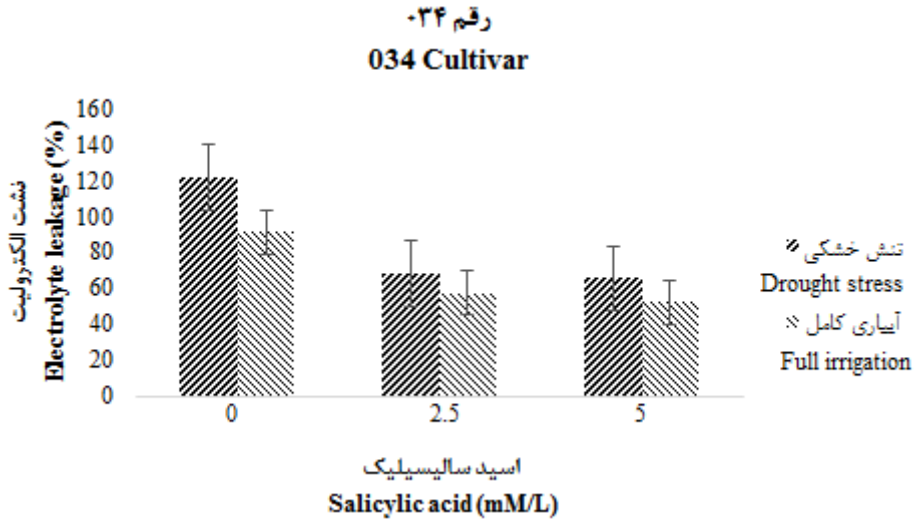
شکل ۵- روابط بین پرولین (میلی مول بر کیلوگرم وزن برگ) و مقادیر اسید سالیسیلیک در دو شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) و آبیاری کامل برای رقم ۰۳۴

Figure 5- Relationships between proline amino acid (mmol/kg leaf weight) and salicylic acid values in two conditions of drought stress (50% full irrigation) and full irrigation for variety 034



شکل ۶- روابط بین نشت الکترولیت (درصد) و مقادیر اسید سالیسیلیک در دو شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) و آبیاری کامل برای رقم ۰۳۱

Figure 6- Relationships between electrolyte leakage (percentage) and salicylic acid values in two conditions of drought stress (50% full irrigation) and full irrigation for cultivar of 031



شکل ۷- روابط بین نشت الکترولیت (درصد) و مقادیر اسید سالیسیلیک در دو شرایط تنش خشکی (۵۰ درصد آبیاری کامل) و آبیاری کامل برای رقم ۰۳۴

Figure 7- Relationships between electrolyte leakage (percentage) and salicylic acid values in two conditions of drought stress (50% full irrigation) and full irrigation for cultivar of 034

تنش خشکی باعث کاهش عملکرد شد و این کاهش عملکرد هم به لحاظ کیفی و هم به لحاظ کمی بود. تنش خشکی از طریق افزایش نشت الکترولیت از غشاءهای سلولی، کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نیتروژن مضر باعث کاهش عملکرد قند و عملکرد ریشه در چغندرقند شد. با این وجود مصرف مقادیر اسید سالیسیلیک توانست بخشی از این کاهش عملکرد را از طریق افزایش پرولین (در رقم ۰۳۴) و منفی شدن پتانسیل اسمز، افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نیتروژن مضر جبران نماید و باعث افزایش عملکرد قند و عملکرد ریشه در چغندرقند شد.

در مطالعه‌ای محلول‌پاشی با سیلیکون و پرولین روی چغندرقند توانست کاهش عملکرد در نتیجه تنش خشکی ۵۰٪ را از طریق افزایش کلروفیل a و b، افزایش محتوای نسبی آب برگ، کاهش نشت الکترولیت و افزایش پرولین برگ جبران نماید و عملکردی مشابه شرایط بدون تنش تولید کرد. در این مطالعه مقدار پرولین برگ‌ها در شرایط محلول‌پاشی با سیلیکون

و پرولین بسیار کمتر از شرایط تنش خشکی بود و با شرایط بدون تنش خشکی اختلاف معنی‌داری نداشت که می‌توان نتیجه گرفت با محلول‌پاشی این دو ماده ضد تنش گیاه توانسته به راحتی شرایط خشکی را تحمل کند (Muneera *et al.*, 2021).

مواد ضد تنش، با منفی کردن فشار اسمزی گیاه، منجر به جذب آب در شرایط تنش خشکی شد و با در دسترس بودن آب، گیاه می‌تواند سطح برگ خود را به حد مطلوب برساند و مانع کاهش آن گردد این امر منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی بیشتر شده و رشد را در سطح مطلوبی نگه خواهد داشت که باعث می‌گردد گیاه شرایط تنش را پشت سر گذاشته و در ادامه فصل رشد میزان فتوسنتز بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشته باشد که باعث افزایش عملکرد در تمام تیمارها محلول‌پاشی نسبت به تیمار شاهد شده است (Zbiec *et al.*, 2003).

در این مطالعه هم اسید سالیسیلیک توانست با افزایش پرولین و منفی کردن فشار اسمزی چغندرقند با افزایش محتوای نسبی آب برگ باعث افزایش جذب آب شود و نهایتاً از طریق افزایش عملکرد قند ناخالص باعث افزایش عملکرد ریشه و قند در واحد سطح شود. در مجموع مصرف مقادیر ۲/۵ و پنج میلی‌مول بر لیتر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی باعث کاهش مقادیر نیتروژن، سدیم و پتاسیم مضر داشت و هم‌چنین اسید سالیسیلیک باعث شد با افزایش محتوای نسبی آب برگ، کاهش نشت الکترولیت در غشاء و افزایش پرولین برگ عیار قند و نهایتاً عملکرد قند و عملکرد ریشه در واحد سطح افزایش یابد.

با مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط دیم، عملکرد رقم‌های گندم نسبت به شاهد ۱۰ درصد افزایش یافت (Sajedi and Gholinezhad, 2012). تنش خشکی از طریق تأثیر بر بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تورژسانس، کاهش سطح فتوسنتز کننده و کاهش میزان فتوسنتز باعث کاهش عملکرد در گیاه شد (Simanne *et al.*, 1993). در شرایط خشکی و در مجموع مقادیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (میلی‌مول بر لیتر) به لحاظ عملکرد رقم ۰۳۱ بهتر از ۰۳۴ بود در صورتی‌که در شرایط آبیاری کامل رقم ۰۳۴ بیشترین عملکرد را تولید کردند. مصرف اسید سالیسیلیک عملکرد ریشه و عیار قند را افزایش و نیتروژن، سدیم و پتاسیم مضر را کاهش داد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر عملکرد ریشه در شرایط آبیاری کامل با مصرف ۲/۵ و پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در رقم ۰۳۴ از ۲۰/۷ (در شرایط عدم مصرف اسید سالیسیلیک) به ۲۲/۵ و ۲۷/۶ کیلوگرم بر متر مربع رسید. رقم ۰۳۱ در شرایط تنش خشکی و مصرف مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک بیشترین عملکرد ریشه را تولید کرد در صورتی‌که رقم ۰۳۴ در شرایط آبیاری کامل و مصرف مقادیر مختلف اسید سالیسیلیک بیشترین عملکرد ریشه را تولید کرد. مصرف ۲/۵ و پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص را افزایش و نیتروژن، سدیم (در رقم ۰۳۱) و پتاسیم مضر (در شرایط تنش) را کاهش داد. اسید سالیسیلیک به عنوان یک ماده ضد تنش با تأثیر مثبت بر افزایش محتوای نسبی آب برگ و پرولین و هم‌چنین کاهش درصد نشت الکترولیت برگ (در شرایط آبیاری کامل)، میزان عملکرد ریشه و عملکرد قند ناخالص (عیار) را در هر دو شرایط تنش خشکی و آبیاری کامل افزایش داد.

در پایان توصیه می‌شود از رقم ۰۳۱ در شرایط تنش خشکی و از رقم ۰۳۴ در شرایط آبیاری کامل به همراه محلول‌پاشی پنج میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مرحله ۱۴ تا ۱۶ برگی استفاده شود.

سپاسگزاری

از مجموعه آزمایشگاه‌های دانشگاه پیام نور سبزوار کمال تشکر را دارم.

References

Arfan, M., Athar, H.R. and Ashraf, M., 2007. Does exogenous application of Salicylic Acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal of Plant Physiology, 164*, PP.685-694. **doi: 10.1016/j.jplph.2006.05.010**

Abhari, A. and Gholinezhad, A., 2019. Effect of salicylic acid foliar application on barley water use efficiency in cut-off condition. *Iranian Agricultural Research Journal, 17*(1), PP.157-167 [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v17i1.73912**

Alayi Moghadam, SH., Esmaili, M.A., Rajabi, A. and Najafi, H., 2018. Effects of water deficit stress on physiological and biochemical traits of sugar beet genotypes (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Sugar Beet*, *34*(2), PP.131-146 [In Persian]. **doi:10.22092/jsb.2019.109072.1139**

Borsanio, V. and Botella, M.A., 2001. Evidence for a role of Salicylic Acid in the oxidative damage generated by Nacl and osmotic stress in Arabidodsis stress in (Arabidopsis) seedlings. *Plant Physiology, 126*, PP.1024-1030. **doi: 10.1104/pp.126.3.1024**

Bayat, A. 1995. Effects of different irrigation regimes on quantitative and qualitative properties of sugar beet. The Research Report of Khorasan Sugar Beet Seed Improvement Department. PP.97-92.

Draycott, A.P. and Christenson, D.R., 2003. Nutrients for sugar beet production Soil- Plant relationships. CABI, PP.7-32.

Draycott, A.P. 2008. Sugar beet. John Wiley and Sons. 235 PP.

Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, Gh., Ghodsi, M. and Kafi, M., 2010. Effect of water stress and spraying of potassium iodide on agronomic traits and grain yield of bread wheat (*Tiriticum aistivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*(2), PP.177-182 [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v8i2.7515**

Ghanbari Birgani, D. and Sharifi, H., 2000. Investigating betanal progress AM for the control of broad leaf weeds in sugar beet. Final Research Report. Saffiabad Agricultural Research Station, Khuzestan, Iran [In Persian].

Gill, P.K., Sharma, A.D., Singh, P. and Bnullar, S.S., 2003. Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. moench seeds under various a biotic stresses. *Plant Growth Regulation*, *40*, PP.154-162. **doi: 10.1023/a:1024252222376**

Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P. and Schofield, J., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Sciences*, *37*, PP.295-309. **doi:10.1006/jcrs.2002.0501**

Ghoulam, C.F., Ahmed, F. and Khalid, F., 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental & Experiment Botany*, *47*, PP.139-150. **doi:10.1016/S0098-8472(01)00109-5**

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous Salicylic Acid under changing environment: A review. *Environmental & Experimental Botany*, *68*, PP.14-25. **doi:10.1016/j.envexpbot.2009.08.005**

Hayat, S. and Ahmad, A., 2005. Salicylic acid: A plant hormone. Springer. 97-99.

Khajepour, M.R., 2013. Industrial plants. Publications of Isfahan Industrial Unit, page 328.

Kheirkhah, M., Farazi, M., Dadkhah, A. and Khoshnood, A., 2016. Application of glycine, tufool and salicylic acid in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drought conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(1), PP.167-182 [In Persian].

Kiani, A.R., 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in some soybean cultivars. *Journal of Agriculture Engineering Research*, *11*(1), PP.85-102.

Muneera, D.F.A., Yaser, M.H., Kotb, A., Emadeldeen, R., Latifa, A., Hussah, I.M.A. and Khaled, A.A.A., 2021. Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. *Antioxidants*, *10*(398), PP.1-19. **doi: 10.3390/antiox10030398**

Naghizadeh, M. and Gholami Tooran Poshti, M. 2014. Evaluation the effect of seed priming by salicylic acid on yield and yield components of wheat under drought stress conditions. *Journal of Agroecology*, *6*(1), PP.162-170 [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v6i1.35683**

Pak Mehr, A., Shakeri, F. and Rastgo, M., 2015. The effect of seed priming with Salicylic Acid on some photosynthetic traits of cowpea under water deficit in flowering stage. *Journal of Iranian Pulses Research*, *5*(2), PP.19-30 [In Persian]. **doi:10.22067/ijpr.v1393i2.46920**

Ranjbar, M., Larry Yazdi, H. and Bromandjazi, Sh., 2010. The effect of Salicylic Acid on antioxidant enzymes, photosynthetic pigments of sugar content in rape (*Brasica napus*) under Pb stress. *Journal of Plant Biology*, *3*(9), PP.39-52 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.20088264.1390.3.9.5.5**

Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology*, 43, PP.463-439. **doi:10.1146/annurev.pp.43.060192.002255**

Shabiri, S., Ghasemi Golazani, K., Golchin, A. and Saba, J., 2006. Effect of irrigation water on phenology and yield of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agricultural Knowledge*, *16*(2), PP.137-147 [In Persian]. **doi:10.22034/saps.2021.12816**

Saeed Abadi, H., Afshar Menesh, G., Shirzadi, M.H. and Sadegh Zadeh, S., 2021. The effect of drought stress and transplanting method on agronomic characteristics, quantitative and qualitative yield as well as water use efficiency of different sugar beet cultivars in autumn planting .*Sugar Beet Journal*, *37*(1), PP.27-48 [In Persian]. **doi: 10.22092/jsb.2022.352225.1252**

Sajedi, N.A. and Gholinezhad, A. 2012. Response of yield and yield component of dry land wheat cultivars to salicylic acid and selenium. *Iranian Journal of Field Crops Research, 10*(3), PP.614-621 [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v10i3.17825**

Simanne, B.P.C., Peacock, J.M. and Struk, P.C., 1993. Differences in development plasticity and growth rate among drought resistance and susceptible cultivar of durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. durum). *Plant & Soil*, *157*, PP.155-166.

Smart, R.E. and Bingham, G.E., 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiol*ogy, *53*, PP.258-260.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparikova, O., 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil Environment*, *52*(4), PP.186-191. **doi:10.17221/3364-pse**

Vahabi, N., Emam, Y. and Pirasteh-Anosheh, H., 2017. Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid under water stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(1), PP.124-135 [In Persian]. **doi:10.22067/gsc.v15i1.47584**

Yadollahi, N., Mahmoud, F., Tadayon, R. and Karimi, M., 2021. The effect of potassium (K) and boron (B) foliar application on morphophysiological responses and root yields of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) under drought stress conditions. *Plant Process & Function*, *42*(10), PP.91-114 [In Persian]. **doi: 10.47176/jcpp.11.1.209113**

Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-Hai, L., Zhi-Bin, C., Che, W., Yun-Cong, Y., Zhen-Hai, H., Jie, Z. and Zhen-Sheng, S., 2010. Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought-stress. *African Journal of Agriculture Research*, 5, PP.1978-1983. **doi: 10.5897/ajar.9000585**

Zargerian, M., Tehranifar, A., Nemati, H. and Siavashpour, B., 2016. The effect of Salicylic Acid on some morphophysiologic characteristics of sunflower seedlings in drought stress conditions. *Journal of Horticulture*, *30*(1), PP.162-151 [In Persian]. **doi:10.22067/jhorts4.v30i1.47987**

Zbiec, J., Karezmarczyk, S. and Podsiadle, C., 2003. Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplementaural irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, *6*(1), PP.1-71.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 429-446

Study of physiological tolerance of sugar beet to drought stress with salicylic acid consumption

Abbas Abhari[1*], Majid Seydabadi[2], Mansore Kermani[1]

[1] Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
[2] MSc Graduate, Department Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
[*]Corresponding Author: abbasabhari@yahoo.com

Received: 19 August 2022 Accepted: 4 December 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.356848.1268**

Abstract

Introduction: Environmental factors affect the accumulation of sugar. Light, sunny hours and soil moisture largely determines how sugar is grown and stored at the root of sugar results of the experiment on sugar beet showed that all treatments of anti-stress materials such as salicylic acid, thioufol and glycine at different concentrations increased the quality traits such as root yield, sugar level and white sugar yield. Reducing membrane damage due to the use of salicylic acid is associated with the production of antioxidants, and thus salicylic acid increases the membrane stability against oxidative stress. Salicylic acid is an internal regulator of plant growth that affects metabolic and physiological responses to plant growth and development.

Plants obtained from seeds pretreated with salicylic acid can improve the rate of photosynthesis in normal and stress conditions by increasing the relative water content, transpiration intensity, stomatal conductance and leaf chlorophyll index. In a study, it has been observed that salicylic acid treatment controls polysaccharide hydrolyzing enzymes and accelerates the formation of polysaccharides from soluble sugars. With this assumption, salicylic acid increases the amount of insoluble sugars compared to soluble sugars.

Materials and Methods: In order to adjust the negative effects of drought stress in sugar beet cultivars under the influence of salicylic acid foliar spraying in drought stress conditions, a factorial split plot was used in a randomized complete block design with three replications in Jouin was conducted in 2019. The studied factors included irrigation at two levels of full irrigation and drought stress (50% of full irrigation), salicylic acid spraying at three levels of 0, 2.5 and 5 mM on the Shokofa (034) and Aria (031).

Results and Discussion: Stress reduced the yield, but the use of salicylic acid increased the yield . Application of 5 mM produced the highest amount of root yield with 16.55. In the condition of full irrigation, the yield increased by increasing the amount of salicylic acid. In the stress conditions, the percentage of impure sugar increased, but in the condition of full irrigation, the percentage of impure sugar decreased, but with the use of five to 2.5 mM salicylic acid, it increased.

In condition of drought stress and consumption, 2.5 mM of salicylic acid, 034, have the highest percent sugar content with 20.5%. The amount of proline of 034 cultivar was the highest in drought stress and consumption of 5 mM of salicylic acid. Consumption of salicylic acid increased root yield and sugar content yields and reduced harmful nitrogen and sodium.

Drought stress caused a decrease in yield, and this decrease in yield was both qualitative and quantitative. Drought stress decreased sugar yield and root yield in sugar beet by increasing electrolyte leakage from cell membranes, decreasing relative leaf water content, and increasing harmful nitrogen.

Conclusion: The amount of impure sugar (kg/m^2) increased with the use of salicylic acid in both drought stress and complete irrigation. Impure sugar, which is the result of multiplying the sugar beet root yield by the percentage of impure sugar and has been affected by salicylic acid, shows that the quantity and quality of both have increased with the use of this hormone-like substance .In this study, salicylic acid was able to increase the absorption of water by increasing the proline and making the osmotic pressure of sugar beet negative by increasing the relative water content of the leaves, and

finally, by increasing the impute sugar yield, it increased the root yield and sugar per unit area. The consumption of salicylic acid increased the root yield and sugar level and decreased harmful nitrogen, sodium and potassium.

Keywords: Electrolyte leakage, Nitrogen content, Root yield, Sugar content

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۶۴-۴۴۷

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کینوا تحت مدیریت‌های مختلف زراعی با استفاده از مدل AquaCrop

مهرنوش گلابی[۱]، شهرام لک[۱*]، عبدالعلی گیلانی[۲]، مجتبی علوی فاضل[۳]، اصلان اگدرنژاد[۴]

۱- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۳- گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

* مسئول مکاتبه: sh.lack@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.378375.1305**

چکیده

در این پژوهش با توجه به‌هزینه‌بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای، از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی اثر عواملی نظیر روش کاشت، زمان کاشت و رقم مورد استفاده بر عملکرد و زیست‌توده کینوا استفاده شد. به‌منظور ارزیابی این مدل گیاهی، طرح تحقیقاتی در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸، در اهواز اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰ مهر، T2: ۱۰ آبان، T3: ۲۰ آبان و T4: ۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا) بود. خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کینوا در تاریخ‌های T1، T2، T3 و T4 به‌ترتیب ۲۲۱/۹، ۱۶۱/۸، ۱۰۳/۸ و ۱۰۱/۸ کیلوگرم بر هکتار بود. خطای شبیه‌سازی این مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده در تاریخ‌های اشاره شده به‌ترتیب ۶۸۹/۱، ۶۶۲/۹، ۶۳۳/۴ و ۶۳۳/۸ کیلوگرم بر هکتار بود. خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده در کشت مستقیم به‌ترتیب ۷۸/۵ و ۳۵/۰ درصد بود. کمترین خطای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده در رقم تیتیکاکا مشاهده‌شد. خطای شبیه‌سازی عملکرد رقم کیو۲۶ و زیست‌توده گیزا بیشتر از سایر ارقام بود. با این وجود اختلاف خطا در شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده رقم‌های مختلف حداکثر ۱۷/۵ و ۵/۳ درصد به‌دست آمد که قابل چشم‌پوشی است. در حالت کلی، کارایی مدل AquaCrop مطلوب (EF>0.90 و d>0.90) و دقت آن عالی (NRMSE<0.1) تعیین شد. براساس نتایج، کاربرد این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی کینوا پیشنهاد می‌شود گرچه خطای آن برای کشت مستقیم در اواسط و انتهای آبان کمتر از سایر شرایط است.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، کاشت نشایی، مدل آب-محور، مدل‌سازی گیاهی

مقدمه

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* wild، گیاهی دو لپه، از خانواده تاج خروسیان و با حدود ۹۵ درصد خودگشنی است. کینوا یک‌ساله، پهن‌برگ و دارای ارتفاع یک تا دو متر می‌باشد (Jacobsen *et al*., 2001; Kia *et al*., 2022). این گیاه زراعی بومی آمریکای جنوبی است که برای مصرف دانه عموماً کشت می‌شود ولی مصرف زیست‌توده آن نیز به عنوان سبزیجات برگی رواج دارد. دانه این گیاه کم‌حجم بوده و منبع غنی از بسیاری از ویتامین‌ها و پروتئین است (Aliyar *et al*., 2022). ارزش غذایی بالای این گیاه سبب شده است تا سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد آن را با شیر خشک برابر بداند (Jacobsen *et al*., 2005). به‌همین دلیل بسیاری از محققان این گیاه را جایگزین مناسبی برای برنج و برخی غلات با نیاز آبی بالا می‌دانند (Gonzalez *et al*., 2014) و در سال‌های اخیر کشت آن در ایران توصیه شده است (Salehi *et al*., 2016). در حال حاضر طرح‌های تحقیقاتی متعددی برای ارزیابی عوامل مؤثر بر عملکرد و زیست‌توده این گیاه زراعی تعریف شده است. ولی انجام کلیه این طرح‌ها مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است (Ebrahimipak *et al*., 2018; Ebrahimipak *et al*., 2019). به‌همین دلیل ابزارهای جایگزین برای بررسی اثر عوامل مختلف بر رشد گیاهان زراعی از جمله کینوا می‌تولند این مشکل را حل کند. مدل‌سازی گیاهی با استفاده از نرم‌افزارهای ارائه شده توسط موسسات معتبر جهانی از جمله ابزارهای مناسب در این خصوص می‌باشد

(Egdernezhad *et al*., 2019; Ahmadee *et al*., 2021).

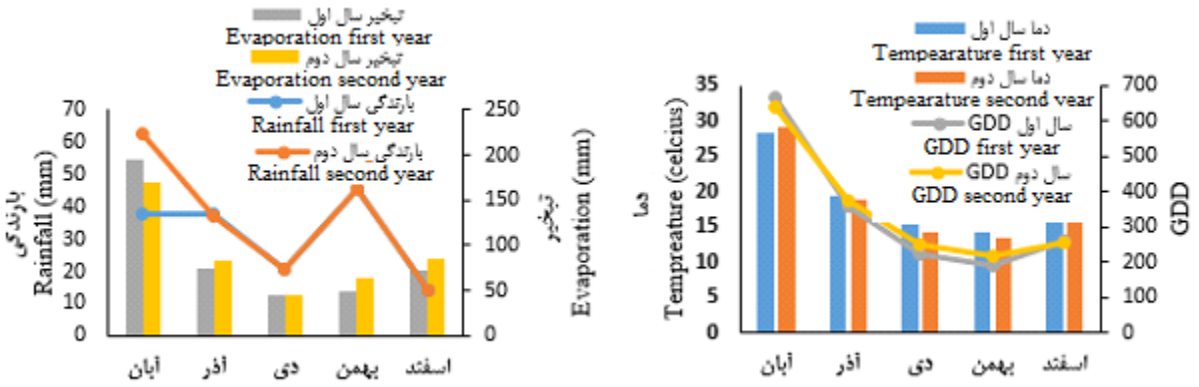
مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی پرکاربرد، کاربرپسند و رایگان است که توسط سازمان خواروبار کشاورزی برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی بسط داده شده است (Geerts *et al*., 2009). نظر به اینکه این مدل توانایی شبیه‌سازی عوامل مؤثر بر عملکرد و زیست‌توده گیاهان را دارد، این مدل تاکنون در تحقیقات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی ذرت (Heng *et al*., 2009; Hsiao *et al*., 2009; Katerji *et al*., 2013)، پنبه (Farahani *et al*., 2009)، آفتابگردان (Todorovic *et al*., 2009)، چغندرقند (Alishiri *et al*., 2014)، زعفران (Ebrahimipak *et al*., 208)، کلزا (Egdernezhad *et al*., 2019)، گلرنگ (Behmanesh *et al*., 2021) و گندم (Ahmadee *et al*., 2021) اشاره کرد. علی‌رغم اینکه گیاه کینوا از جمله اولین گیاهانی بود که توسط مدل AquaCrop مدل‌سازی شد (Geerts *et al*., 2009; Geerts *et al*., 2010)، ولی شبیه‌سازی رشد آن در شرایط مختلف با استفاده از مدل AquaCrop، نسبت به سایر گیاهان زراعی، کمتر مورد توجه محققان بوده است. در پژوهشی آماره‌های RMSE و R^2 برای کاربرد مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کینوا تحت تنش کودی در کشور بولیوی به‌ترتیب ۹/۶ درصد و ۰/۹۸ به‌دست آمد. این نتایج بیانگر خطای پایین و تطابق بالای نتایج شبیه‌سازی شده با شرایط مزرعه بود. به‌همین دلیل کاربرد مدل AquaCrop در شرایط کمبود مواد مغذی خاک توصیه شد (Van Gaelen *et al*., 2015). در تحقیقی به‌مقایسه شبیه‌سازی عملکرد کینوا در کشور ایتالیا با دو روش یادگیری ماشین و مدل AquaCrop پرداخته شد. نتایج نشان داد که فرایند پیچیده یادگیری ماشین مشابه مدل کاربرپسند AquaCrop بود. نتایج آماره MAE برابر با ۰/۹۶۲ بود که قابل قبول بود (Chumbe *et al*., 2022). در پژوهشی در کرج عملکرد کینوا در مدیریت‌های مختلف آبیاری توسط مدل AquaCrop مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. نتایج آماره‌ی RMSE در مرحله واسنجی برای عملکرد و زیست‌توده به‌ترتیب ۹ و ۸ درصد و کارایی مدل برای این صفات به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۷ بود. در مرحله‌ی صحت‌سنجی مقادیر آماره‌ی RMSE برای صفات مورد مطالعه به‌ترتیب ۹ و ۶ درصد و کارایی مدل برای آن‌ها به‌ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۷۱ به‌دست آمد. از این‌رو، کاربرد این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد کینوا در شرایط تنش آبی توصیه شد (Emdad *et al*., 2022).

استان خوزستان یکی از مناطقی است که کشت کینوا در آن در حال گسترش است. در این استان ارقام مختلف برای کاشت پیشنهاد شده است. با توجه به اقلیم متفاوت در جنوب، مرکز و شمال آن، تاریخ‌های مختلفی برای کاشت آن پیشنهاد گردیده است. هم‌چنین دو روش نشایی و مستقیم به‌صورت آزمایشی در این استان اجرا شده است (Golabi *et al*., 2022). تحقیقات انجام شده نشان داده است که عواملی مانند تاریخ کاشت، رقم و روش کاشت روی عملکرد و زیست‌توده کینوا مؤثر است. با این وجود تاکنون تحقیقی در خصوص ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی کینوا تحت شرایط مورد استفاده انجام نشده است. به‌همین دلیل در پژوهش حاضر این مدل گیاهی تحت شرایط مورد اشاره ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

نحوه انجام آزمایش

پژوهش حاضر در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا در شهر اهواز در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. متوسط ده ساله بارندگی منتهی به زمان آزمایش ۲۴۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. مشخصات هواشناسی در آزمایش در شکل ۱ مشاهده می‌شود. آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در ۴ تکرار مطابق نقشه آزمایش ارائه شده در شکل ۲ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰ مهر، T2: ۱۰ آبان، T3: ۲۰ آبان و T4: ۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا) بود. عملیات خاک‌ورزی در اواخر شهریور برای همه تیمارها انجام شد. برای نمونه‌برداری به منظور آزمایش خاک، نمونه‌برداری از چند نقطه تصادفی مزرعه با استفاده از آگر از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰



شکل ۱- مقادیر متغیرهای هواشناسی اهواز

Figure 1-The values of Ahvaz meteorological variables

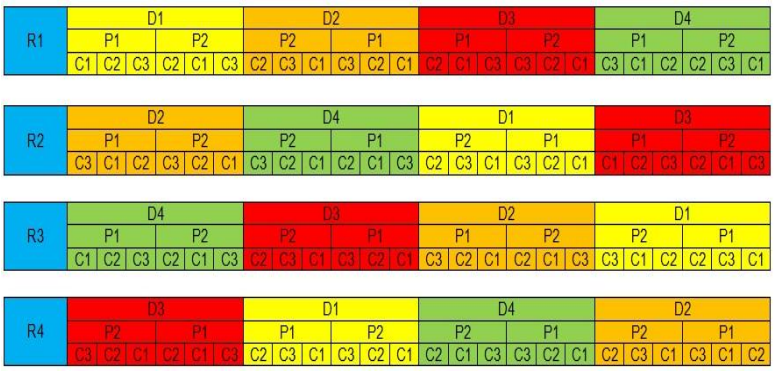
جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1- Physicochemical characteristics of the soil

سال Year	عمق Depth (Cm)	شوری Salinity ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی C (%)	نیتروژن N ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil texture
2018	0-30	5.4	9.7	0.58	0.058	10.5	245	22	30	48	Loamy
2019	30-60	4.4	8	0.53	0.053	11.2	265	24	30	46	Loamy

سانتی‌متر انجام شد و از ترکیب نمونه‌ها، نمونه مرکب تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۱).

کود پایه براساس آزمون خاک و نیاز غذایی گیاه، به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۱۰۰ کیلوگرم پتاس و فسفات از منابع سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل در نیمه دوم مهر ماه به خاک اضافه شد. نحوه کاشت به‌صورت جوی و پشته و با فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله نشاها روی ردیف و فاصله بذرها در کاشت مستقیم روی ردیف پنج سانتی‌متر و عمق کاشت دو سانتی‌متر در نظر گرفته‌شد. هر کرت دارای پنج خط کاشت به طول چهار متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر، فاصله بین کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته‌شد. در روش نشاکاری، یک ماه قبل از هر تاریخ کاشت، عملیات تهیه نشا در سینی مخصوص حاوی خاک‌برگ انجام گردید و نشاها همزمان با کشت بذری به مزرعه انتقال یافتند. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی (عملیات وجین) و مبارزه با آفات و بیماری‌ها به‌صورت شیمیایی و با استفاده از حشره‌کش پروتئوس با غلظت ۲ در هزار انجام شد. در انتهای فصل رشد، برای تعیین عملکرد و زیست‌توده، از هر کرت ۰/۵ متر برای حذف اثر حاشیه‌ای جدا گردیده و عملیات برداشت در سطح یک متر مربع صورت گرفت. با توجه به نوع رقم و تاریخ کاشت، عملیات برداشت برای هر تیمار متفاوت و در بازه‌ی ۱۰ اسفند تا ۱۰ فروردین متغیر بود.



شکل ۲- نقشه آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار

Figure 2- Experimental design of twice-sliced plots in the form of a basic design of randomized complete blocks in 4 replications

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه شده (رابطه ۱) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند. تفکیک این مولفه به دو جزء تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می‌شود تا مصرف غیر تولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۲) (Geerts *et al*., 2009).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۱)$$

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (۲)$$

در این روابط، Y_x و Y_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_x و ET_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، که در آن، K_s و K_c به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Geerts *et al*., 2009).

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t}$$

در این رابطه، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. با تعیین تعرق و تبخیر-تعرق، بیوماس خشک نیز طبق رابطه ۴ برآورد می‌گردد (Geerts *et al*., 2009):

$$B = WP^*\left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}}\right] \quad (۴)$$

در این رابطه، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP ضریب بهره‌وری آب، ET_O تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد (Y) نیز با استفاده از ماده‌ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Geerts *et al*., 2009):

$$Y = B \times HI \quad (۵)$$

در این رابطه، Y عملکرد، HI شاخص برداشت و B بیوماس خشک است. در این مدل، شدت تنش آبی (K_s) مؤثر بر توسعه پوشش تاج (CC)، هدایت روزنه‌ای (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاج و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. در واقع در صورت تنش آبی میزان تاج پوشش گیاهی کاهش یافته و به پیروی از آن میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد.

تحلیل حساسیت

پیش از انجام واسنجی و مدل‌سازی با مدل AquaCrop ابتدا متغیرهای ورودی این مدل‌ها با استفاده از رابطه ۶ مورد تحلیل حساسیت قرار گرفتند (Geerts and Raes, 2009).

$$S_c = \left|\frac{P_m - P_b}{P_b}\right| \times 100 \quad (۶)$$

در این رابطه، S_c ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده عامل مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد عامل مورد نظر براساس داده ورودی پایه می باشد. به منظور تحلیل حساسیت، مقدار هر عامل ورودی ۲۵ درصد افزایش و کاهش می‌یافت. سپس مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $S_c>۱۵$ حساسیت بالا، $۲<S_c<۱۵$ حساسیت متوسط، $S_c<۲$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009).

واسنجی مدل

با توجه به اینکه داده‌های این پژوهش در دو سال زراعی برداشت شدند، برای واسنجی مدل AquaCrop از داده‌های سال اول استفاده شد. جهت ارزیابی مدل AquaCrop در هر دو مرحله واسنجی از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق ویلموت (d) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (Ahmadee *et al*., 2015). این آماره‌ها به ترتیب در روابط ۷ تا ۱۲ نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \quad (۸)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (۹)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۰)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \quad (۱۱)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum(P_i - \overline{P})^2 \sum(O_i - \overline{O})^2} \quad (۱۲)$$

در معادله‌های فوق P_i مقدار شبیه‌سازی شده نفوذ، O_i مقدار اندازه‌گیری شده نفوذ، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده نفوذ، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ و n برابر تعداد تیمارها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل AquaCrop مقدار متغیر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که این مدل‌ها در برآورد متغیر مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقدار آماره NRMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۲/۳-۰/۰ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار EF نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

صحت‌سنجی مدل

پس از واسنجی مدل AquaCrop، از داده‌های سال دوم برای صحت‌سنجی استفاده شد. در این مرحله، متغیرهای ورودی مدل از مرحله‌ی واسنجی برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. در این مرحله نیز از آماره‌های ۷ تا ۱۲ برای ارزیابی مدل استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت و داده‌های ورودی

پیش از واسنجی، تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی مدل AquaCrop انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات متغیرهای دمای پایه، دمای بالا و پوشش گیاهی اولیه در دسته کم قرار داشت. این نتایج با مشاهدات سایر محققان مطابقت داشت (Egdernezhad *et al*., 2019; Ahmadee *et al*., 2021). به‌دلیل حساسیت کم این متغیرها، مقادیر دمای پایه و بالا به‌صورت پیش‌فرض باقی‌ماند. پوشش گیاهی اولیه به تراکم گیاهی نیز وابسته بود، بر این اساس مقدار آن نسبت به حالت پیش‌فرض تغییر یافت. حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات دو متغیر بهره‌وری آب نرمال شده و حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق در دسته زیاد قرار داشت. این نتایج با مشاهدات سایر محققان مطابقت داشت (Ebrahimipak *et al*., 2019). حساسیت سایر متغیرها در دسته متوسط قرار داشت و به‌همین دلیل این متغیرها مورد واسنجی قرار گرفتند. نتایج مقادیر واسنجی شده در جدول ۲ آورده شده است.

واسنجی مدل

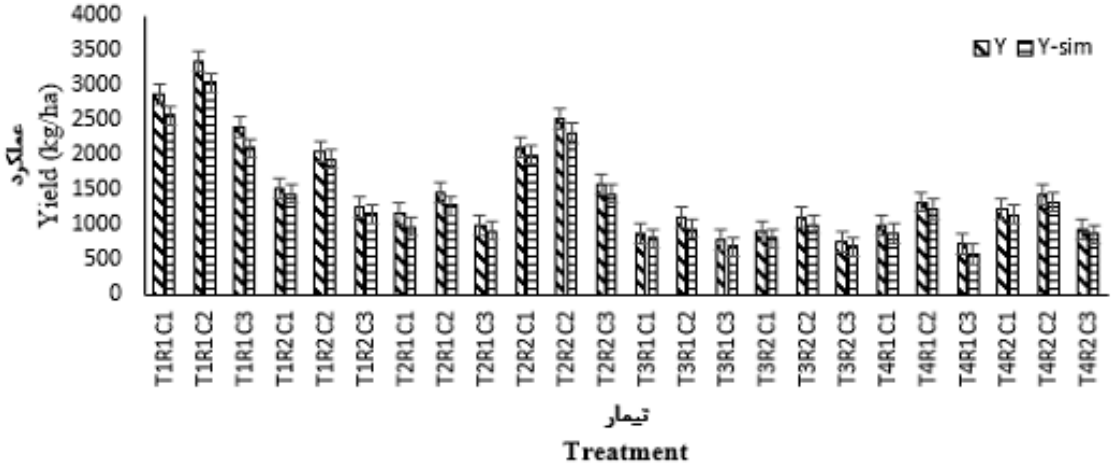
نتایج واسنجی مدل AquaCrop برای عملکرد کینوا در تاریخ‌های کاشت مختلف، ارقام متقاوت و دو روش کاشت مورد استفاده در شکل ۳ آورده‌شده است. مقایسه عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده نشان داد که به‌صورت متوسط ۹/۲۵ درصد اختلاف در شبیه‌سازی عملکرد وجود داشت. کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۶۳ و ۳۰۳ کیلوگرم بر هکتار بود. این مقایر به‌ترتیب ۴/۳ و ۲۰/۵ درصد نسبت به مقادیر مشاهده‌ای بود. در نُه تیمار، مقادیر شبیه‌سازی شده از متوسط عملکرد مشاهده‌ای بیشتر و در سایر تیمارها از مقدار متوسط کمتر بود. بنابراین، همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از مشاهده‌ای بود. مقایسه زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده نیز در شکل ۴ آورده شده است. متوسط، حداقل و حداکثر اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۶۴۳، ۴۱۶ و ۸۱۷ کیلوگرم بر هکتار بود. در ۱۲ تیمار، اختلاف موجود از متوسط زیست‌توده مشاهده‌ای بیشتر بود. ولی در اکثر تیمارها زیست‌توده شبیه‌سازی شده کمتر از مقدار مشاهده‌ای بود. به‌همین دلیل، مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده دچار خطای کم‌برآوردی شد. این نتایج براساس آماره‌ی MBE در جدول ۳ مشاهده می‌شود. این نتایج با مشاهدات سایر محققان روی گیاه کینوا مطابقت داشت (Chumbe *et al*., 2022). خطای مدل AquaCrop برای عملکرد و زیست‌توده براساس آماره‌ی RMSE به ترتیب ۱۵۵/۳ و ۶۵۵/۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به‌متوسط مقدار مشاهده شده برای این دو متغیر قابل‌قبول بود. دقت مدل AquaCrop برای هر دو متغیر مورد بررسی کمتر از ۱۰ درصد

بود (NRMSE≤0.1). بنابراین دقت این مدل گیاهی در دسته عالی قرار داشت. کارایی مدل AquaCrop نیز براساس دو آماره‌ی EF و d مطلوب بود. آماره‌ی R^2 برای عملکرد و زیست‌توده بالا بود (R^2>90) به‌همین دلیل مدل AquaCrop توانایی قابل‌قبولی برای شبیه‌سازی تغییرات این دو متغیر داشت (شکل ۵). این نتایج توسط سایر محققان روی گیاه کینوا نیز گزارش شده است (Van Gaelen *et al*., 2015; Emdad *et al*., 2022). براساس مجموع نتایج حاصل شده در مرحله واسنجی، می‌توان از مدل AquaCrop برای عملیات صحت‌سنجی استفاده نمود.

جدول ۲- تحلیل حساسیت و مقادیر متغیرهای ورودی به مدل AquaCrop

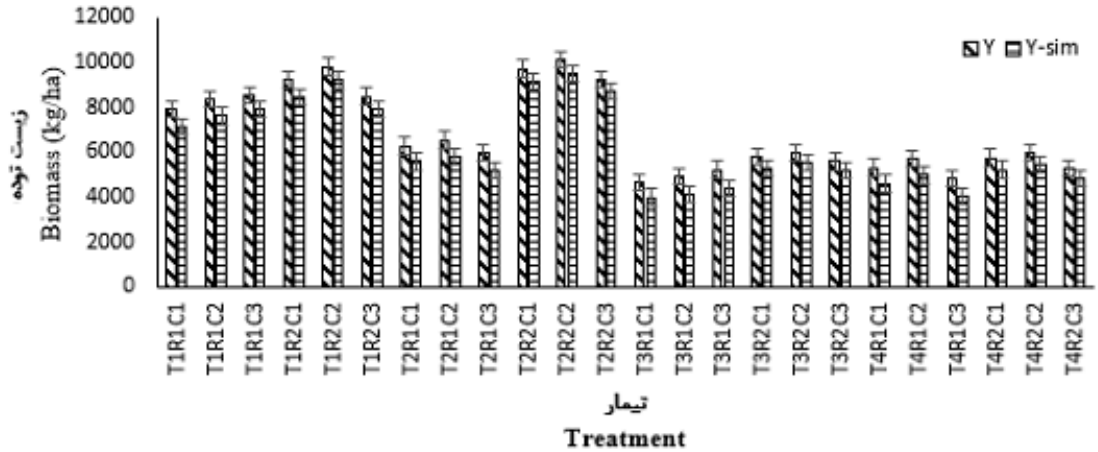
Table 2- AquaCrop sensitivity analysis and input parameters values

متغیر Parameter	Sc-0.25%	Sc+0.25%	مقدار Value	واحد Unit	توضیحات Description
دمای پایه Base temperature	1.2	1.5	2	ºC	Default
دمای بالا Upper temperature	1.7	1.1	30	ºC	Default
پوشش گیاهی اولیه Initial canopy cover	1.9	1.3	2.6	%	Calibrated
تراکم گیاهی Plant density	2.5	3.0	40	$Plant.ha^{-1}$	Default
ضریب رشد پوشش گیاهی Canopy growth coefficient (CGC)	7.1	5.9	9.9	%/day	Calibrated
ضریب زوال پوشش گیاهی Canopy decline coefficient (CDC)	2.3	2.8	9.0	%/day	Calibrated
زمان از کاشت تا سبز شدن Time from transplanting to emergence	3.0	2.2	8	Day	Calibrated
زمان از کاشت تا بیشینه پوشش Time from transplanting to maximum canopy	4.8	4.2	66	Day	Calibrated
زمان از کاشت تا پیری Time from transplanting to senescence	3.6	3.3	165	Day	Calibrated
زمان از کاشت تا بلوغ Time from transplanting to maturity	4.0	5.7	180	Day	Default
زمان از کاشت تا شروع تشکیل محصول Time from transplanting to start yield formation	3.6	2.8	90	Day	Default
بیشینه طول ریشه Maximum effective rooting depth	9.2	8.4	1	M	Default
حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق Crop coefficient for transpiration (KCTr)	15.2	17.0	1.15	-	Calibrated
بهره‌وری آب نرمال شده Normalized water productivity (WP*)	18.6	17.9	11	$g.m^{-2}$	Calibrated
شاخص برداشت Harvest index (HIo)	11.3	10.5	50	%	Default



شکل ۳- مقایسه عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی(تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2:۱۰ آبان، T3:۲۰ آبان و T4:۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 3- Comparison of observed and simulated yield in calibration stage in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca).



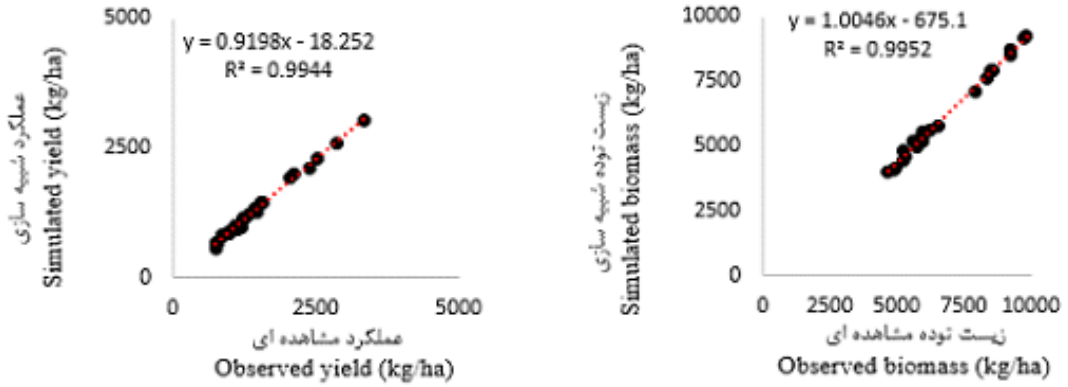
شکل ۴- مقایسه زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی (تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2:۱۰ آبان، T3:۲۰ آبان و T4:۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 4- Comparison of observed and simulated biomass in calibration stage in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))

جدول ۳- نتایج آماری متغیرهای عملکرد و زیست‌توده در مرحله واسنجی

Table 3- Statistical values for yield and biomass in calibration stage

متغیر Parameter	میانگین خطای اریب MBE	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده NRMSE	کارایی مدل EF	شاخص توافق ویلموت D
عملکرد Yield (kg.ha^{-1})	-136.9	155.3	0.10	0.99	0.99
زیست‌توده Biomass (kg.ha^{-1})	-643.3	655.2	0.09	0.99	0.99



شکل ۵- همبستگی عملکرد و زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی

Figure 5- Correlation of observed and simulated yield and biomass in calibration stage

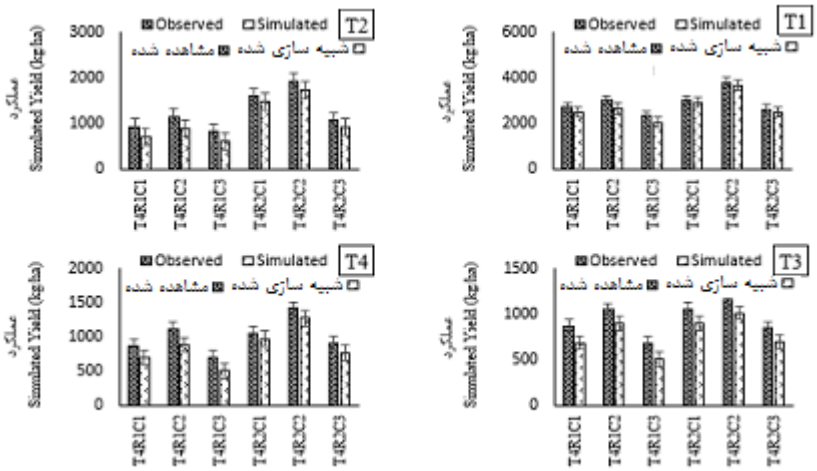
صحت‌سنجی مدل برای عملکرد کینوا

نتایج مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی به‌صورت تفکیک شده برای هر عامل مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج براساس تاریخ کاشت در شکل ۶ نشان داده‌شده است. متوسط اختلاف عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای T1، T2، T3 و T4 به‌ترتیب ۱۹۸، ۱۵۳، ۹۷ و ۹۷ کیلوگرم بر هکتار بود. حداقل اختلاف بین مقادیر عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۹۳، ۷۸، ۶۲ و ۶۶ و حداکثر این اختلاف به‌ترتیب ۳۰۳، ۲۱۰، ۱۷۲ و ۱۵۱ کیلوگرم بر هکتار بود. بنابراین، دقت مدل AquaCrop نسبت به تاریخ‌های کاشت در اواسط و انتهای آبان بیشتر بود. این نتایج براساس آماره‌ی RMSE در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است. براساس مقادیر این آماره، مقدار خطا به‌ترتیب ۲۲۱/۹، ۱۶۱/۸، ۱۰۳/۸ و ۱۰۱/۸ کیلوگرم بر هکتار بود که قابل‌قبول است. مقدار آماره‌ی RMSE برای کل تیمارهای مورد مطالعه ۱۵۵/۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد که از دو تیمار T3 و T4 بیشتر بود. مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کلیه تیمارها دچار خطای کم‌برآوردی شد که براساس آماره‌ی MBE نیز قابل مشاهده است. دقت این مدل گیاهی برای کلیه تیمارها در دسته عالی (NRMSE≤0.1) قرار داشت. کارایی مدل AquaCrop در شرایط در نظر گرفتن کلیه تیمارها و تفکیک آن‌ها براساس تاریخ کاشت مطلوب بود. همبستگی بین عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای کلیه تیمارها نشان داد که مدل AquaCrop توانایی خوبی برای پیروی از تغییرات داده‌ها داشت (شکل ۷). نتایج همبستگی در شرایط تفکیک داده‌ها براساس تاریخ کاشت، رقم و روش کاشت مشابه شکل ۷ و نزدیک به ۹۹ درصد بود. به‌همین دلیل به منظور پرهیز از تکرار نتایج مشابه، ارائه نشدند.

جدول ۴- نتایج آماری عملکرد (کیلوگرم در هکتار) در مرحله صحت‌سنجی

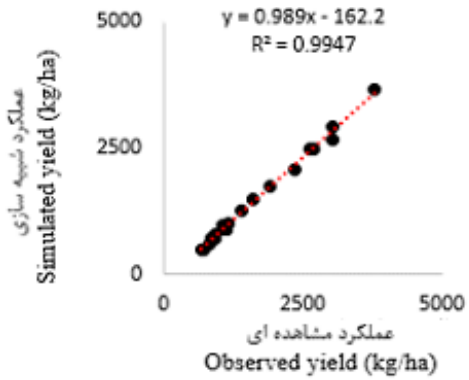
Table 4- Statistical values for Yield (kg.ha^{-1}) in validation stage

تیمار Treatment	میانگین خطای اریب MBE	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده NRMSE	کارایی مدل EF	شاخص توافق ویلموت D
All	-136.9	155.3	0.10	0.99	0.99
T1	-198.6	221.9	0.09	0.99	0.99
T2	-153.6	161.8	0.09	0.99	0.99
T3	-97.4	103.8	0.11	0.98	0.99
T4	-97.8	101.8	0.09	0.99	0.99
R1	-171.8	191.6	0.12	0.98	0.99
R2	-102.0	107.5	0.07	0.99	0.99
C1	-128.8	150.9	0.10	0.99	0.99
C2	-158.3	171.8	0.09	0.99	0.99
C3	-123.5	141.8	0.11	0.98	0.99



شکل ۶- مقایسه عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی برای تاریخ‌های کاشت مختلف در مرحله صحت‌سنجی (تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2: ۱۰آبان، T3: ۲۰آبان و T4: ۳۰آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

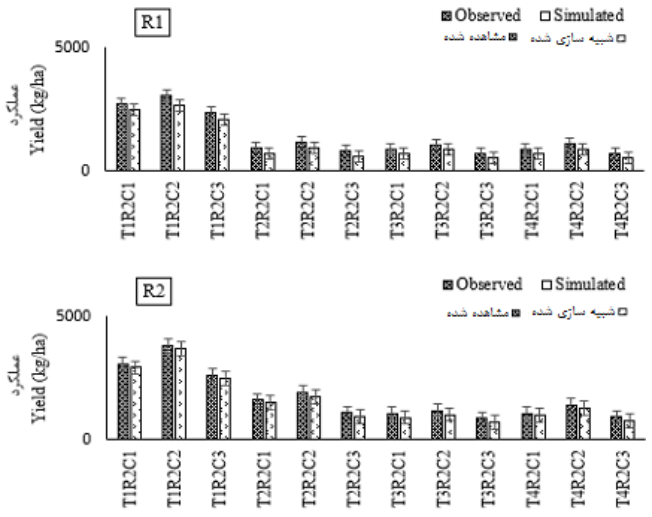
Figure 6- Comparison of observed and simulated yield for different cultivation date in validation stage (Cultivation date as the main factor in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))



شکل ۷- همبستگی عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی برای کلیه تیمارها

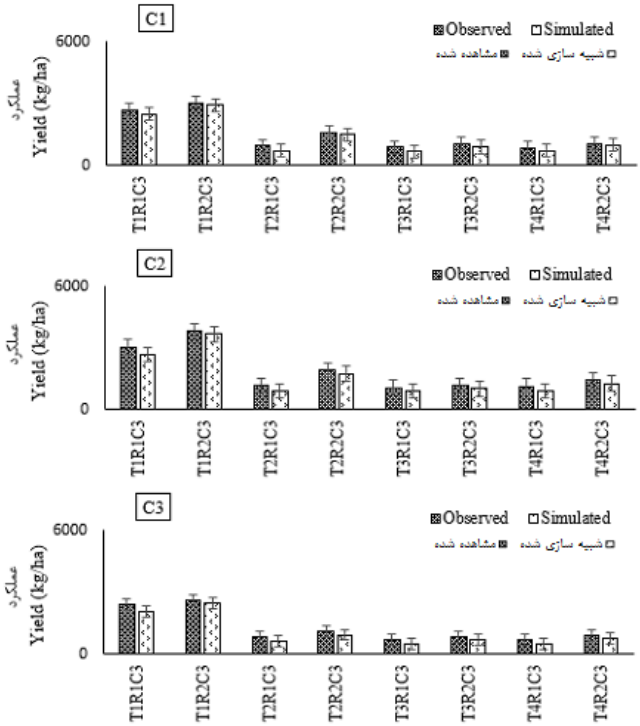
Figure 7- Correlation between observed and simulated yield in validation stage for all treatment

تفکیک نتایج براساس روش کاشت در شکل ۸ ارائه شده است. متوسط اختلاف عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دو روش نشایی (R1) و مستقیم (R2) به ترتیب ۱۷۱ و ۱۰۲ کیلوگرم بر هکتار بود. کمترین و بیشترین اختلاف عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در روش نشایی به ترتیب ۶۲ و ۳۰۳ کیلوگرم بر هکتار و در روش مستقیم ۶۶ و ۱۹۴ کیلوگرم بر هکتار بود. براساس این نتایج، دقت مدل AquaCrop در روش مستقیم حدود ۴۰ درصد بیشتر از روش نشایی بود. چون شبیه‌سازی گیاه کینوا در مدل AquaCrop در حالت پیش‌فرض به‌صورت روش مستقیم است، دقت شبیه‌سازی به این روش کاشت نیز بیشتر بود. خطا و دقت مدل AquaCrop براساس روش نشایی به ترتیب ۱۹۱/۶ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۱۲ و براساس روش کشت مستقیم به ترتیب ۱۰۷/۵ کیلوگرم بر هکتار و ۰/۰۷ بود. بنابراین مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کینوا در هر دو روش کاشت خطای قابل‌قبول، در روش نشایی دقت خوب (0.1<NRMSE≤0.2) و در روش مستقیم دقت عالی (NRMSE≤0.1) داشت. کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد کینوا در هر دو روش کاشت مطلوب بود.



شکل ۸- مقایسه عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای روش‌های کاشت مختلف در مرحله صحت‌سنجی (تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2:۱۰ آبان، T3:۲۰ آبان و T4:۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 8- Comparison of observed and simulated yield for different cultivation method in validation stage in four date ((T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))



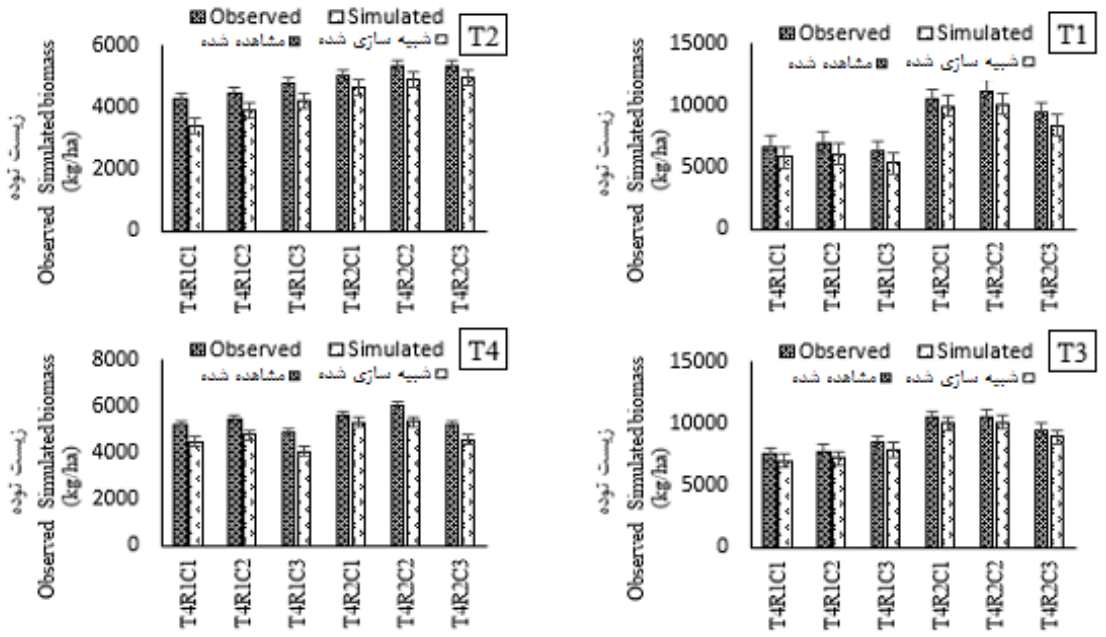
شکل ۹- مقایسه عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای رقم‌های مختلف در مرحله صحت‌سنجی(تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2:۱۰ آبان، T3:۲۰ آبان و T4:۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 9- Comparison of observed and simulated yield for different cultivar in validation stage in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))

نتایج عملکرد برای سه رقم گیزا (C1)، کیو ۲۶ (C2) و تیتیکاکا (C3) در شکل ۹ ارائه شده است. متوسط اختلاف عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای این رقم‌ها به‌ترتیب ۱۲۸، ۱۵۸ و ۱۲۳ کیلوگرم بر هکتار بود. کمترین اختلاف عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای این سه رقم به‌ترتیب ۶۲، ۹۶ و ۶۷ کیلوگرم بر هکتار و بیشترین اختلاف عملکرد به‌ترتیب ۳۰۳، ۲۹۸ و ۲۹۱ کیلوگرم بر هکتار بود. براساس آماره‌ی RMSE، خطای شبیه‌سازی عملکرد برای رقم تیتیکاکا کمتر و برای کیو ۲۶ بیشتر از سایر ارقام بود. دقت و کارایی شبیه‌سازی عملکرد هر سه رقم نزدیک بود.

صحت‌سنجی مدل برای زیست‌توده کینوا

نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده برای چهار تاریخ کاشت در شکل ۱۰ ارائه شده است. متوسط اختلاف زیست‌توده شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای تاریخ‌های کاشت T1، T2، T3 و T4 به‌ترتیب ۸۷۰، ۵۴۲، ۵۳۳ و ۶۳۵ کیلوگرم بر هکتار بود. کمترین اختلاف برای این تیمارها به‌ترتیب ۵۲۹، ۴۰۱، ۴۱۷ و ۳۲۴ کیلوگرم بر هکتار و بیشترین اختلاف به‌ترتیب ۱۰۷۲، ۸۷۱، ۶۰۹ و ۷۹۳ کیلوگرم بر هکتار بود. براساس جدول ۵، خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده تیمار T1 (۶۸۹/۱ کیلوگرم بر هکتار) از سایر تیمارها بیشتر بود. خطای این مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده دو تیمار T3 و T4 نسبت به خطای شبیه‌سازی برای کلیه تیمارها (۶۵۵/۲ کیلوگرم بر هکتار) کمتر بود. با این وجود دقت شبیه‌سازی زیست‌توده این دو تاریخ کاشت در دسته خوب (0.1<NRMSE≤0.2) و برای دو تاریخ کاشت T1 و T2 در دسته عالی (NRMSE≤0.1) قرار داشت. علت آن زیست‌توده پایین در دو تاریخ کاشت T3 و T4 بود. با این وجود، کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده کینوا در هر چهار تاریخ کاشت قابل‌قبول بود. همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در این تیمارها یکسان و برابر با ۰/۹۹ بود. این نتایج با همبستگی بین کل داده‌ها در شکل ۱۱ یکسان بود و به‌همین دلیل به‌منظور پرهیز از تکرار نتایج، نشان داده نشدند.



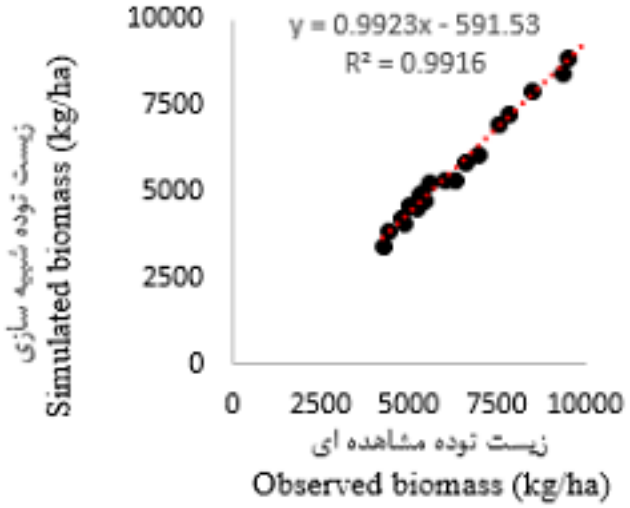
شکل ۱۰- مقایسه زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای تاریخ‌های کاشت مختلف در مرحله صحت‌سنجی(تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2:۱۰ آبان، T3:۲۰ آبان و T4:۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 10- Comparison of observed and simulated biomass for different cultivation date in validation stage in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))

جدول ۵- نتایج آماری متغیر زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) در مرحله صحت‌سنجی

Table 5- Statistical values for biomass (kg.ha^{-1}) in validation stage

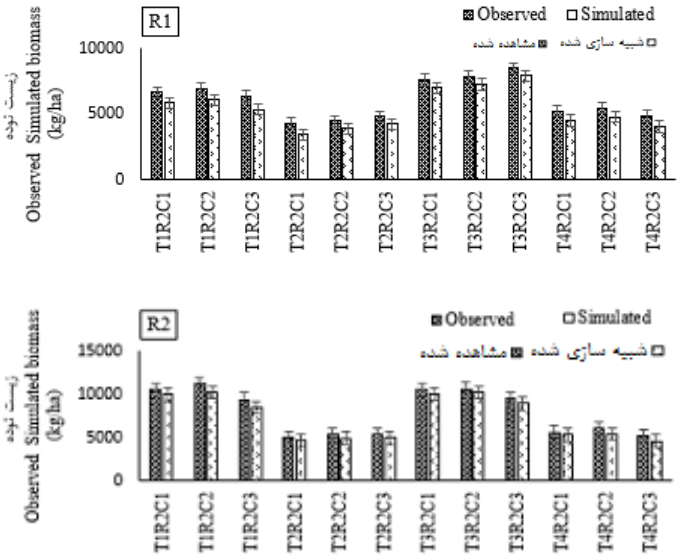
تیمار Treatment	میانگین خطای اریب MBE	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده NRMSE	کارایی مدل EF	شاخص توافق ویلموت D
All	-643.3	655.2	0.09	0.99	0.99
T1	-681.9	689.1	0.07	0.99	0.99
T2	-658.0	662.9	0.08	0.99	0.99
T3	-613.4	633.4	0.11	0.98	0.99
T4	-619.7	633.8	0.11	0.98	0.99
R1	-742.4	744.4	0.12	0.98	0.99
R2	-544.14	551.8	0.07	0.99	0.99
C1	-663.6	670.9	0.09	0.99	0.99
C2	-649.3	659.8	0.09	0.99	0.99
C3	-616.9	634.4	0.09	0.99	0.99



شکل ۱۱- همبستگی زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت‌سنجی

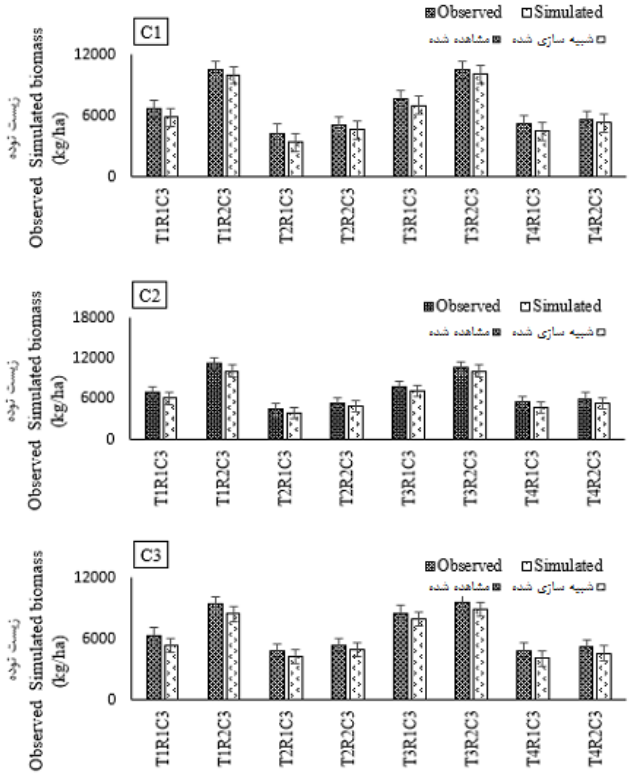
Figure 11- Correlation of observed and simulated biomass in validation stage

مقایسه زیست‌توده برای دو روش کاشت نشایی (R1) و مستقیم (R2) در شکل ۱۲ ارائه شده است. متوسط اختلاف زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دو روش نشایی و مستقیم به‌ترتیب ۷۲۳ و ۵۶۶ کیلوگرم بر هکتار بود. حداقل و حداکثر اختلاف عملکرد در روش نشایی به‌ترتیب ۵۶۷ و ۹۷۹ کیلوگرم در هکتار و در روش مستقیم ۳۲۴ و ۱۰۷۲ کیلوگرم بر هکتار بود. مشابه نتایج به‌دست آمده برای عملکرد، خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده در روش مستقیم کمتر بود. نتایج آماره RMSE نشان داد که خطای مدل AquaCrop در روش مستقیم ۲۱/۷ درصد کمتر از روش نشایی بود. هم‌چنین دقت این مدل برای شبیه‌سازی زیست‌توده در روش مستقیم بهتر از روش نشایی بود. متوسط اختلاف زیست‌توده مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای سه رقم گیزا، کیو ۲۶ و تیتیکاکا به‌ترتیب ۵۸۱، ۶۶۲ و ۶۹۱ کیلوگرم بر هکتار بود (شکل ۱۳). حداقل اختلاف برای این سه رقم به‌ترتیب ۳۲۴، ۴۱۲ و ۴۱۳ کیلوگرم بر هکتار و حداکثر اختلاف به‌ترتیب ۸۷۱، ۱۰۷۲ و ۹۷۹ کیلوگرم بر هکتار بود. مقادیر آماره‌ی RMSE و NRMSE برای سه رقم مورد مطالعه تقریباً یکسان بود. به‌همین دلیل دقت و خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده کینوا تحت تأثیر رقم قرار نگرفت.



شکل ۱۲- مقایسه زیست‌توده مشاهده شده و شبیه‌سازی برای روش‌های کاشت مختلف در مرحله صحت‌سنجی (تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2: ۱۰ آبان، T3: ۲۰ آبان و T4: ۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 12- Comparison of observed and simulated biomass for different cultivation method in validation stage in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))



شکل ۱۳- مقایسه زیست‌توده مشاهده شده و شبیه‌سازی برای رقم‌های مختلف در مرحله صحت‌سنجی (تاریخ کاشت به عنوان فاکتور اصلی در چهار زمان (T1: ۳۰مهر، T2: ۱۰ آبان، T3: ۲۰ آبان و T4: ۳۰ آبان)، فاکتور فرعی روش کاشت به دو صورت (R1: نشاکاری و R2: مستقیم) و فاکتور فرعی فرعی ارقام (C1: گیزا، C2: کیو۲۶ و C3: تیتیکاکا))

Figure 13- Comparison of observed and simulated biomass for different cultivar in validation stage in four date (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), two cultivation methods (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca))

نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق به‌منظور ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کینوا تحت سه عامل تاریخ و روش کاشت و رقم انجام شد. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن کلیه عوامل، مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده دچار خطای کم‌برآوردی شد. هم‌چنین کارایی مدل AquaCrop مطلوب (EF>0.90 و d>0.90) و دقت آن عالی (NRMSE<0.1) بود. خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده در کشت مهر و اوایل آبان بیشتر از اواسط و اواخر آبان بود. با این وجود دقت مدل AquaCrop در تاریخ‌های مهر و اوایل آبان بیشتر از دو تاریخ دیگر بود. در بین روش‌های کاشت، کشت مستقیم دارای خطای کمتری نسبت به روش نشایی بود. اختلاف خطا در این دو روش کاشت برای عملکرد و زیست‌توده به ترتیب ۷۸/۵ و ۳۵/۰ درصد بود. اختلاف خطا در شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده رقم‌های مختلف حداکثر ۱۷/۵ و ۵/۳ درصد بود و این اختلاف قابل چشم‌پوشی است. کارایی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی کینوا در همه‌ی عوامل مورد بررسی مطلوب بود. براساس کلیه نتایج، می‌توان مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی کینوا پیشنهاد داد لیکن خطای آن برای روش مستقیم و در شرایط کشت بعد از نیمه آبان کمتر از سایر شرایط است.

References

Ahmadee, M., Khashei Siuki, A. and Sayyari, M H. 2015. Comparison of Efficiency of Different Equations to Estimate the Water Requirement in Saffron (*Crocus sativus* L.) (Case Study: Birjand Plain, Iran). *Agroecology*, *8*(4), PP.505-520 [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v8i4.40517**

Ahmadee, M., Ghanbarpouri, M., and Egdernezhad, A. 2021. Applied Irrigation Water of Wheat using Sensitivity Analysis and Evaluation of Aqua Crop. *Water Management in Agriculture*, *8*(1), PP.15-30 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.24764531.2021.8.1.2.0**

Alishiri R., Paknejad F. and Aghayari F. 2014. Simulation of sugar beet growth under different water regimes and nitrogen levels by AquaCrop. *Bioscience*, *4*(4), PP.1-9. **doi:10.12692/ijb/4.4.1-9**

Aliyar, S., Aliasgharzad, N., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Ostan, Sh. 2022. Effects of endophytic fungus Serendipitaindica on growth and nutritional characteristics of quinoa undersalinity stress conditions. *Journal of Soil Biology*, *10* (1), PP.1-21 [In Persian]. **doi: 10.22092/sbj.2022.354464.218**

Behmanesh, A., Egdernezhad, A., and Sepehri, S. 2021. Evaluation of AquaCrop Model in Simulating Safflower Yield, Biomass and Water Productivity under Different Irrigation Amounts. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(9), PP.2399-2413 [In Persian]. **doi: 10.22059/ijswr.2021.327254.669026**

Chumbe, R., Silva, S., and Garcia, Y. 2022. Comparison of the machine learning and AquaCrop model for quinoa crops. *Research in Agricultural Engineering*, In press. **doi: 10.17221/86/2021-rae**

Ebrahimipak, N., Ahmadee, M., Egdernezhad, A., and Khashei Siuki, A. 2018. Evaluation of AquaCrop to simulate saffron (*Crocus Sativus* L.) yield under different water management scenarios and zeolite amount, *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, *8*(1), PP.117-132 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.22517480.1397.8.1.8.5**

Ebrahimipak, N., Egdernezhad, A., Tafteh, A., and Ahmadee, M. 2019. Evaluation of AquaCrop, WOFOST, and CropSyst to Simulate Rapeseed Yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13*(3-75), PP.715-726 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.20087942.1398.13.3.14.4**

Egdernezhad, A., Ebrahimipak, N., Tafteh, A., and Ahmadee, M. 2019. Canola Irrigation Scheduling using AquaCrop Model in Qazvin Plain, *Water Management in Agriculture*, *5*(2), PP.53-64 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.24764531.1397.5.2.7.2**

Emdad, M. R., Tafteh, A. and Ebrahimipak, N. 2022. Efficiency of Aquacrop Model in Simulating Yield of Quinoa in Different Deficit Irrigation Managements. *Journal of Water and Soil*, *36*(3), PP.319-331 [In Persian]. **dor: 20.1001.1.20084757.1401.36.3.1.7**

Farahani H. J., Izzi G., Steduto P. and Oweis T Y. 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy*, *101*, PP.469-476. **doi: 10.2134/agronj2008.0182s**

Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R and Cusicanqui J A. 2009. Simulating yield response to water of quinoa (Chenopodium quinoa wild.) with FAO-AquaCrop. *Agronomy*, *101*, PP.499-508. **doi: 10.2134/agronj2008.0137s**

Geerts, S. and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, *96*, PP.1275-1284. **doi: 10.1016/j.agwat.2009.04.009**

Geerts, S., Raes, D., and Garcia, M. 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural Water Management*, *98*, PP.213-216. **doi: 10.1016/j.agwat.2010.07.003**

Golabi, M., Lak, Sh., Gilani, A., Alavi Fazel, M., and Egdernezhad, A. 2022. Growth Index, Yield and Yield Components of Quinoa (Chenopodium quinoa wild) Cultivars Affected by Date and Method of Planting at Ahvaz Region. *Journal of Crop Ecophysiology*, *16* (3), PP.411-434. [In Persian]. **doi: 10.30495/jcep.2022.1928721.1797**

Gonzalez Martin, M.I., G. Wells Moncada, S. Fischer and O. Escuredo. 2014. Chemical characteristics and mineral composition of quinoa by nearinfrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*, PP.876 -881. **doi: 10.1002/jsfa.6325**

Heng L. k., Hsiao T. C., Evett S., Howell T. and Steduto P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for Irrigated and Water Deficient field maize. *Agronomy*, *101*(3), PP.488-498. **doi: 10.2134/agronj2008.0029xs**

Hsiao, T C., Heng L K., Steduto P., Raes D. and Fereres E. 2009. AquaCrop-Model parameterization and testing for maize. *Agronomy*, *101*, PP.448-459. **doi: 10.2134/agronj2008.0218s**

Jacobsen, S.E., H. Quispe and A. Mujica. 2001. Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and Farmer -Partners in Research for the 21st Century. *CIP Program Report*, 2000, 403 -408.

Jacobsen, S.E., Monteros, C., Christiansen, J.L., Bravo, L.A., Corcuera, L.J., Mujica, A. 2005. Plant responses of quinoa (Chenopodium quinoa wild.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, *22*, PP.131–139. **doi: 10.1016/j.eja.2004.01.003**

Katerji N., Campi P and Mastrorilli M. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, *130*, PP.14-26. **doi: 10.1016/j.agwat.2013.08.005**

Kia, M., Bagheri, N., Babaeian Jelodar, N., and Begheri, M. 2022. Investigation of Morphological and Genotypic Characteristics of Quinoa in Gorgan Region. *Journal of Crop Breeding*, *14* (43), PP.145-154 [In Persian]. **doi:**

10.52547/jcb.14.43.145

Salehi, M., Soltani V. and Dehghany. F. 2016. Potential of quinoa production in central plateau of Iran. *Regional conference of marginal area of Iran central desert*, 23 Jan , Qom - Iran [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2019.1514.1341**

Todorovic M., Albrizio R., Zivotic L., Abisaab M. and Stwckle C. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy*, *101*, PP.509-521. **doi: 10.2134/agronj2008.0166s**

Van Gaelen, H., Tsegay, A., Delbecque, N., Shrestha, N., Garcia, M., Fajardo, H., Miranda, R., Vanuytrecht, E., Abrha, B., Diels, J., and Raes, D. 2015. A semi-quantitative approach for modelling crop response to soil fertility: Evaluation of the AquaCrop procedure. *Journal of Agricultural Science*,*153*, PP.1218-1233. **doi: 10.1017/S0021859614000872**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 447-464

Simulation of the yield and biomass of quinoa under different agricultural management using the AquaCrop model

Mehrnoosh Golabi[1], Shahram Lak[1*], Abdolali Gilani[2], Mojtaba Alavifazel[3], Aslan Egdernezhad[4]

[1] Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[2] Department of Seed and Plant Improvement Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resources and Extension Center, AREEO, Ahvaz, Iran
[3] Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[4] Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[*]Corresponding Author: sh.lack@yahoo.com

Received: 26 December 2022 Accepted: 31 January 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.378375.1305**

Abstract

Introduction: Quinoa (Chenopodium quinoa wild) is a dicotyledonous plant with about 95% purity. Quinoa is one-year, broad-leaved and has a height of one to two meters. This plant is native to South America, which is generally cultivated for its seeds, but its biomass is also popular as leafy vegetables. The seed of this plant is small in size and is a rich source of many vitamins and proteins. For this reason, its cultivation is expanding in Iran. For this reason, it is very important to know the effects of various factors such as planting method, planting time and cultivar used on its yield and biomass. Due to the high cost of field experiments, the AquaCrop model was used to simulate this crop plant in this research.

Materials and Methods: The current research was conducted in Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research and Training Center located at 31° 20’ N latitude and 48° 40’ E longitude with a height of 18 meters above sea level during the years 2017-2018 and 2018-2019. The ten-year average rainfall leading to the time of the experiment is 240 mm and the average annual temperature is 25.3 degrees Celsius. The experimental treatments include planting dates at four times (T1: October 30, T2: November 10, T3: November 20, and T4: November 30), cultivation methods in two ways (R1: transplanting and R2: seed planting) and three cultivars (C1: Giza, C2: Q26 and C3: Titicaca). Tillage operation was done at the end of May for all treatments.

Results and Discussion: The sensitivity of the AquaCrop model to changes in base temperature, high temperature and initial canopy cover parameters was in the low category. Due to the low sensitivity of these parameters, the base and high temperature values remained as default. The initial canopy cover was also dependent on plant density, that's why its value was changed compared to the default state. The sensitivity of the AquaCrop model to changes in two parameters of normalized water productivity and the maximum crop coefficient for transpiration was in the high category. The sensitivity of other parameters was in the medium category and therefore these parameters were recalibrated. The average observed and simulated yield differences for T1, T2, T3 and T4 treatments were 198, 153, 97 and 97 kg.ha^{-1}, respectively. The minimum difference between observed and simulated yield values was 93, 78, 62 and 66 kg.ha^{-1}, respectively, and the maximum difference was 303, 210, 172 and 151 kg.ha^{-1} respectively. Therefore, the accuracy of the AquaCrop model was higher compared to the planting dates in the middle and end of November. The average difference between simulated and observed biomass for planting dates T1, T2, T3 and T4 was 870, 542, 533 and 635 kg.ha^{-1}, respectively. The lowest difference for these treatments was 529, 401, 417 and 324 kg.ha^{-1} respectively and the highest difference was 1072, 871, 609 and 793 kg.ha^{-1} respectively. The average observed and simulated yield differences in the two cultivation methods R1 and R2 were 171 and 102 kg.ha^{-1}, respectively. The lowest and the highest difference between the observed and simulated yield was 62 and 303 kg.ha^{-1} in the germination method and 66 and 194 kg.ha^{-1} in the direct method. Based on these results, the accuracy of the AquaCrop model in the direct method was about 40% higher than

the seed planting. The average difference between the observed and simulated biomass in two germination and direct methods was 723 and 566 kg.ha^{-1}, respectively. The minimum and maximum yield differences in the germination method were 567 and 979 kg.ha^{-1}, respectively, and in the direct method, 324 and 1072 kg.ha^{-1}. The average observed and simulated yield difference for this cultivar was 128, 158 and 123 kg.ha^{-1}, respectively. The lowest observed and simulated yield differences for these three cultivars were 62, 96, and 67 kg.ha^{-1}, respectively, and the highest yield differences were 303, 298, and 291 kg.ha^{-1}, respectively. The average difference between observed and simulated biomass for three varieties of Giza, Q26 and Titicaca was 581, 662 and 691 kg.ha^{-1}, respectively.
Conclusion: Based on all the results, the use of this plant model is suggested for simulating quinoa, although its error is less for direct cultivation in the middle and end of November than other conditions.

Keywords: Crop Modeling, Cultivation Date, Seed Planting, Water-driven Model

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص۴۸۵-۴۶۵

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد علوفه و شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط ماشک و جو تحت تأثیر کود زیستی ازتوبارور-۱ و سوپرجاذب

نورالله طولابی[۱]، عیسی خمری[۲*]، علیرضا سیروس مهر[۲]، ماشاءالله دانشور[۳]، محمد گلوی[۲]، مهدی دهمرده[۲]

۱- دانش آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

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

۳- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

* مسئول مکاتبه: Ikhammari@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۱۰/۰۹ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.315524.1157**

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی عملکرد علوفه خشک و شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط ماشک و جو در شرایط دیم تحت تأثیر کود زیستی ازتوبارور -۱ و ماده سوپرجاذب در طی سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول، کشت مخلوط در ۵ سطح شامل: V1= ۱۰۰٪ ماشک، V2= ۱۰۰٪ جو، V3= ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو، V4= ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو و V5= ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو به روش جایگزینی و عامل دوم کود زیستی ازتوبارور-۱ و ماده سوپرجاذب در ۴ سطح شامل: F1= ازتوبارور-۱، F2= سوپرجاذب، F3= ازتوبارور-۱+ سوپرجاذب و F4=تیمار شاهد بودند. نتایج نشان داد که در کشت مخلوط بیشترین مجموع عملکرد علوفه خشک به مقدار ۳۷۹۹ کیلوگرم در هکتار، بیشترین نسبت برابری زمین کل (۲/۹۱۳)، بیشترین مجموع عملکرد نسبی کل (۱/۴۵۷) و بیشترین ضریب نسبی تراکم کل (۷/۵۷۷) از ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ماده ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب در سال دوم مشاهده شد. از طرفی در سال اول بیشترین نسبت رقابت کل (۴/۲۹۷) از ترکیب ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب و بیشترین کاهش واقعی عملکرد کل (۴/۹۹۰) از تیمار ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو × سوپرجاذب حاصل گردید. به نظر می‌رسد کود زیستی ازتوبارور-۱ با کمترین هزینه می‌تواند به عنوان جایگزین کود شیمیایی نیتروژن عمل نماید و از طرفی کاربرد ماده سوپرجاذب می‌تواند در مناطق دیم مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری تولید، جایگزینی، ضریب نسبی تراکم، نسبت برابری زمین، هم‌زیستی

مقدمه

گسترش سیستم‌های تک‌کشتی با استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها به منظور تولید انبوه موجب مشکلات شدیدی از جمله کاهش تنوع زیستی و آلودگی محیط زیست می‌شود، بنابراین یک نیاز فزاینده برای به حداکثر رساندن استفاده از زمین برای تسریع در بهره‌برداری وجود دارد که ممکن است باعث بسته‌شدن خَلاء عملکرد (شکاف عملکرد) باشد (Wang *et al*., 2020; Salama *et al*., 2016). بررسی‌ها نشان داده است که کشت مخلوط، علاوه بر بهبود کمیت و کیفیت علوفه، درآمد اقتصادی کشاورزان را افزایش می‌دهد (Javanmard *et al*., 2020). در سیستم کشت مخلوط، حبوبات یک گروه عملکردی کلیدی هستند و از نظر خدماتی که به کشاورزی ارائه می‌کنند، بسیار ارزشمند هستند (Duchene *et al*., 2017). تحقیقات نشان داده است که ماشک‌ها در مخلوط با جو به عنوان یک راهکار در جهت تأمین نیاز غذایی دام‌ها می‌توانند نقش مهمی به منظور افزایش عملکرد و پایداری تولید در سیستم کشاورزی کم‌نهاده داشته باشند (Ibrahim and Acikalin, 2020; Ahmadi *et al*., 2010).

در حال حاضر اتکای سیستم‌های کشاورزی فعلی به کودهای مصنوعی باعث نگرانی در مورد پایداری آن‌ها در محیط شده، از این‌رو گزینه‌های مناسب برای تأمین نیتروژن از طریق فرآیندهای بیولوژیکی باید مورد استفاده قرار گیرد (Frasier *et al*., 2017). در همین راستا سیستم‌های کشت مخلوط می‌توانند نیاز جهانی به کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار را جبران و از توسعه سیستم‌های پایدار پشتیبانی کنند (Jensen *et al*., 2020). کود زیستی ازتوبارور-۱ می‌تواند به عنوان یک فن‌آوری نوین و جایگزینی سالم و مؤثر برای کودهای شیمیایی

نیتروژن‌دار، به صورت بذرمال و محلول‌پاشی مورد استفاده قرارگیرد (Danazadeh *et al*., 2014). مطالعه دیگر حاکی از کاربرد کود زیستی ازتوبارور-۱ به‌صورت بذرمال در نخود بود که موجب افزایش عملکرد در ماده خشک گردید (Mohammadpour *et al*., 2017).

بررسی‌ها نشان داد که عملکرد علوفه خشک ماشک و جو در کشت مخلوط افزایش یافت (Bahrami and Visani, 2018). در مطالعه‌ای دیگر بیشترین عملکرد علوفه خشک از ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو معادل ۵۸۷۰ کیلوگرم در هکتار در منطقه لرستان مشاهده گردید (Shakorzadeh *et al*., 2012). مطالعات نشان داد که بیشترین نسبت برابری زمین، مجموع عملکرد نسبی و کاهش واقعی عملکرد از کشت مخلوط ماشک و جو حاصل گردید (Amani Machiani *et al*., 2018; Javanmard *et al*., 2014; Daraei Mofrad, 2007). مطالعات نشان داد بالابودن ضریب ازدحام نسبی (K) و نسبت رقابت در کشت مخلوط لوبیا – جو و نخود فرنگی - جو نشان دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است (Dordas *et al*., 2019; Nakhzari Moghaddam, 2016).

با توجه به شرایط اقلیمی، ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب شده، بنابراین با مشکل کمبود آب و نزولات جوی مواجه بوده و دسترسی ناکافی به آب در این مناطق، افزایش کارایی مصرف آب را به عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار مطرح کرده است (Rozales *et al*., 2012; Norozi and Kazemini, 2012). در همین راستا انتخاب و توسعه استراتژی‌های جدید مانند استفاده از سوپرجاذب‌ها به عنوان راهکار قابل توجه در مناطقی که با کمبود آب و شرایط مواد مغذی محدود در خاک روبرو هستند ضروری است (Khodadadi Dehkordi, 2016). در حال حاضر افزایش علاقه به استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب برای تولید محصولات در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان جهت صرفه‌جویی در مصرف آب است (Gunes *et al*., 2016).

با توجه به نقش مهم ماشک و جو در تغذیه دام‌ها و کمبود علوفه به واسطه سیستم تک‌کشتی در مناطق دیم، از طرفی قرارگرفتن ایران در کمربند خشک جهانی، موجب گردیده است تا عملکرد کمی و کیفی علوفه به خاطر کمبود رطوبت و فعال نبودن میکروارگانیسم‌های خاک کاهش یابد. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد کود زیستی ازتوبارور-۱ (مهیا نمودن بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه) و ماده سوپرجاذب (ذخیره‌کننده آب باران و تأمین‌کننده بخشی از رطوبت خاک) در کشت مخلوط ماشک و جو در شرایط دیم انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷) به صورت دیم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با ارتفاع ۱۱۵۵ متر از سطح دریا اجرا شد. میزان بارندگی نازل‌شده خرم‌آباد مطابق آمارنامه سازمان هواشناسی در سال اول و دوم آزمایش (جدول ۱) به ترتیب برابر ۴۸۸/۳ و ۹۳۷/۸ میلی‌متر بود. آب و هوای منطقه بر اساس ضریب اقلیمی دومارتن، اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد (Alizadeh, 2014).

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول کشت مخلوط در ۵ سطح شامل: V1= تک‌کشتی ماشک (۱۰۰٪ ماشک)، V2=تک‌کشتی جو (۱۰۰٪ جو)، V3= ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو، V4= ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو و V5= ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو به روش جایگزینی و عامل دوم کود زیستی ازتوبارور-۱ + ماده سوپرجاذب در ۴ سطح شامل: F1= ازتوبارور-۱ به صورت بذرمال و محلول‌پاشی، F2= ماده سوپرجاذب، F3= ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب و F4= شاهد (عدم مصرف کود و ماده سوپرجاذب) بودند. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک با استفاده از مته‌ی گودبرداری (آگر) به صورت زیگزاگ از چند نقطه زمین نمونه‌هائی انتخاب و با هم مخلوط و به مقدار لازم یک نمونه‌ی کلی جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل و سپس ویژه‌گی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مطابق جدول ۲ اندازه‌گیری شدند.

جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا در پاییز با گاوآهن برگردان‌دار شخم انجام، سپس جهت تسطیح و مهیا نمودن بستر بذر در زمین دو دیسک عمود برهم صورت گرفت. خطوط کشت توسط فوکا (شیارکش) در زمین ایجاد گردید. در این آزمایش طول هر کرت ۴ متر و عرض آن برابر ۱/۵ متر بود. هر کرت دارای ۶ خط کاشت، فاصله ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها ۱ متر

و فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی ماشک و جو به ترتیب ۶۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار جهت تیمارهای مورد نظر بر حسب گرم در ۶ متر مربع (ابعادکرت) محاسبه گردید. در این آزمایش بذور انتخابی، گونه ماشک برگ‌پهن (*Vicia narbonensis*) و جو (*Hordeum vulgar*)، رقم خرم بودند که از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی لرستان تهیه شدند. در این آزمایش از کود زیستی ازتوبارور-۱ با نوع میکروارگانیسم (*Pantoea agglomrans*) و باکتری‌های زنده و فعال10^9در هرگرم کود بیولوژیک به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار به صورت بذرمال و محلول‌پاشی استفاده شد (Rezaei Chianeh *et al*., 2014). ماده سوپرجاذب به میزان ۱۲۰ گرم در هر کرت ۶ مترمربعی به صورت خطی در زیر بذور ریخته شد و با لایه‌ای از خاک نرم پوشانده شد، سپس بذور ماشک و جو توسط قارچ‌کش مانکوزب به نسبت یک درهزار ضد عفونی و کشت گردیدند. نمونه‌برداری علوفه در مرحله گلدهی با حذف اثرات حاشیه توسط قابی در ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر بعد از سبزشدن ماشک و جو در مرحله BBCH-23 انجام شد، به‌طوری‌که در این مرحله فنولوژیکی از رشد، پنجه‌ها در جو قابل تشخیص و ظهور شاخه‌های فرعی سه‌گانه در ماشک قابل رؤیت بود (Lancashire *et al*.,1991; Weber and Bleiholder, 1990).

جدول ۱- شرایط آب و هوائی محل آزمایش در سال‌های زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ و ۹۸- ۱۳۹۷

Table 1- Climatic conditions of the test site in the crop years 2017-2018 and 2018-2019

ماه Month	بارندگی Rainfall (mm)		میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C)		میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C)	
	سال ۱ Year 1	سال ۲ Year 2	سال ۱ Year 1	سال ۲ Year 2	سال ۱ Year 1	سال ۲ Year 2
مهر Octobr	-	9	11	13.6	29.9	30.7
آبان November	2.8	139.1	7	8.4	24.4	19.2
آذر December	36.6	150.8	0.4	3.1	14.6	14.1
دی January	50.1	127	0.5	7.8	14.7	11.7
بهمن February	68.7	115	2.1	1	14.4	12
اسفند March	62.7	81	4.8	1.1	18.7	13.7
فروردین April	103.7	309	7.3	6.6	23.1	18.5
اردیبهشت May	151.7	6.1	10.7	9.3	23.6	26.3
خرداد June	12	-	15.3	16.6	33.8	36.3
مجموع بارندگی Total rainfal	488.3	937.8				

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از کشت در سال اول و دوم

Table 2 - Results of physical and chemical analysis of farm soil before planting in the first and second year

بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	لای Silt (%)	شن Sand (%)	اسیدیته pH	شوری Salinity (dS/m)	نیتروژن کل Total nitrogen(%)	کربن آلی Organic carbon (%)	روی Zn (mg.kg^{-1})	منگنز Mn (mg.kg^{-1})	آهن Fe (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})
لوم رسی Clay loam	44	42	14	7.4	0.64	0.89	1.03	0.7	1.5	2.5	350	14.1

جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا در پاییز با گاوآهن برگردان‌دار شخم انجام، سپس جهت تسطیح و مهیا نمودن بستر بذر در زمین دو دیسک عمود برهم صورت گرفت. خطوط کشت توسط فوکا (شیارکش) در زمین ایجاد گردید. در این آزمایش طول هر کرت ۴ متر و عرض آن برابر ۱/۵ متر بود. هر کرت دارای ۶ خط کاشت، فاصله ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی ماشک و جو به ترتیب ۶۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار جهت تیمارهای مورد نظر بر حسب گرم در ۶ متر مربع (ابعادکرت) محاسبه گردید. در این آزمایش بذور انتخابی، گونه ماشک برگ‌پهن (*Vicia narbonensis*) و جو (*Hordeum vulgar*)، رقم خرم بودند که از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی لرستان تهیه شدند. در این آزمایش از کود زیستی ازتوبارور-۱ با نوع میکروارگانیسم (*Pantoea agglomrans*) و باکتری‌های زنده و فعال 10^9در هرگرم کود بیولوژیک به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار به صورت بذرمال و محلول‌پاشی استفاده شد (Rezaei Chianeh *et al*., 2014). ماده سوپرجاذب به میزان ۱۲۰ گرم در هر کرت ۶ مترمربعی به صورت خطی در زیر بذور ریخته شد و با لایه‌ای از خاک نرم پوشانده شد، سپس بذور ماشک و جو توسط قارچ‌کش مانکوزب به نسبت یک درهزار ضد عفونی و کشت گردیدند. نمونه‌برداری علوفه در مرحله گلدهی با حذف اثرات حاشیه توسط قابی در ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر بعد از سبزشدن ماشک و جو در مرحله BBCH-23 انجام شد، به‌طوری‌که در این مرحله فنولوژیکی از رشد، پنجه‌ها در جو قابل تشخیص و ظهور شاخه‌های فرعی سه‌گانه در ماشک قابل رؤیت بود (Lancashire *et al*.,1991; Weber and Bleiholder, 1990).

جهت اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک، نمونه‌های تر در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۴ درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند و در نهایت وزن خشک نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال مدل AND برحسب گرم در مترمربع اندازه‌گیری و به کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شدند. در این آزمایش کشت مخلوط به روش جایگزینی، انجام و شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط ماشک و جو از طریق روابط زیر محاسبه گردید.

نسبت برابری زمین (LER)

$$LER_V = Y_{VH} / Y_{VV} \quad (۱)$$

$$LER_H = Y_{HV} / Y_{HH} \quad (۲)$$

$$LER_T = LER_V + LER_H \quad (۳)$$

Y_{VV} = عملکرد تک کشتی ماشک (کشت خالص)

Y_{VH} = عملکرد مخلوط ماشک - جو

Y_{HH} = عملکرد تک کشتی جو (کشت خالص)

Y_{HV} = عملکرد مخلوط جو – ماشک

(Mazaheri., 1998)

مجموع عملکرد نسبی (RYT)

$$RYT = RYvetch + RYcereal \quad (۴)$$

$$RY_{vetch} = [Ym \times Xvc / Yv] \quad (۵)$$

$$RY_{vetch} = [Ym \times Xcv / Yc] \quad (۶)$$

Xvc= سهم واقعی ماده خشک ماشک در مخلوط با غلات

Ym= عملکرد ماده خشک در کشت مخلوط

Xcv= سهم واقعی ماده خشک ماشک در مخلوط با غلات

Yv= ماده خشک ماشک در کشت خالص

Yc= ماده خشک غلات در کشت خالص

(Mazaheri., 1998)

ضریب نسبی تراکم (K) یا (RCC)

$$Ka = (Yab \times Zba) / (Yaa-Yab) \times (Zab) \quad (۷)$$

$$K = Ka \times Kb \quad (۸)$$

Yaa = محصول گونه a در زراعت تک کشتی

Yab = محصول گونه a در زراعت مخلوط

Ka = a ضریب نسبی تراکم گونه

Zab = a نسبت مخلوط گونه

Zba = b نسبت مخلوط گونه

Kb = b ضریب نسبی تراکم گونه

(Mazaheri., 1998)

نسبت رقابت (CR)

$$CR_{Vetch} = (LER_V / LER_H) \times (Z_{HV} / Z_{VH}) \quad (۹)$$

$$CR_{Hordeum} = (LER_H / LER_V) \times (Z_{VH} / Z_{HV}) \quad (۱۰)$$

Z_{HV} = نسبت کاشته شده جو در ماشک

Z_{VH} = نسبت کاشته شده ماشک در جو

(Gaungwei *et al*., 2006)

کاهش واقعی عملکرد (AYL)

AYl= AYl vetch + AYl cereal (۱۱)

AYl vetch = {[(Yvc / Xvc / Yv / Xv)] - 1} (۱۲)

AYl cereal = {[(Ycv / Zcv / Yc / Zc)] - 1} (۱۳)

عملکرد ماشک=Yv

نسبت (سهم) ماشک در مخلوط با غلات=Xvc

عملکرد ماشک و غلات در کشت مخلوط=Yvc

نسبت (سهم) غلات در مخلوط با ماشک=Zcv

عملکرد غلات و ماشک در کشت مخلوط=Ycv

نسبت ماشک در کشت خالص=Xv

نسبت (سهم) غلات در مخلوط با ماشک =Zcv

عملکرد غلات و ماشک در کشت مخلوط=Ycv

نسبت غلات در کشت خالص =Zc

عملکرد غلات=Yc

(Baishya and Sharma., 1990)

تجزیه آماری داده‌ها با کمک نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح ۱ و ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل تیمارهای سه‌گانه سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + ماده سوپرجاذب بر عملکرد علوفه خشک ماشک و جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک ماشک از تیمار Y2V1F2 (سال ۲ × ۱۰۰٪ ماشک × سوپرجاذب) با عملکردی معادل ۲۹۰۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تیمارهای Y2V5F4 (سال ۲ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو + شاهد) و Y1V5F4 (سال ۱ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو + شاهد) به‌ترتیب با عملکردی معادل ۴۵۰ و ۵۱۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در جو هم بیشترین عملکرد علوفه خشک از تیمار Y1V2F3 (سال ۱ × ۱۰۰٪ جو × ازتوبارور-۱+ سوپرجاذب) با ۳۳۶۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین این متغیر از تیمار Y2V3F4 (سال ۲ × ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک + شاهد) با عملکردی معادل ۹۵۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. بیشترین مجموع عملکرد علوفه خشک از تیمار Y2V4F3 (سال ۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) معادل ۳۷۹۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تیمار Y2V1F4 (سال ۲ × ۱۰۰٪ ماشک + شاهد) معادل ۲۰۲۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک در تک کشتی‌های ماشک و جو در کلیه تیمارها حاصل شد، اما نتایج مجموع عملکرد علوفه خشک حاکی از برتری تیمار ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو در سال اول و دوم نسبت به دیگر تیمارها بود که نشان از مزایای کشت مخلوط در روند تولید علوفه در این ترکیب است. با توجه به افزایش عملکرد علوفه خشک که در سال دوم و در ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو به‌دست آمد، احتمالاً بیان‌گر استفاده بهینه دو گیاه از منابع موجود با حداقل رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای در آزمایش حاضر بود، به‌طوری‌که گیاه جو به عنوان قیم برای ماشک عمل نمود و گیاه ماشک توانست از نور بهترین سود را برده که در نهایت موجب افزایش عملکرد علوفه خشک در کشت مخلوط شد. از دلایل مهم دیگر در روند تولید علوفه خشک و افزایش عملکرد در سال دوم را می‌توان به بارندگی مطلوب (۹۳۷/۸ میلی‌متر) در سال دوم ذکر نمود. بررسی‌ها نشان داد که بازده محصولات زراعی در تک‌کشتی‌ها بالاتر از الگوهای کشت مخلوط ماشک – جو بود، اما عملکرد کل علوفه در کشت مخلوط افزایش یافت (Javanmard *et al.*, 2020). محققان در کشت مخلوط ماشک – جو، بیشترین عملکرد علوفه‌خشک از ترکیب ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌مقدار ۳/۸ تن در هکتار گزارش نمودند (Asghari Maidani and Karimi, 2014). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که با افزایش نسبت بذری ماشک در کشت مخلوط با جو، میزان علوفه خشک افزایش یافت (Contreras Paco *et al.*, 2020). هنگامی که دو گونه با خصوصیات رشدی متفاوت در کشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند واین موضوع باعث افزایش کارآیی مصرف منابع نور، آب و عناصر غذایی و عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Neumann *et al.*, 2009). تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ریشه‌های گیاهان علوفه‌ای یکی دیگر از عوامل مؤثر در افزایش کارایی کشت مخلوط می‌باشد، به‌طوری‌که ماشک در کشت مخلوط می‌تولند از

نیتروژن اتمسفر و گیاه جو از نیتروژن موجود در خاک استفاده نموده و بدین ترتیب از نظر جذب مواد غذایی به‌عنوان مکمل هم‌دیگر عمل می‌نمایند (Bahrami and Visani, 2018). تحقیقات دیگری نشان داد که ماده سوپرجاذب در شرایط دیم موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی بزرک و عدس در کشت مخلوط گردید (Fallahian *et al*., 2016). از طرفی تلفیق کود زیستی نیتروکسین و ماده سوپرجاذب در تک‌کشتی ماشک برگ پهن موجب افزایش عملکرد علوفه خشک شد (Latifinia *et al*., 2017).

نسبت برابری‌زمین

نتایج تجزیه واریانس مرکب در سطح احتمال یک درصد حاکی از معنی‌دار بودن اثرات سه‌گانه سال × کشت مخلوط × ازتوباور-۱ + سوپرجاذب بر نسبت برابری زمین (LER) علوفه خشک ماشک و جو بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای سه‌گانه نشان داد که بیشترین مقدار LER ماشک (۱/۴۷۰) از تیمار Y2V4F3 (سال ۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوباور-۱ + سوپرجاذب) و کمترین آن (۰/۸۸۰) از پایین‌ترین جزء ماشک (۲۵ درصد) از تیمار Y2V5F2 (سال ۲ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × سوپرجاذب) حاصل گردید. در گیاه جو هم بیشترین LER (۱/۴۴۳) در سال دوم و از تیمار Y2V4F3 (سال۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوباور-۱ + سوپرجاذب) و کمترین این متغیر (۰/۸۹۷) در سال اول از پایین‌ترین جزء ترکیب (۲۵ درصد جو) در تیمار Y1V3F3 (سال ۱ × ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک × ازتوباور-۱ + سوپرجاذب) مشاهده گردید. بیشترین و کمترین نسبت برابری زمین کل (۲/۹۱۳ و ۱/۹۸۰) به ترتیب در تیمارهای Y2V4F3 (سال ۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوباور-۱ + سوپرجاذب) و Y2V5F1 (سال ۲ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوباور) حاصل شد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار LER جزئی ماشک و جو در سال دوم و از ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو مشاهده گردید که نشان دهنده نقش ماشک و جو در افزایش عملکرد در کشت مخلوط می‌باشد. از دلایل مهم در افزایش LER در ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو در سال دوم، احتمالاً می‌توان به تراکم بوته مناسب اشاره نمود، چون این روند موجب شد ماشک و جو در کنار هم با کمترین رقابت علاوه بر جذب بهتر عناصر موجود در خاک بیشترین استفاده را از نور برده که در نهایت موجب افزایش عملکرد علوفه و افزایش LER در ترکیب شد، از طرفی سوپرجاذب در ماشک و تلفیق سوپرجاذب + ازتوبارور در جو موجب افزایش سودمندی در کشت مخلوط شد. شایان ذکر است گیاه ماشک به واسطه همزیستی با جو موجب افزایش در عملکرد علوفه جو و در نهایت سودمندی گیاه جو را سبب شد. مقدار LER بالا در کشت مخلوط بیانگر آن است که ماشک و جو توانسته‌اند با کارایی و بهره‌برداری بیشتر از کود زیستی ازتوبارور-۱ و ماده سوپرجاذب، میزان علوفه بیشتری را تولید نمایند، پس به همین خاطر است که کشت مخلوط به کشت خالص دو گیاه ارجحیت دارد.

بررسی‌ها نشان داد که بیشترین نسبت برابری‌زمین از ترکیب تیماری ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو مشاهده و این ترکیب به عنوان الگوی مناسبی برای دست‌یابی به عملکرد مناسب معرفی گردید (Asadi and Khoramdel, 2014). مطالعه دیگری نشان داد که نسبت برابری‌زمین بیش از یک (LER>1) در ترکیب ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو مشاهده شد (Habibi *et al*., 2010). بالابودن LER به استفاده از بهره‌وری بیشتر منابع از جمله مواد مغذی، آب، زمین، CO_2 اتمسفر و تابش فعال فتوسنتزی نسبت داده شد (Amani Machiani *et al*., 2018). بررسی در کشت مخلوط نشان داد که وجود نیتروژن توسط حبوبات و انتقال مستقیم یا غیرمستقیم به محصولات دلیل دیگری برای دست‌یابی به بهره‌وری بالا و LER بالاتر در الگوهای مخلوط است (Martin-Guay *et al*., 2018). مطالعات دیگر حاکی از اثرات مثبت کود زیستی ازتوبارور-۱ در کشت مخلوط باقلا - گلرنگ و خرفه – بالنگوی شهری بود که موجب افزایش نسبت برابری زمین شد (Saeedi *et al*., 2018; Rohi Salaran *et al*., 2019). تحقیقات دیگری نشان داد که نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط شنبلیله و ذرت، تحت تأثیر کود زیستی ازتوباکتر قرار گرفت (Abbasdokht *et al*., 2021). از طرفی بیشترین میزان LER در کشت مخلوط ذرت – ریحان تحت تأثیر کود زیستی نیتروکسین قرار گرفت (Kordi *et al*., 2017).

مجموع عملکرد نسبی

نتایج نشان داد که اثر سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ +

سوپرجاذب بر مجموع عملکرد نسبی ماشک و جو، هم‌چنین عملکرد نسبی کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین و کمترین مجموع عملکرد نسبی ماشک (۰/۷۶۷ و ۰/۲۲۰) به ترتیب از تیمارهای Y1V3F4 (سال ۱ × ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو × شاهد) و Y2V5F4 (سال ۲ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × شاهد) مشاهده گردید. در گیاه جو هم بیشترین و کمترین مجموع عملکرد نسبی (۰/۹۲۰ و ۰/۳۴۰) به ترتیب از تیمارهای Y2V5F3 (سال ۲ × ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y1V3F3 (سال ۱ × ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) مشاهده گردید. از طرفی بیشترین و کمترین مجموع عملکرد نسبی کل (۱/۴۵۷ و ۰/۹۵۷) به ترتیب به تیمارهای Y2V4F3 (سال ۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y1V5F3 (سال ۱ × ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) تعلق داشت (جدول ۶).

جدول۳- تجزیه واریانس تیمارهای سه‌گانه سال × ازتوبارور۱ + سوپرجاذب × کشت مخلوط بر عملکردعلوفه خشک ماشک و جو، مجموع عملکرد علوفه خشک، نسبت برابری زمین ماشک و جو و نسبت برابری زمین کل (میانگین مربعات)

Table 3- Analysis the variance of three treatments per year × Azetobarvar 1 + superabsorbent × intercropping on dry forage yield of vetch and barley, total dry forage yield, land equivalent ratio of vetch and barley, and total land equivalentratio (mean squares)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد علوفه خشک ماشک Dry forage yield of vetch	عملکرد علوفه خشک جو Dry forage yield of Barley	مجموع عملکرد علوفه خشک Total dry forage yield	نسبت برابری زمین ماشک LER vetch	نسبت برابری زمین جو LER Barley	نسبت برابری زمین کل LER Total
سال Year	1	69745.41 **	955153.63 **	508691.41 **	0.131 **	0.149 **	0.001 ns
تکرار (سال) R(Y)	4	13089.88 **	1863.33 ns	68364.02 **	0.000 ns	0.001 ns	0.001 ns
کشت مخلوط Intercropping	4	19921028.39 **	20172904.48 **	2402514.93 **	10.62**	9.730**	41.038**
سال × کشت مخلوط Intercropping×Year	4	32369.76 **	155663.53 **	307347.43 **	0.033**	0.042**	0.057**
ازتوبارور ۱+ سوپرجاذب Azetobarvar-1+ superabsorbent	3	935074.21 **	552621.46 **	1914539.14 **	0.051 **	0.093 **	0.012 **
سال × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب Azetobarvar-1+ ×Year superabsorbent	3	39090.63 **	65931.41 **	72433.83 **	0.035**	0.056**	0.161**
کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب Azetobarvar-1+ ×Intercroppin superabsorbent	12	84530.88 **	104555.66 **	143512.22 **	0.014**	0.021**	0.023**
سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب × Intercroppin ×Year Azetobarvar-1+ superabsorbent	12	8388.24 **	59974.09 **	82674.13 **	0.008**	0.012**	0.037**
خطا Error	76	1168.04	1421.193	12535.13	0.001	0.001	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		2.55	2.43	3.98	2.44	2.89	2.32

ns غیر معنی دار و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد احتمال

ns non significant and ** significant at 1% probability level

جدول ۴- مقایسه میانگین تیمارهای سه‌گانه سال × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب × کشت مخلوط بر عملکرد علوفه خشک ماشک و جو و مجموع عملکرد علوفه خشک، نسبت برابری زمین ماشک و جو و نسبت برابری زمین کل

Table 4- Comparison the average of three treatments per year × Azetobarvar 1 + superabsorbent × intercropping on dry forage yield of vetch and barley, total dry forage yield, land equivalent ratio of vetch and barley, and total land equivalent ratio

سال Year	کشت مخلوط intercropping	کود Fertilizer	عملکرد علوفه خشک ماشک Dry forage yield of vetch (kg/h)	عملکرد علوفه خشک جو Dry forage yield of Barley (kg/h)	مجموع عملکرد علوفه خشک Total dryforage Yield (kg/h)	نسبت برابری زمین ماشک LER vetch	نسبت برابری زمین جو LER Barley	نسبت برابری زمین کل Total LER
سال اول Year 1	V1	F1	2405 ^{e}	-	2405 ^{qrst}	-	-	-
		F2	2673 ^{b}	–	2673 ^{klmnopq}	-	-	-
		F3	2490 ^{d}	–	2490 ^{pqrst}	-	-	-
		F4	2072 ^{f}	–	2072 ^{u}	-	-	-
	V2	F1	-	2737 ^{b}	2737 ^{jklmnop}	-	-	-
		F2	-	2583 ^{cd}	2583 ^{mnopqr}	-	-	-
		F3	-	3362 ^{a}	3362 ^{bc}	-	-	-
		F4	-	2503 ^{de}	2503 ^{opqrs}	-	-	-
	V3	F1	1827 ^{h}	1317 ^{o}	3144 ^{bcdefg}	1.310 ^{cde}	1.147 ^{efg}	2.457 ^{d}
		F2	2000 ^{f}	1408 ^{n}	3408 ^{bc}	1.273 ^{def}	1.320 ^{bc}	2.597 ^{bc}
		F3	1857 ^{gh}	1152 ^{p}	3008 ^{efghij}	1.207 ^{fgh}	0.897 ^{k}	2.103 ^{i}
		F4	1568 ^{j}	1207 ^{p}	2775 ^{ijklmno}	1.340 ^{cd}	1.107 ^{ghi}	2.450 ^{d}
	V4	F1	1500 ^{jk}	1757 ^{kl}	3257 ^{bcdef}	1.357 ^{bc}	1.190 ^{def}	2.547 ^{c}
		F2	1702 ^{i}	1713 ^{l}	3415 ^{b}	1.277 ^{def}	1.327 ^{b}	2.603 ^{bc}
		F3	1503 ^{jk}	1815 ^{k}	3318 ^{bcd}	1.333 ^{cd}	0.987 ^{j}	2.320 ^{fg}
		F4	1240 ^{l}	1703 ^{l}	2943 ^{ghijk}	1.423 ^{ab}	1.177 ^{efg}	2.597 ^{bc}
	V5	F1	723 ^{n}	2117 ^{i}	2840 ^{hijklm}	1.183 ^{ghi}	1.037 ^{ij}	2.220 ^{h}
		F2	827 ^{m}	2310 ^{g}	3137 ^{cdefg}	1.173 ^{ghi}	1.217 ^{de}	2.390 ^{def}
		F3	605 ^{o}	2407 ^{f}	3012 ^{efghij}	1.207 ^{fgh}	0.897 ^{k}	2.103 ^{i}
		F4	517 ^{p}	1913 ^{j}	2430 ^{qrst}	1.180 ^{ghi}	0.970 ^{j}	2.150 ^{i}
سال دوم Year 2	V1	F1	2667 ^{b}	-	2667 ^{lmnopq}	-	-	-
		F2	2907 ^{a}	–	2907 ^{ghijkl}	-	-	-
		F3	2583 ^{c}	–	2583 ^{mnopqr}	-	-	-
		F4	2023 ^{f}	–	2023 ^{u}	-	-	-
	V2	F1	-	2440 ^{ef}	2440 ^{qrst}	-	-	-
		F2	-	2247 ^{gh}	2247 ^{stu}	-	-	-
		F3	-	2630 ^{c}	2630 ^{mnopqr}	-	-	-
		F4	-	2225 ^{h}	2225 ^{tu}	-	-	-
	V3	F1	1923 ^{g}	1057 ^{q}	2980 ^{fghij}	1.120 ^{ij}	1.220 ^{de}	2.343 ^{ef}
		F2	2050 ^{f}	1022 ^{qr}	3072 ^{defgh}	1.053 ^{j}	1.347 ^{b}	2.407 ^{de}
		F3	1833 ^{h}	1205 ^{p}	3038 ^{efghi}	1.177 ^{ghi}	1.153 ^{efg}	2.330 ^{f}
		F4	1437 ^{k}	955 ^{r}	2392 ^{qrst}	1.183 ^{ghi}	1.073 ^{hi}	2.257 ^{gh}
	V4	F1	1750 ^{i}	1590 ^{m}	3340 ^{bcd}	1.250 ^{efg}	1.367 ^{b}	2.620 ^{bc}
		F2	1750 ^{i}	1520 ^{m}	3270 ^{bcde}	1.123 ^{ij}	1.437 ^{a}	2.560 ^{c}
		F3	1709 ^{i}	2090 ^{i}	3799 ^{a}	1.470 ^{a}	1.443 ^{a}	2.913 ^{a}
		F4	1223 ^{l}	1572 ^{m}	2795 ^{hijklmn}	1.383 ^{bc}	1.253 ^{cd}	2.637 ^{b}
	V5	F1	710 ^{n}	1808 ^{k}	2518 ^{nopqrs}	0.947 ^{k}	1.033 ^{ij}	1.980 ^{j}
		F2	807 ^{m}	1750 ^{kl}	2557 ^{nopqr}	0.880 ^{k}	1.123 ^{fgh}	2.003 ^{j}
		F3	652 ^{no}	2417 ^{f}	3068 ^{defgh}	1.190 ^{ghi}	1.170 ^{efg}	2.353 ^{ef}
		F4	450 ^{p}	1907 ^{j}	2357 ^{rst}	1.167 ^{hi}	1.060 ^{hi}	2.223 ^{h}

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

There is no significant difference between the data with common letters in each column

V1= ۱۰۰ ٪ ماشک، V2= ۱۰۰ ٪ جو، V3= ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک، V4= ۵۰٪ جو +۵۰ ٪ ماشک، V5= ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک، F1= ازتوبارور ۱، F2= سوپرجاذب، F3= سوپرجاذب +ازتوبارور۱، F4= شاهد

V1=100% Vetch , V2= 100% Barley , V3= 75% Vetch+25% Barley, V4= 50% Vetch + 50% Barley, V5= 25% Vetch+75% Barley, F1= Azetobarvar 1, F2= Superabsorbent, F3= Azetobarvar 1+ Superabsorbent, F4=Control

نتایج نشان داد که ماشک و جو در ترکیب‌هایی که بالاترین سهم (۷۵ درصد) را داشتند، بیشترین مجموع عملکرد نسبی را دارا بودند، به‌طوری‌که این شاخص در ماشک و جو منفی بود و نشان دهنده آن است که هیچ‌گونه اضافه محصولی به ترکیب افزوده نمی‌شود. بررسی‌ها نشان داد اگر مقدار RYT کمتر از یک باشد (RYT<1) تأثیر مخلوط منفی است، یعنی محصول زراعت مخلوط کمتر از تک‌کشتی است، چنانچه مجموع عملکرد نسبی بیشتر از یک باشد (RYT>1) باشد مقدار محصول در کشت مخلوط بالاتر از تک‌کشتی است (Mazaheri, 1998).

مجموع عملکرد نسبی کل ماشک و جو نشان داد که ترکیب ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو در سال دوم به همراه ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب، نقش مهمی در افزایش مجموع عملکرد نسبی داشتند، چون تیمارهای کشت مخلوط در این ترکیب شاخصی بالاتر از یک را نشان دادند که بیانگر برتر بودن کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ماشک و جو می‌باشد. بنابراین چنین استنباط شد که مجموع عملکرد نسبی کل در کشت مخلوط ۵۰٪ ماشک: ۵۰٪ جو مثبت عمل نموده، چون مقدار RYT این ترکیب (۱/۴۵۷) شاخصی بالاتر از یک را نشان داد که بیان کننده مثبت بودن کشت مخلوط در این نسبت متعادل است که نسبت به تک‌کشتی ماشک و جو برتری لازم را نشان داد. از دلایل مهم دیگر در افزایش RYT را احتمالاً می‌توان به سهم ماشک در ترکیب مرتبط دانست، از طرفی هم می‌توان به نقش مثبت ازتوبارور-۱ و ماده سوپرجاذب در افزایش مجموع عملکرد نسبی اشاره نمود، چون مجموع عملکرد نسبی در تیمارهای مخلوطی که این نهاده‌ها در آن حضور داشتند نسبت به تیمارهای کشت خالص ماشک و جو برتری لازم را نشان داد. بررسی‌ها در کشت مخلوط ماشک و جو نشان داد که با کاهش سهم ماشک گل‌خوشه‌ای در نسبت‌های مختلف کاشت، سهم این گیاه از عملکرد نسبی (RYT) کاهش و با افزایش سهم جو و تریتیکاله در نسبت‌های کاشت، عملکرد نسبی این گیاهان افزایش یافت (Lamei Harvani and Alizadeh Dizaj, 2012). در مطالعه‌ای دیگر بیشترین مجموع عملکرد نسبی کل (RYT=1.16) از کشت مخلوط ماشک و جو (۲۵:۷۵) گزارش گردید (Javanmard *et al*., 2014). بررسی دیگری در کشت مخلوط جو – ماشک نشان داد که مجموع عملکرد نسبی بالاتر از یک بود که مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را در مصرف منابع محیطی بیان می‌کند (Shaygan *et al*., 2008). مطالعه دیگر حاکی از اثرات مثبت کود زیستی ازتوبارور-۱ بر مجموع عملکرد نسبی و دیگر شاخص‌های سودمندی در کشت مخلوط باقلا و گلرنگ بود (Saeedi *et al*., 2018). از طرفی کود زیستی ازتوبارور-۱ در کشت مخلوط خرفه- بالنگوی شهری موجب افزایش مجموع ارزش نسبی و دیگر شاخص‌های رقابتی گردید که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر دو گیاه بود (Rohi Salaran *et al*., 2019).

ضریب نسبی تراکم

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سه‌گانه سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب بر ضریب نسبی تراکم ماشک و جو معنی‌دار شد ($p \leq 0.01$) (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارهای سه‌گانه نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار ضریب نسبی تراکم ماشک (۳/۱۸۳ و ۰/۲۸۷) به ترتیب به تیمارهای Y1V3F1 (سال ۱ × ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو × ازتوبارور-۱) و Y2V5F4 (سال ۲ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × شاهد) تعلق داشت. در گیاه جو هم بیشترین و کمترین ضریب نسبی تراکم جو (۱۱/۷۱۰ و ۰/۵۲۰) از تیمارهای Y2V5F3 (سال ۲ × ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y1V3F3 (سال ۱ × ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) مشاهده گردید. از طرفی بیشترین و کمترین ضریب نسبی تراکم کل (۷/۵۷۷ و ۰/۸۱۳) به ترتیب از تیمارهای Y2V4F3 (سال ۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y1V5F3 (سال۱ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوبارور + سوپرجاذب) حاصل شد (جدول ۶).

نتایج نشان داد بیشترین ضریب نسبی تراکم ماشک (K_a) و جو (K_b) از سهم ۷۵ درصدی ترکیب به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش مشاهده گردید که مقدار شاخص آنها بیشتر از یک بود که نشان دهنده غالبیت ماشک و جو در جزء ۷۵ درصدی بود که نسبت به کمترین جزء ترکیب (۲۵ درصد) برتری داشت، از طرفی ضریب نسبی تراکم کل در سال دوم و از تیمار ۵۰ ماشک + ۵۰٪ جو مشاهده گردید که مقدار آن بیشتر از یک بود که مزیت کشت مخلوط را بر کشت خالص بیان می‌کند. از دلایل مهم در افزایش ضریب نسبی تراکم در تیمار متعادل (۵۰٪ ماشک : ۵۰٪ جو) را احتمالاً می‌توان به قرارگیری ماشک

و جو با کمترین رقابت در کنار هم و هم‌زیستی مسالمت آمیز ذکر نمود. با توجه به اینکه مقدار ضریب نسبی تراکم کل عدد قابل توجهی را نشان داد، بنابراین چنین استنباط شد که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر داشتند و در مجموع کارایی کشت مخلوط را افزایش دادند. شایان ذکر است افزایش ضریب نسبی تراکم احتمالاً ممکن است به بارندگی مناسب در سال دوم (۹۳۷/۸ میلی‌متر) و نقش مثبت ازتوبارور-۱ و سوپرجاذب در کشت مخلوط مرتبط باشد که موجب افزایش عملکرد علوفه در این ترکیب گردید.

جدول ۵- تجزیه واریانس تیمارهای سه‌گانه سال × ازتوبارور۱ + سوپرجاذب × کشت مخلوط بر مجموع عملکرد نسبی ماشک، جو و مجموع عملکرد نسبی کل، ضریب نسبی تراکم ماشک و جو و ضریب نسبی تراکم کل (میاتگین مربعات)

Table 5- Analysis the variance of three treatments per year × Azetobarvar 1 + superabsorbent × intercropping onrelative yield total of vetch and barley, relative yield total of whole, relative crowding coefficientof vetch and barley, and total relative crowding coefficient (mean square)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع عملکرد نسبی ماشک RYT vetch	مجموع عملکرد نسبی جو RYT Barley	مجموع عملکرد نسبی کل RYT total	ضریب نسبی تراکم ماشک RCC vetch (K_a)	ضریب نسبی تراکم جو RCC Barley (K_b)	ضریب نسبی تراکم کل RCC total (K_T)
سال Year	1	0.003**	0.009**	0.002**	0.220 **	5.171 **	1.589 **
تکرار (سال) R(Y)	4	0.000 ns	0.000 ns	0.000 ns	0.001 ns	0.004 ns	0.007 ns
کشت مخلوط Intercropping	4	2.756**	3.250**	10.54**	19.863**	81.267 **	28.047**
سال × کشت مخلوط Intercropping×Year	4	0.003**	0.008**	0.018**	0.530**	2.570**	5.289**
ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب Azetobarvar-1+ superabsorbent	3	0.002*	0.004**	0.005**	0.021 **	4.383**	1.338**
سال × ازتوبارور-۱+ سوپرجاذب Azetobarvar-1 + ×Year superabsorbent	3	0.001 *	0.037 **	0.048 **	0.049 **	17.182 **	10.631**
کشت مخلوط × ازتوبارور-۱+ سوپرجاذب Azetobarvar-1 ×Intercropping + superabsorbent	12	0.001**	0.003**	0.004**	0.040**	3.514**	1.446**
سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱+ سوپرجاذب × Intercropping ×Year Azetobarvar-1+ superabsorbent	12	0.001**	0.008**	0.010**	0.030 **	1.287 **	2.565**
خطا Error	76	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.009
ضریب تغییرات CV (%)		3.85	3.14	2.65	2.37	3.85	4.75

ns غیر معنی دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد احتمال و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد احتمال

ns non significant, * significant at 5% probability level and ** significant at 1% probability level

بررسی‌ها نشان داد که ضریب تراکم نسبی (K)، معیاری از غالبیت نسبی یک جزء در مخلوط، نسبت به جزء دیگر است و هر اندازه مقدار K بزرگتر باشد بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر دارند و در مجموع کارایی سیستم افزایش می‌یابد، این محققان در کشت مخلوط ذرت – لوبیا گزارش نمودند که با افزایش تراکم هر جزء در مخلوط، قدرت رقابت آن بر اساس شاخص درجه تهاجم افزایش یافت (Kouchaki *et al*., 2014).

جدول ۶- مقایسه میانگین تیمارهای سه‌گانه سال × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب × کشت مخلوط بر مجموع عملکرد نسبی ماشک و جو و مجموع عملکرد نسبی کل، ضریب نسبی تراکم ماشک و جو و ضریب نسبی تراکم کل

Table 6- Comparison the average of three treatments per year × Azetobarvar 1 + superabsorbent × intercropping on relative yield total of vetch and barley, relative yield total of whole, relative crowding coefficient of vetch and barley, and total relative crowding coefficient

سال Year	کشت مخلوط Intercropping	کود Fertilizer	مجموع عملکرد نسبی ماشک RYT vetch	مجموع عملکرد نسبی جو RYT Barley	مجموع عملکرد نسبی کل RYT Total	ضریب نسبی تراکم ماشک RCC vetch	ضریب نسبی تراکم جو RCC Barley	ضریب نسبی تراکم کل RCC (Total)
سال اول Year 1	V1	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V2	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V3	F1	0.763 a	0.483 gh	1.247 bc	3.183 a	0.927 mn	2.953 e
		F2	0.750 a	0.547 g	1.297 b	2.973 b	1.210 l	3.597 d
		F3	0.747 a	0.340 i	1.087 efg	2.933 b	0.520 o	1.523 j
		F4	0.767 a	0.480 gh	1.247 bc	3.170 a	0.920 mn	2.917 e
	V4	F1	0.623 c	0.643 f	1.267 bc	1.483 g	1.803 k	2.673 f
		F2	0.633 c	0.667 ef	1.300 b	1.753 f	2 ij	3.507 d
		F3	0.603 c	0.540 g	1.147 de	1.527 g	1.173 l	1.787 hi
		F4	0.600 c	0.680 ef	1.280 bc	1.333 h	2.137 i	2.850 ef
	V5	F1	0.300 d	0.773 cd	1.070 fgh	0.333 kl	3.490 e	1.157 lm
		F2	0.310 d	0.897 a	1.207 cd	0.447 j	8.680 b	3.877 bc
		F3	0.243 de	0.713 def	0.957 i	0.323 kl	2.517 h	0.813 n
		F4	0.250 de	0.767 cd	1.013 ghi	0.447 j	3.273 f	1.463 jk
سال دوم Year 2	V1	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-		-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V2	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V3	F1	0.723 ab	0.437 h	1.153 de	2.603 c	0.767 n	1.997 gh
		F2	0.707 ab	0.447 h	1.153 de	2.403 d	0.817 mn	1.963 gh
		F3	0.710 ab	0.457 h	1.170 d	2.440 d	0.847 mn	2.063 g
		F4	0.713 ab	0.430 h	1.140 def	2.460 d	0.757 n	1.860 gh
	V4	F1	0.657 bc	0.653 f	1.310 b	1.913 e	1.883 jk	3.607 d
		F2	0.607 c	0.667 ef	1.273 bc	1.520 g	2.010 ij	3.057 e
		F3	0.663 bc	0.797 bc	1.457 a	1.953 e	3.877 d	7.577 a
		F4	0.270 de	0.740 cde	1.007 hi	1.530 g	2.413 h	3.693 cd
	V5	F1	0.277 de	0.767 cd	1.047 gh	0.360 kl	2.883 g	1.043 mn
		F2	0.250 de	0.703 def	1.170 d	0.383 jk	3.327 ef	1.280 kl
		F3	0.603 c	0.920 a	1.310 b	0.340 kl	11.710 a	3.953 b
		F4	0.220 e	0.853 ab	1.080 efgh	0.287 l	5.663 c	1.627 ij

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

There is no significant difference between the data with common letters in each column

V1= ۱۰۰ ٪ ماشک، V2= ۱۰۰ ٪ جو، V3= ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک، V4= ۵۰٪ جو +۵۰ ٪ ماشک، V5= ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک، F1= ازتوبارور ۱، F2= سوپرجاذب، F3= سوپرجاذب +ازتوبارور ۱، F4= شاهد

V1=100% Vetch , V2= 100% Barley , V3= 75% Vetch+25% Barley, V4= 50% Vetch + 50% Barley, V5= 25% Vetch+75% Barley, F1= Azetobarvar 1, F2= Superabsorbent, F3= Azetobarvar 1+ Superabsorbent, F4=Control

تحقیقات دیگری نشان داد که ضریب نسبی تراکم جو در کشت خالص معادل ۱/۲۰ بود، در صورتی‌که ضریب نسبی تراکم جو (۱/۶۴) در کشت مخلوط با حبوبات ماشک، جو و خلر نشان می‌دهد که جو رقابتی‌تر از حبوبات است، این محققان ضریب نسبی تراکم کل (۴/۲۵) را از کشت مخلوط ۷۵٪ ماشک و ۲۵٪ جو گزارش نمودند (Javanmard *et al*., 2014). بررسی‌ها نشان داد که ضریب ازدحام نسبی تراکم در کشت مخلوط یونجه با رازیانه تحت تأثیر کود زیستی نیتروکسین قرار گرفت، به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود زیستی) برتری داشت (Aghababa Dastjerdi *et al*., 2017).

نسبت رقابت

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سه‌گانه سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب بر نسبت رقابت ماشک و جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین تیمارهای سه‌گلنه نشان داد بیشترین و کمترین (۴/۰۵۰ و ۰/۲۶۰) نسبت رقلبت جزئی ماشک به ترتیب از ترکیب‌های Y1V5F3 (سال ۱ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y2V3F2 (سال ۲ × ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو × سوپرجاذب) مشاهده گردید. بیشترین و کمترین نسبت رقابت جزئی جو (۳/۸۳۰ و ۰/۲۴۷) به ترتیب به تیمارهای Y2V3F2 (سال ۲ × ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک × سوپرجاذب) و Y1V5F3 (سال ۱ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) تعلق داشت. بیشترین و کمترین نسبت رقابت کل (۴/۲۹۷ و ۲) به ترتیب از تیمارهای Y1V5F3 (سال ۱ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y2V4F3 (سال ۲ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) مشاهده گردید (جدول ۸). نتایج نشان داد که با افزایش سهم گونه‌های ماشک و جو در ترکیب، نسبت رقابت کاهش و بالعکس با کاهش سهم، نسبت رقابت افزایش یافت (رقلبت جزئی)، از طرفی در نسبت رقلبت مجموع، بیشترین رقابت از ترکیب ۲۵ ماشک : ۷۵ جو مشاهده شد که نشان‌دهنده ازدحام جو در کشت مخلوط با ماشک در این ترکیب است. از دلایل مهم رقابت ماشک با جو در این ترکیب را احتمالاً می‌توان به رطوبت ایجادشده (سوپرجاذب) در ترکیب و از طرفی قیم‌بودن جو برای ماشک نسبت داد که گیاه جو برتری لازم را نشان داد. از دلایل مهم دیگر را می‌توان به تراکم بوته مناسب در ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو اشاره کرد که کمترین رقابت را ایجاد نمود. بنابراین به نظر می‌رسد که ترکیب فوق بهترین ترکیب برای تولید علوفه باشد، چون ماشک و جو فرصت کافی برای تولید شاخه‌های فرعی را به‌واسطه کمترین رقابت داشته، از طرفی این دو گیاه در ترکیب به بهترین نحو از منابع محیطی مانند عناصر ماکرو و میکرو، هم‌چنین رطوبت ایجادشده توسط سوپرجاذب و نیتروژن تولیدشده توسط ازتوبارور-۱ را در کمترین رقابت، استفاده نموده‌اند. شایان ذکر است که همزیستی ماشک با جو در نقش مکملی موجب شد که کمترین رقابت در ترکیب حاصل شود. مطالعه در کشت مخلوط ماشک معمولی - تریتیکاله و خلر –تریتیکاله نشان داد که نسبت رقابت (CR) در کشت مخلوط بالاتر از تک‌کشتی بود (Rakeih *et al*., 2008). بررسی دیگر در کشت مخلوط نخود فرنگی با چاودار و تریتیکاله نشان داد کم بودن نسبت رقابت به این معنی است که آن گونه می‌تواند با گونه دیگر به صورت مخلوط کشت شود ولی اگر نسبت رقابت گونه‌ای بیشتر از یک باشد مفهوم آن این است که آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است (Lithorgidis *et al*., 2011). از طرفی در کشت مخلوط گندم – نخود نشان داده شد که نسبت رقابتی گندم و نخود زراعی بیانگر توانایی رقابتی بیشتر گندم نسبت به نخود می‌باشد و در واقع ارتفاع بیشتر گندم و هم‌چنین اشغال فضای بیشتر عرضی منجر به رشد ضعیف نخود زراعی و درنتیجه مغلوب‌شدن آن شد (Mashadi *et al*., 2015). تحقیقات نشان داد که کود زیستی ازتوباکتر بر نسبت رقابت شنبلیله - ذرت تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که گیاه ذرت به عنوان گیاه غالب رقلبت بیشتری را دارا بود (Abbasdokht *et al*., 2021).

کاهش واقعی عملکرد

نتایج نشان داد اثر سه‌گانه سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب بر کاهش واقعی عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین و کمترین کاهش واقعی عملکرد جزئی ماشک (۳/۸۳۳ و ۰/۴۱۰) به ترتیب به تیمارهای Y1V5F3 (سال ۱ × ۲۵٪ ماشک + ۷۵٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) و Y2V3F2 (سال ۲ × ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو × سوپرجاذب) تعلق داشت.

جدول ۷- تجزیه واریانس تیمارهای سه گانه سال × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب × کشت مخلوط بر نسبت رقابت ماشک و جو، نسبت رقابت کل، کاهش واقعی عملکرد ماشک و جو و کاهش واقعی عملکرد کل (میانگین مربعات)

Table 7- Analysis the variance of three treatments per year × Azetobarvar 1 + superabsorbent × intercropping on vetch and barley competition ratio, total competition ratio, real reduction of vetch and barley yield, and real total yield reduction (mean squares)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	نسبت رقابت ماشک CR vetch	نسبت رقابت جو CR barley	نسبت رقابت مجموع CR total	کاهش واقعی عملکرد ماشک AYL vetch	کاهش واقعی عملکرد جو AYL barley	کاهش واقعی عملکرد کل AYL total
سال Year	1	1.003 **	0.896 **	0.005 ns	0.850 **	0.827**	0.000 ns
تکرار (سال) R(Y)	4	0.001 ns	0.003 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.008 ns	0.006 ns
کشت مخلوط Intercropping	4	38.751**	31.799 **	60.963 **	30.838**	37.493 **	26.072 **
سال × کشت مخلوط Intercropping×Year	4	0.425 **	0.385 **	0.910 **	0.333 **	0.225 **	0.538 **
ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب Azetobarvar-1 + superabsorbent	3	0.464 **	0.443 **	0.002 ns	0.363 **	0.731**	0.098 **
سال × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب Azetobarvar-1 + ×Year superabsorbent	3	0.051 **	0.035 **	0.021 **	0.239 **	0.311 **	0.915 **
کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب Azetobarvar-1 ×Intercropping ×+ superabsorbent Intercropping	12	0.198 **	0.189 **	0.434 **	0.123 **	0.350 **	0.477 **
سال × کشت مخلوط × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب × Intercropping ×Year Azetobarvar-1 + superabsorbent	12	0.022 **	0.015 **	0.041 **	0.096 **	0.079 **	0.254 **
خطا Error	76	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.007
ضریب تغییرات CV (%)		2.75	4	2.03	2.56	3.88	2.69

ns غیر معنی دار و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد احتمال

ns non significant and ** significant at 1% probability level

از طرفی بیشترین و کمترین کاهش واقعی عملکرد جزئی جو (۴/۴۰۰ و ۰/۱۹۳) به ترتیب از تیمارهای Y2V3F2 (سال ۲ × ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک × سوپرجاذب) و Y1V5F3 (سال ۱ × ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) مشاهده گردید. نتایج کاهش واقعی عملکرد کل (ماشک و جو) نشان داد که بیشترین و کمترین کاهش واقعی عملکرد (۴/۹۹۰ و ۲/۶۴۰) به ترتیب از تیمارهای Y1V3F2 (سال ۱ × ۷۵٪ ماشک + ۲۵٪ جو × سوپرجاذب) و Y1V4F3 (سال ۱ × ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب) به‌دست آمد (جدول ۸). با توجه به نتایج فوق، ترکیب‌های Y1V5F3 و Y2V3F2 به واسطه کم بودن تراکم گیاهی (جزء ۲۵ درصد)، بیشترین کاهش واقعی عملکرد را داشتند، چون کاهش واقعی عملکرد زمانی صورت می‌گیرد که یک گونه در مخلوط با گونه‌ی دیگر دارای کمترین سهم باشد. در این آزمایش کاهش واقعی عملکرد کل نشان داد که تیمار ۵۰ ماشک + ۵۰ جو در سال اول کمترین کاهش واقعی عملکرد را داشت، از طرفی با توجه به مجموع عملکرد خشک که ترکیب ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو به عنوان بهترین تیمار جهت تولید علوفه معرفی گردید، بنابراین به نظر می‌رسد که این تیمار با تراکم بوته مناسب و به واسطه شاخه‌های فرعی بالا در ماشک و تعداد پنجه‌های بارور مطلوب در جو و کم‌بودن ارتفاع بوته باعث شد که کمترین رقابت به‌وجود آید. با توجه به بالابودن تراکم بوته در سهم ۷۵ درصدی ماشک و جو در ترکیب ۷۵٪ ماشک : ۲۵٪ جو و ۷۵٪ جو : ۲۵٪ ماشک، این روند موجب گردید که هر دو گیاه دارای کمترین

کاهش واقعی عملکرد باشند، از طرفی سهم ۲۵ درصدی ماشک و جو به واسطه کم بودن تراکم بوته دارای بیشترین کاهش واقعی عملکرد (اُفت) بود، بنابراین نقش گیاه همراه (جزء ۷۵ درصدی در ترکیب) موجب شد که مواد غذایی بیشتری از محیط آزمایشی (کرت) دریافت نمایند که در نهایت موجب کاهش واقعی عملکرد در کمترین جزء مخلوط (۲۵ درصد) ماشک و جو در ترکیب گردید.

جدول ۸- مقایسه میانگین تیمارهای سه‌گانه سال × ازتوبارور-۱ + سوپرجاذب × کشت مخلوط بر نسبت رقابت ماشک و جو، نسبت رقابت کل، کاهش واقعی عملکرد ماشک و جو و کاهش واقعی عملکرد کل

Table 8- Comparison the average of three treatments per year × Azetobarvar 1 + superabsorbent × intercropping on vetch and barley competition ratio, total competition ratio, real reduction of vetch and barley yield, and real total yield reduction

سال Year	کشت مخلوط Intercropping	کود Fertilizer	نسبت رقابت ماشک CR vetch	نسبت رقابت جو CR Barley	نسبت رقابت مجموع CR Total	کاهش واقعی عملکرد ماشک AYL vetch	کاهش واقعی عملکرد جو AYL Barley	کاهش واقعی عملکرد کل AYL Total
سال اول Year 1	V1	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V2	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V3	F1	0.380 opq	2.633 f	3.013 j	0.743 k	3.597 c	4.430 c
		F2	0.320 qr	3.110 c	3.430 f	0.690 kl	4.293 a	4.990 a
		F3	0.447 o	2.157 h	2.607 m	0.613 lm	2.580 f	3.193 hi
		F4	0.403 op	2.480 g	2.883 k	0.790 k	3.430 d	4.220 cd
	V4	F1	1.140 k	0.880 lm	2.020 o	1.713 g	1.377 j	3.090 hi
		F2	0.963 lm	1.037 jk	2 o	1.553 h	1.650 h	3.203 hi
		F3	1.353 i	0.743 n	2.093 n	1.663 g	0.977 k	2.640 j
		F4	1.210 j	0.827 m	2.037 no	1.847 ef	1.350 j	3.197 hi
	V5	F1	3.453 c	0.297 pqr	3.750 d	3.727 b	0.383 no	4.100 de
		F2	2.853 f	0.347 pq	3.197 h	3.693 b	0.623 l	4.317 c
		F3	4.050 a	0.247 rs	4.297 a	3.833 a	0.193 p	4.027 def
		F4	3.633 b	0.277 qr	3.910 c	3.707 b	0.297 op	4.003 efg
سال دوم Year 2	V1	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V2	F1	-	-	-	-	-	-
		F2	-	-	-	-	-	-
		F3	-	-	-	-	-	-
		F4	-	-	-	-	-	-
	V3	F1	0.307 qr	3.238 b	3.583 e	0.490 no	3.890 b	4.377 c
		F2	0.260 rs	3.830 a	4.090 b	0.410 o	4.400 a	4.807 b
		F3	0.340 pq	2.947 d	3.283 g	0.567 mn	3.623 c	4.190 cde
		F4	0.367 pq	2.730 e	3.093 i	0.577 mn	3.300 e	3.877 fg
	V4	F1	0.917 m	1.097 j	2.007 o	1.507 h	1.740 h	3.247 h
		F2	0.783 n	1.280 i	2.060 no	1.253 i	1.873 g	3.127 hi
		F3	1.017 l	0.983 k	2 o	1.940 e	1.890 g	3.830 g
		F4	1.103 k	0.913 l	2.007 o	1.763 fg	1.513 i	3.277 h
	V5	F1	2.747 g	0.363 op	3.110 i	2.777 c	0.377 no	3.153 hi
		F2	2.353 h	0.430 o	2.773 l	2.520 d	0.497 mn	3.013 i
		F3	3.053 e	0.330 pq	3.380 f	3.750 ab	0.557 lm	4.307 c
		F4	3.303 d	0.303 pqr	3.603 e	3.660 b	0.410 no	4.070 def

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

There is no significant difference between the data with common letters in each column

V1= ۱۰۰ ٪ ماشک، V2= ۱۰۰ ٪ جو، V3= ۲۵٪ جو + ۷۵٪ ماشک، V4= ۵۰٪ جو +۵۰ ٪ ماشک، V5= ۷۵٪ جو + ۲۵٪ ماشک، F1= ازتوبارور ۱، F2= سوپرجاذب، F3= سوپرجاذب +ازتوبارور ۱، F4= شاهد

V1=100% Vetch , V2= 100% Barley , V3= 75% Vetch+25% Barley, V4= 50% Vetch + 50% Barley, V5= 25% Vetch+75% Barley,
F1= Azetobarvar 1, F2= Superabsorbent, F3= Azetobarvar 1+ Superabsorbent, F4=Control

بررسی‌ها نشان داد که شاخص کاهش واقعی عملکرد (AYL) اطلاعات مفید و بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌ها در مورد رقابت درون‌گونه‌ای و برون‌گونه‌ای گیاهان زراعی و رفتار هریک از گونه‌ها در سیستم زراعی مخلوط ارائه می‌دهد و بیانگر عملکرد تولیدی توسط هر گیاه است، این محقق بیان داشت اگر شاخص واقعی عملکرد مثبت و یا منفی باشد، ارزش سودمندی یا عدم سودمندی را در کشت مخلوط بیان می‌کند (Mazaheri, 1998). مطالعه دیگر در کشت مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای و جو نشان داد که شاخص اُفت واقعی عملکرد (AYL) در هیچ یک از ترکیب‌های کشت مخلوط با تراکم‌های مورد بررسی اُفت عملکرد نداشت که بیانگر سودمندی کشت مخلوط به تک‌کشتی بود، این محققان دلیل آن را به استفاده بهینه از منابع موجود با حداقل رقابت بین گونه‌ای و درون‌گونه‌ای نسبت دادند (Ahmadi *et al*., 2010). در همین راستا محققان در کشت مخلوط باقلا با گلرنگ، اُفت عملکرد واقعی کل را در همه نسبت‌های مخلوط بزرگ تر از صفر به‌دست آوردند که نشان می‌دهد الگوهای کشت مخلوط نتیجه مثبتی بر عملکرد نسبت به کشت‌های خالص داشته است (Saeedi *et al*., 2018). بررسی‌ها نشان داد که کود زیستی ازتوبارور-۱ در کشت مخلوط خرفه- بالنگوی شهری موجب گردید که اکثر تیمارهای کشت مخلوط افت واقعی عملکرد نداشته باشند، به عبارت دیگر در بیشتر تیمارها مقادیر افت عملکرد واقعی کل مثبت بود (Rohi Salaran *et al*., 2019).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که افزایش تولید علوفه متأثر از سهم جزء لگوم (ماشک) و عوامل مدیریتی (کود زیستی ازتوبارور-۱ و پلیمر سوپرجاذب) بود، به‌طوری‌که تلفیق نظام زراعی مخلوط با دو عامل مذکور، قادر به بهبود عملکرد کمی و شاخص‌های رقابتی در شرایط آب و هوائی خرم‌آباد شد. از طرفی تلفیق کود زیستی ازتوبارور-۱ و ماده سوپرجاذب (عامل جذب رطوبت) نقش جبرانی مهمی در تعادل کمیت اجزای مخلوط به‌ویژه در شرایط کنونی (دیم) به‌علت کمبود رطوبت داشت که سودمندی کشت مخلوط را نسبت به خالص و بهبود شاخص‌های رقابتی در راستای اهداف کشاورزی پایدار را سبب شد. در این آزمایش کود زیستی ازتوبارور-۱ با کمترین میزان و حجم (۱۰۰ گرم در هکتار) به صورت بذرمال و محلول‌پاشی برای کشاورزان صرفه اقتصادی داشته و می‌تواند جایگزین مناسبی برای کود شیمیایی نیتروژن باشد. با توجه به تیمار ۵۰٪ ماشک + ۵۰٪ جو که در سال دوم بیشترین عملکرد علوفه را دارا بود، به نظر می‌رسد این تیمار می‌تواند برای کشت در مناطقی شبیه با شرایط آب و هوایی خرم‌آباد کشت گردد.

References

Abbasdokht, H., Shafaghi, A. and Gholipoor, M. 2021. Effect of biological and chemical source of nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of maize and fenugreek forage in additive intercropping series. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(1), PP.61-73 [In persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2020.271663.654558**

Aghababa Dastjerdi, M., Amini Dehghi, M., Basakzadeh, Z. and Shafiei Adib, S. 2017. Effect of biofertilizer on yield and quality characteristics of fennel in additive intercropping with prennial alfalfa. *Plant Production Technology*, *17*(1), PP.125-140 [In persian]. **doi10.22084/ppt.2017.2208**

Ahmadi, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R. and Janmohammadi, H. 2010. Evaluation of yield and usefulness indices in intercropping of barley and vetch. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *2*(20), PP.77-87 [In persian].

Alizadeh, A. 2014. Principles of Applied Hydrology. Seventh Edition. Thirty-seventh edition. *Imam Reza University Press*, Mashhad, 942 P [In persian].

Amani Machiani, M. A., Javanmard, A., Morshedloo, M. R. and Maggi, F. 2018. Evaluation of yield, essential oil

content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, *171*, PP.529-537. **doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.062**

Asadi, G. and Khoramdel, S. 2014. Effect of barley mixed cultivars with cluster vetch on population and weed diversity and yield. *Journal of Crop Production*, *7*(1), PP.131-156 [In persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1393.7.1.8.1**

Asghari Maidani, J. and Karimi, A. 2014. The effect of seed mixing ratios in intercropping of forage and barley vetch on their yield in rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Research*, *12*(4), PP.677-682 [In persian]. **doi: 10.22067/gsc.v12i4.21334**

Bahrami, S., and Visani, V. 2018. Investigation of forage characteristics of mixed barley (*Hordeum vulgare* L.) with kelp (*Lathyrus sativus* L.), fodder chickpea (*Pisum avestum* L.) vetch (*Vicia villosa* L.) and Hungarian vetch (*Vicia panoinica* L.) under the influence of planting density in rainfed conditions. *Journal of Agricultural Ecology*, *10*(3), PP.665-678 [In persian]. **doi:10.22067/jag.v10i3.37021**

Baishya, A. and Sharma, G. L. 1990. Energy budgeting of rice-wheat cropping systems. *Indian Journal Agronomy*, *35*(12), PP.167-177.

Contreras Paco J. L., Ramírez Rivera H., Tunque Quispe M., Aroni Quintanilla Y. R. and Curasma Ccente J. 2020. **P**roductive and nutritional aspects of forages oats and barley alone and consociated to vetch in high Andean conditions. *MOJ Food Processing and Technology*, *8*(2), PP.56-65. **doi: 10.15406/mojfpt.2020.08.00243**

Danazadeh, D., Daneshvar, M. H. and Yari, F. 2014. The effect of nitrogen fertilizer application on some vegetative traits and nutrient uptake in marigold (*Calendula officinalis*). *The Second National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources*, PP.1-7 [In persian].

Daraei Mofrad, A .2007 .Evaluation of mixed and single barley cultivation with coarse leaf (Broad leaf) vetch in weed interference and control conditions in Khorramabad. *Master Thesis in Agriculture. Faculty of Agriculture, Lorestan University*, 227 P [In persian].

Dordas, C. A., Lithourgidis, A. S. and Galanopoulou, K. 2019. Intercropping of faba bean with barley at various spatial arrangements affects dry matter and N yield, nitrogen nutrition index, and interspecific competition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *47*(4), PP.1116-1127. **doi:10.15835/nbha47411520**

Duchene, O., Vian, J. F. and Celette, F. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *240*, PP.148-161. **doi: 10.1016/j.agee.2017.02.019**

Fallahian, Y., Purusef-Miandoab, M. and Hassanzadeh-Ghort-Tappeh, A. 2017. Investigation of the effect of superabsorbent on some agronomic characteristics of flax and lentils in intercropping under dryland conditions. National *Conference on Dryland Medicinal Plants of Iran*. 4 p [In persian].

Frasier, I., Noellemeyer, E., Amiotti, N. and Quiroga, A. 2017. Vetch-rye biculture is a sustainable alternative for enhanced nitrogen availability and low leaching losses in a no-till cover crop system. *Field Crops Research*, *214*, PP.104-112. **doi**: **10.1016/j.fcr.2017.08.016**

Gaungwei, D., Xiaobing, L., Stephan. H., Jeffrey, N., Dual, A. and Baoshan, X. 2006. The effect of cover crop

management on soil organic matter. *Geoderma*, *130*(3-4), PP.229-239. **doi :10.1016/j.geoderma.2005.01.019**

Gunes, A., Kitir, N., Turan, M., Elkoca, E., Yildirim, E. and Avci, N. 2016. Evaluation of effects of water-saving superabsorbent polymer on corn (*Zea mays* L.) yield and phosphorus fertilizer efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *40*(3), PP.365-378. **doi :10.3906/tar-1511-126.**

Habibi, S. D., Kashani, A., Paknejad, F., Jafari, H., Jami Al-Ahmadi, M., Tookalloo, M. R. and Lamei, J. 2010. Evaluation of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) in pure and mixed cropping with barley (*Hordeum vulgare* L.) to determine the best combination of legume and cereal for forage production. *American Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *5*, PP.169-176. **doi: 10.3844/ajabssp.2010.169.176**

Ibrahim, A. T. I. S. and Acikalin, S. 2020. Yield, quality and competition properties of grass pea and wheat grown as pure and binary mixture in different plant densities. *Turkish Journal of Field Crops*, *25*(1), PP.18-25. **doi: 10.17557/tjfc.737476**

Javanmard, A., Machiani, M. A., Lithourgidis, A., Morshedloo, M. R. and Ostadi, A. 2020. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, 100003. **doi: 10.1016/j.clet.2020.100003.**

Javanmard, A., Shekari, F. and Deganian, H. 2014. Evaluation of forage yield and competition indices for intercropped barley and legumes. *Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, *8*(2), PP.193-196. **doi: 10.5281/zenodo.1108434**

Jensen, E. S., Carlsson, G. and Hauggaard-Nielsen, H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, *40*(1), PP.1-9. doi:10.1007/s13593-020-0607-x

Khodadadi Dehkordi, D. 2016. The effects of superabsorbent polymers on soils and plants. *Pertanika Journal Tropical Agriculture Science*, *39*(3), PP.267–298.

Kordi, S., Shafagh Kolvanagh, J., Zehtab Salmasi, S. and Daneshvar, M. 2017. Evaluation of yield quantity and quality of forage corn and sweet basil affected by biological, chemical and integrated nitrogen fertilizers in intercropping. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *27*(3), pp.138-152 [In persian].

Kouchaki, A., Nasiri Mahallati, M., Deihimfard, R., Mirzaei Talarposhti, R. and Khairkhah, M. 2014. Evaluation of competition and efficiency of corn-bean intercropping system using some competitive indicators. *Iranian Journal of Crop Research*, *12*(4), PP.535-542 [In persian]. **doi: 10.22067/gsc.V12I4.45134**

Lamei Harvani, J. and Alizadeh Dizaj, K. h. 2012. Selection of the most suitable date for cultivation of clustered vetch with barley and triticale in dryland conditions of Zanjan. *Iranian Journal of Rainfed Agricultural Sciences*, *1*(1), PP.17-39 [In persian]. **doi.:10.22092/idaj.2012.100094**

Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Boom, T. V. D., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E. and Witzenberger, A. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, *119*(3), PP.561-601.

Latifinia, A., Akbari, N., Nazarian Firoozabadi, F. and Heydari, S. 2017. Investigation of the effect of culture lines, nitroxin biofertilizer and superabsorbents on yield and yield components of broad leaf vetch. *Iranian Journal*

of Crop Research, *15* (3), PP.648-639 [In persian]. **doi 10.22067/gsc.v15I3.52235**

Lithourgidis AS, Vlachostergios D. N, Dordas C. A. and Damalas C. A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, *34*(4), PP.287-294. **doi: 10.1016/j.eja.2011.02.007**

Martin-Guay, M. O., Paquette, A., Dupras, J. and Rivest, D. 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*, *615*, PP.67-772. **doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.024.**

Mashhadi, T., Nakhzari-Moghaddam, A. and Sabory, H. 2015. Evaluation of competition indicators in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under the influence of nitrogen. *Journal of Agricultural Ecology*, *7*(3), PP.344-355. (In Persian).

Mazaheri, D. 1998. Mixed Agriculture. Institute of Publishing and Printing, *University of Tehran*, 258 P [In persian].

Mohammadpour, Q., Ghobadi, M.A., Mohammadi, G.R. and Ghobadi, M. 2017. Investigation of the effect of different amounts of nitrogen and azetobarvar on the growth and yield of chickpea (*Cicer arientinum*). *Journal of Agricultural Ecology*, *9*(1), PP.129-141 [In persian]. **doi:10.22067/jag. v 9i1. 49337**

Nakhzari Moghaddam, A. 2016. Effect of nitrogen and different intercropping arrangement of barley (*Hordeum vulgare* L.) and Pea (*Pisum sativum*)) on Forage Yield and Competitive indices. *Journal of Agricultural Ecology*, *8*(1), PP.47-58 [In persian]. doi: 10.22067/JAG.V8I1.12534.

Neumann, A., Werner, J. and Rauber, R. 2009. Evaluation of yield-density relationships and optimization of intercroping compositions of field-grown pea-oat intercrops using the replacement series and the response surface design. *Field Crops Research*, *114*, PP.286-294. **doi: 10.1016/j.fcr.2009.08.013**

Norozi, M. and Kazemini, S. A. 2012. Effect of low irrigation and plant density on safflower seed growth and yield. *Iranian Journal of Crop Research*, *10*(4), PP.781-788 [In persian]. **doi: 10.22067/gsc.v10i4.20388.**

Rakeih, N., Kayyal, H., Larbi, A. and Habib, N. 2008. Forage potential of triticale in mixtures with forage legumes in rainfed regions (Second and third stability zones) in Syria. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies Biological Science Series*, *30*(5), PP.203-217.

Rezaei Chianeh, A., Pirzad, A. and Farjami, A. 2014. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supply bacteria on seed yield and cumin essential oil (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *24*(4), PP.71-83 [In persian].

Rohi Salaran, A., Shafaq Kalvanagh, J., Dabagh Mohammadi Nasab, A. and Saeedi, M. 2019. Effect of Biofertilizers and Mulching on Growth, Yield and Omega-3 fatty acid of Purslane (Portulaca oleracea L.) Intercropped with Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fischer and C.A. Meyer). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *29*(2), PP.283-268 [In persian].

Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J. and Covarrubias, A. A. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, *56*, PP.24-34. **doi:**

10.1016/j.plaphy.2012.04.007.

Saeedi, M., Rai, Y., Amini, R., Pasbana Eslam. B. and Rohi Saralan, A. 2019. Effect of nitrogen and phosphorus biochemical and chemical fertilizers on growth, yield and percentage of safflower fatty acids in mixed bean cultivation. *Journal of Agricultural Crops Production*, *20*(4), PP.769-784 [In persian].

Salama, H. S. A., El-Karamity, D. E. S. and Nawar, A. L. 2016. Additive intercropping of wheat, barley, and faba bean with sugar beet: Impact on yield, quality and land use efficiency. *Egypt Journal Agron*omy, *38*(3), PP.413-430.

Shakorzadeh, A., Alizadeh, K. h., Pouryousef, M. and Ghaffari, A. 2012. Investigation of the effect of density and mixing ratios on the quantitative and qualitative yield of forage in barley-vetch mixed cultivation in rainfed conditions. *Iranian Journal of Rainfed Agricultural Sciences*, *1*(1), PP.63-74 [In persian]. **doi: 10.22092/idaj.2012.100098**

Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian-Mashhadi, R. and Peyghambari, S. A. 2008. Effect of planting date and intercropping maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *10*(1), PP.31-46 [In persian].

Wang, X., Yang, Y., Zhao, J., Nie, J., Zang, H., Zeng, Z. and Olesen, J. E. 2020. Yield benefits from replacing chemical fertilizers with manure under water deficient conditions of the winter wheat–summer maize system in the north china plain. *European Journal of Agronomy*, *119*, P. 126118. **doi: 10.1016/j.eja.2020.126118.**

Weber, E. and Bleiholder, H. 1990. Explanations of the BBCH decimal codes for the growth stages of maize, rape, faba beans, sunflowers and peas-with illustrations. *Gesunde Pflanzen*, *42*(9), PP.308-321.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 465-485

Evaluation of forage yield and competitive indices of vetch and barley intercropping under the influence of Azetobarvar-1 biofertilizer and superabsorbent

Norollah Toolabi[1], Issa Khammari[2*], Alireza Sirosmehr[2], Mashallah Daneshvar[3], Mohammad Galavi[2], Mehdi Dahmardeh[2]

[1] Ph.D Graduate in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
[*]Corresponding Author: Ikhammari@uoz.ac.ir

Received: 17 November 2021 Accepted: 30 December 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.315524.1157**

Abstract

Introduction: Due to the expansion of monoculture systems and the indiscriminate application of chemical fertilizers for mass production, this process reduces biodiversity and environmental pollution. On the other hand, due to the important role of vetch and barley in feeding livestock and the lack of fodder due to the monoculture system in the rainfed areas, the yield of fodder has decreased due to the lack of moisture and the inactivity of soil microorganisms. Therefore, the present research was conducted to investigating the application of biofertilizer Azotobarvar-1 and superabsorbent material in mixed cultivation of vetch and barley as a strategy to increase fodder yield.

Materials and Methods: This experiment was conducted in order to investigate the yield of dry fodder and the competitive indicators of vetch and barley mixed crop in rainfed conditions under the influence of Azotobarvar-1 fertilizer and superabsorbent material during the cropping years of 2016-2017 and 2017-2018 in the research farm of the Faculty of Agriculture of Lorestan University. It was carried out factorial based on randomized complete block design with three replications. The first factor, mixed cultivation in 5 levels including: V1= 100% vetch, V2= 100% barley, V3= 75% vetch + 25% barley, V4= 50% vetch + 50% barley and V5= 25% vetch + 75% barley by replacement method and the second factor of coexistence of Azotobarvar-1 and superabsorbent material at 4 levels including: F1= Azotobarvar-1, F2= Superabsorbent, F3= Azotobarvar-1 + Superabsorbent and F4= control treatments. In order to farm preparing, first plowing was done with a reversible plow in the fall, then two vertical discs were placed on the ground to level and prepare the seed bed. Cultivation lines were created by plowing in the experimental field. Each plot was 4 meters long and 1.5 meters wide. Each plot has 6 planting lines with 25cm and 1m for row to row and plot to plot respectively. Distance between blocks was 3m. Azotobarvar-1 biofertilizer (seeded and foliar application) was applied by 100g.ha^{-1} and superabsorbent substance at the rate of 200g.ha^{-1}.

Results and Discussion: The results showed that in mixed cultivation, the highest total dry fodder yield was 3799 kg.ha^{-1} from the combination of 50% vetch + 50% barley, the highest ratio of total land equality (2.913), the highest total relative yield (1.457) and the highest relative coefficient of total density (7.577) from the combination of 50% vetch + 50% barley × Azotobarvar-1 material + superabsorbent was observed in the second year. On the other hand, in the first year, the highest ratio of total competition (4.297) was founded in combination of 25% vetch + 75% barley × Azotobarvar-1 + superabsorbent treatment and the greatest actual decrease total yield (4.990) was recorded in 75% vetch + 25% barley × The superabsorbent treatment.

Conclusion: In this experiment, the increase in fodder production was affected by the contribution of the leguminous component (vetch) and management factors (biofertilizer Azotobarvar-1 and superabsorbent material) in mixed cultivation, so that the combination of the mixed cropping system with the two mentioned factors can able to improve the forage yield. Quantitative and competitive indicators were stabilized in line with agricultural goals. On the other hand, Azotobarvar -1 biofertilizer with the lowest amount and volume (100 gr.ha^{-1}) and the lowest cost for farmers is

economical and can be a suitable alternative to nitrogen chemical fertilizer and the application of superabsorbent material can be applied in drylands to storage of rainwater be useful.

Keywords: Land Eqivalent Ratio, Production stability, Relative Crowding Coefficient, Replacement, Symbiosis

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۸۷-۵۰۰

مقاله پژوهشی

تأثیر تنش خشکی و کود شیمیایی نیتروژن بر ویژگی‌های ریشه و عملکرد در سه رقم کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild)

زینب زمانی[۱]، احسان زیدعلی[۲*]، حمزه‌علی علیزاده[۳]، امین فتحی[۴]

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

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

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

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

* مسئول مکاتبه: e.zeidali@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۷/۱۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.353966.1261**

چکیده

مدیریت آبیاری و تغذیه به ویژه نیتروژن برای به حداکثر رساندن بهره‌وری نهاده‌ها در زراعت کینوا ضروری می‌باشد. به همین منظور آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه‌ای واقع در چرداول از توابع استان ایلام اجرا شد. این آزمایش در سه تکرار به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. رژیم آبیاری با سطوح ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی به‌عنوان عامل اصلی، ارقام کینوا TITICACA، Q29 و GIZA1 و کود نیتروژن با سطوح عدم مصرف، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۱۰/۱ گرم مشاهده شد که نسبت به تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ارقام TITICACA و Q29 به ترتیب ۳۸/۹ و ۵۰/۷ درصد افزایش نشان داد. رقم GIAZ1 در شرایط حداکثر کاربرد نیتروژن عملکرد بیشتری نسبت به سایر ارقام داشت. در تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، میزان عملکرد دانه در رقم GIZA1 نسبت به Q29 و TITICACA به ترتیب۳۲/۷ و ۴۹/۱ درصد افزایش نشان داد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که اعمال شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و استفاده از رقم GIAZ1 در زراعت کینوا در منطقه ایلام مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شاخص برداشت، طول ریشه، عملکرد بیولوژیک، وزن خشک ریشه

مقدمه

رشد جمعیت جهان روز به روز در حال افزایش بوده و این در حالی است که امکان گسترش و توسعه اراضی زراعی به دلیل محدودیت منابع آب بسیار اندک است؛ بنابراین یکی از اهداف مهم برای هماهنگی با افزایش جمعیت جهان، افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی است که به عنوان گیاهی نسبتاً جدید، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. این گیاه به دلیل خواص دارویی و سهولت در کشت و صنعت آن برای تغذیه انسان و دام اهمیت دارد (Baldermann *et al.*, 2016; Fathi and Kardoni, 2020). با توجه به ضرورت و ارزش غذایی کینوا، سازمان ملل سال ۲۰۱۳ را سال بین‌المللی کینوا نام‌گذاری کرده است. طی سال‌های اخیر تقاضا برای کاشت و مصرف کینوا به‌طور قابل توجه در جهان افزایش یافته است (Fathi and Kardoni, 2020).

تنش خشکی از عوامل مهم در کاهش عملکرد گیاهان زراعی است که بسیاری از ویژگی‌های مرفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو گیاه را مختل می‌کند (Ezati *et al.*, 2019). تنش آبی در گیاه منجر به بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تعرق و انتقال آب از طریق گیاه می‌شود که به دنبال آن میزان جذب مواد مغذی را کاهش می‌دهد (Fathi *et al.*, 2022). عملکرد کینوا با تنش خشکی محدود می‌شود، به همین دلیل اختلاف قابل توجهی بین عملکرد بالقوه و عملکرد واقعی کینوا در زمان بروز تنش خشکی مشاهده می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2021). تنش خشکی اثر معناداری بر روی عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گیاه کینوا دارد؛ به‌طوری‌که

ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی، محتوای کلروفیل و نیتروژن برگ و در نهایت عملکرد کمی و کیفی را کاهش می‌دهد (Yang *et al*., 2016; Naz *et al*., 2020). البته کینوا یک سیستم ریشه توسعه یافته با نفوذپذیری بالا دارد که می‌تواند تا حدی سبب افزایش مقاومت کینوا در برابر تنش خشکی شود (Jacobsen *et al*., 2009). محققان اظهار داشتند که تنش خشکی سبب کاهش قابل توجه در صفات رشدی کینوا از جمله وزن تر و خشک و رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید، اما سبب افزایش در پارامترهای رشد ریشه شامل طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه شد (Elewa *et al*., 2017).

مدیریت کود به‌ویژه کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی نقش مهمی در بهبود رشد و نمو کینوا دارد (Taheri *et al*., 2021). نیتروژن نقش کلیدی در رشد و نمو و در نهایت عملکرد اقتصادی گیاهان ایفا می‌کند، بنابراین کمبود نیتروژن یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید در گیاهان زراعی به شمار می‌رود (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023a). عدم تعادل بین تأمین آب و کود نیتروژن باعث کاهش بهره‌وری عملکرد در گیاهان زراعی می‌شود (Taheri *et al*., 2021). وضعیت نیتروژن بهینه در گیاه می‌تواند اثرات تنش خشکی را با افزایش تنظیم اسمزی و جلوگیری از آسیب غشای سلولی کاهش دهد (Saravia *et al*., 2016). نیتروژن بواسطهٔ افزایش غلظت مواد مغذی در ساقه و برگ‌های گیاه، اثر نامطلوب خشکی بر ماده خشک و عملکرد دانه را به حداقل می‌رساند (Ashraf *et al*., 2001). در تحقیقی مشخص گردید که با افزایش کاربرد سطوح کود شیمیایی نیتروژن از ۸۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد کینوا به‌طور متوسط ۱۲ درصد افزایش داشت (Shams, 2012). بررسی اثرات تنش خشکی و نیتروژن از مهم‌ترین موضوعاتی است که معمولاً پژوهش‌گران در بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان زراعی جدید در نظر می‌گیرند (Taheri *et al*., 2021). شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد رضایت‌بخش تحت کوددهی کم نیتروژن یکی از سخت‌ترین چالش‌ها برای اصلاح‌کنندگان است. پژوهش‌گران برای شناسایی این ژنوتیپ‌ها به داده‌های بیشتری در مورد برهم‌کنش بین صفات گیاهی با عوامل خارجی، به ویژه اطلاعات در مورد صفات کلیدی که منجر به سازگاری بهتر گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی می‌شوند، نیاز دارند (Olesen *et al*., 2011; Piao *et al*., 2010). محققان با بررسی خصوصیات ریشه ۳۰ ژنوتیپ کینوا تحت تنش خشکی گزارش کردند شاخص‌های تحمل به خشکی تنوع زیادی را در همه ژنوتیپ‌های کینوا نشان داد. آن‌ها هم‌چنین اظهار داشتند که تجزیه و تحلیل روابط متقابل بین طول ریشه، قطر ریشه، سطح ریشه، تحمل به خشکی و منشاء جغرافیایی ژنوتیپ‌ها، دستورالعمل‌های جالبی را برای کشف مکانیسم‌های سازگاری ریشه‌های کینوا به تنش خشکی نشان داد (Nguyen *et al*., 2021).

کینوا گیاهی است که کشت آن در شرایط فقر منابع، مقرون به صرفه است (Taheri *et al*., 2021; Saddiq *et al*., 2021). علی‌رغم مطالعات انجام شده در مورد واکنش کینوا به تنش خشکی، مطالعه گسترده‌ای در مورد اثرات تنش خشکی و میزان نیتروژن برای ارقام کینوا در ایران انجام نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات مقادیر کود نیتروژن و رژیم‌های آبیاری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و ظرفیت بالقوه عملکرد سه رقم کینوا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه‌ای واقع در پنج کیلومتری شهرستان چرداول در استان ایلام در بهار و تابستان سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به انجام رسید. محل اجرای آزمایش با ارتفاع حدود ۹۷۰ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شرقی بود. برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زمین، قبل از اجرای تیمارها از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری شد (جدول ۱). این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح رژیم آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ بر اساس درصد نیاز آبی به عنوان عامل اصلی و ارقام کینوا در سه سطح شامل TITICACA و Q29 و GIZA1 و کود شیمیایی نیتروژن از منبع اوره در سه سطح بدون مصرف کود نیتروژن (شاهد)، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت فاکتوریل به عنوان عامل فرعی بودند.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

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

بافت خاک Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل N	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH
	(%)	(%)	(%)	(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})	(%)	(%)	m^{-1}) (dS	
لومی رسی Clay loam	42	30	28	700	18.4	0.12	1.23	0.65	7.6

کاشت در دوم فروردین سال ۱۴۰۰ انجام شد. مقدار خالص نیتروژن بر اساس تیمارهای کود نیتروژن ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برابر ۴۶ و ۹۲ کیلوگرم بود. با توجه به نتایج آزمایش خاک، خاک از نظر عناصر فسفر و پتاسیم دچار فقر نبود و لذا فقط از کود اوره استفاده شد. در تیمارهای حاوی کود، نیتروژن در طی دو مرحله بصورت ۵۰ درصد قبل از کاشت و ۵۰ درصد بصورت سرک در مرحله غنچه‌دهی (در ۱۷ اردیبهشت‌ماه) استفاده شد. فاصله بین دو ردیف و بین بوته روی ردیف در کشت کینوا به ترتیب ۵۰ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. طول هر کرت آزمایشی پنج متر و عرض آن چهار متر بود. هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت بود. مقدار آب آبیاری در هر دور آبیاری با استفاده از روش رطوبت وزنی محاسبه گردید. برای این منظور رطوبت وزنی خاک به‌صورت روزانه و مرتب اندازه‌گیری شده و زمانی‌که رطوبت خاک به حد رطوبت آبیاری رسید آبیاری انجام شد. مقدار آب آبیاری در هر آبیاری از معادله زیر محاسبه شد (Martin *et al*., 1990).

$$In = (\theta_{FC} - \theta_i) \times \rho_b \times D_r \qquad (۱)$$

In: عمق خالص آب آبیاری (cm)، θ_i و θ_{fc}: به ترتیب درصد وزنی رطوبت در قبل از آبیاری و ظرفیت زراعی، ρb: وزن مخصوص ظاهری (gr cm^{-3}) و Dr: عمق توسعه ریشه (cm)می‌باشد.

برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیک (رطوبت دانه زمان برداشت ۲۰-۱۵ درصد بود) دانه‌ها با حذف ردیف‌های کناری یک متر مربع از قسمت میانی هر کرت برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی ریشه از هر کرت تعداد ده بوته انتخاب شدند، سپس پروفیل خاک ایجاد و با دقت زیاد تمام ریشه از خاک جدا و مقداری از خاک و گل باقی‌مانده بر سطوح ریشه با فشار آب از ریشه جدا گردید. پس از این عملیات ریشه‌های جانبی با دقت زیاد به صورت دستی شمارش گردید. برای محاسبه وزن خشک ریشه ابتدا ریشه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و نمونه‌ها داخل آون به مدت ۴۸ ساعت و درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا وزن خشک ریشه برحسب گرم اندازه‌گیری شود. طول ریشه از محل طوقه تا انتهای ریشه با خط‌کش محاسبه گردید. برای محاسبه ارتفاع بوته از سطح خاک تا نوک گل‌آذین در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با خط‌کش نواری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه، با جداکردن دلنه‌های ده بوته، پس از توزین، میانگین هزار دلنه آن ثبت شد. عملکرد بیولوژیک پس از کف‌بر کردن بوته‌ها از سطح خاک، بوته‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و در درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند؛ سپس وزن آن بر اساس کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. برای لندازه‌گیری درصد شاخص برداشت عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک تقسیم و سپس در ۱۰۰ ضرب شد. جهت محاسبات آماری در این مطالعه از نرم‌افزارهای SAS 9.3 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر وزن خشک و تر ریشه گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۱۰/۱ گرم مشاهده شد که نسبت به ۶۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ارقام TITICACA و Q29 به ترتیب ۳۸/۹ و ۵۰/۷ درصد افزایش نشان داد. بیشترین وزن تر ریشه نیز در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم‌های GIZA1 و TITICACA به ترتیب به میزان ۲۱/۳۳ و ۲۰/۰۷

گرم بدست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد کمترین وزن تر ریشه در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و عدم مصرف کود اوره در رقم TITICACA به میزان ۱/۸۳ گرم بدست آمد. به طورکلی نتایج نشان داد وزن تر ریشه با افزایش مصرف کود اوره در تیمار ۸۰ و ۱۰۰ نیاز آبی در ارقام کینوا نسبت به حالت عدم مصرف کود اوره افزایش داشت. به نظر می‌رسد آبیاری به همراه مصرف کود اوره نقش اساسی برای افزایش وزن تر ریشه کینوا دارد که در این تحقیق به وضوح مشاهده شد. در همین راستا محققان اظهار داشتند تنش خشکی تا حدی جذب مواد مغذی توسط ریشه را کاهش می‌دهد، زیرا کاهش رطوبت خاک منجر به کاهش سرعت انتشار مواد غذایی از ماتریکس خاک به سطح جذب کننده ریشه می‌شود (Waraich *et al*., 2011; Ghadirnezhad Shiade *et al*., 2023b). برهمین اساس پژوهش‌گران گزارش کردند واکنش ریشه به تنش خشکی ممکن است بر اساس عملکرد ریشه، گونه‌های گیاهی و شدت تنش خشکی متفاوت باشد (Yang *et al*., 2020).

هم‌چنین در شرایط مصرف ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در تمام تیمارهای آبیاری رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر کینوا وزن خشک ریشه بیشتری داشت در همه تیمارهای آبیاری با افزایش کود اوره وزن خشک ریشه در ارقام کینوا افزایش یافت (جدول ۳). هم‌چنین نتایج نشان داد که در شرایط یکسان در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در رقم GIZA1 بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود اوره اختلاف ۲۰ درصدی در وزن خشک ریشه به نفع تیمار ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. به نظر می‌رسد که این اختلاف ناشی از مصرف بیشتر کود نیتروژن و اثربخشی آن در تجمع بیشتر ماده خشک در ریشه‌ها بوده است. محققان در گزارشی بیان کردند کاهش مقدار آب آبیاری سبب کاهش وزن خشک ریشه کینوا شده است (Jamali *et al*., 2020) که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. در تحقیقی دیگر، پژوهش‌گران کاهش وزن تر و خشک ریشه گیاه کینوا تحت اثر تنش خشکی را گزارش کردند (Hosseini *et al*., 2021). توسعه ریشه‌های گیاه علاوه بر اینکه یک صفت ژنتیکی می‌باشد، به وضعیت محیطی که در آن رشد می‌کند نیز وابسته است. از این‌رو، تنش خشکی، با اختلال در جذب آب و مواد غذایی در گیاه باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه می‌گردد. گزارشات نشان می‌دهند که تنش خشکی با کاهش رطوبت قابل دسترس خاک، سبب کاهش چشم‌گیر در وزن ریشه گیاه می‌شود (Karandish *et al*., 2013; Li *et al*., 2011).

تعداد ریشه جانبی

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر تعداد ریشه‌های جانبی گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد ریشه جانبی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به تعداد ۱۲ ریشه مشاهده شد و کمترین تعداد ریشه جانبی نیز در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و بدون مصرف کود اوره در رقم TITICACA به تعداد سه ریشه بدست آمد. در همه تیمارهای آبیاری با کاربرد کود نیتروژن، تعداد ریشه جانبی در ارقام کینوا نسبت به عدم مصرف کود اوره افزایش یافت (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی رشد ریشه‌های جانبی ارقام کینوا واکنش متفاوتی نشان دادند که می‌تواند به پتانسیل ژنتیکی آن‌ها مرتبط دانست. تحت تنش خشکی و بدون مصرف کود اوره رقم GIZA1 با ۵/۳۳ ریشه در بوته، بهتر از دو رقم TITICACA و Q29 (به ترتیب با ۴/۳۳ و ۳ ریشه در بوته) ریشه‌های جانبی خود را گسترش داد. با این وجود، در هر سه رقم، تعداد ریشه‌های جانبی در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی، نسبت به سطوح مشابه کودی در تیمارهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بطور معنی‌داری کمتر بود. دلیل کاهش تعداد ریشه‌های جانبی را در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی، می‌توان به کاهش شدید جذب آب در سطوح تنش خشکی و کاهش انتقال مواد غذایی مورد نیاز برای رشد ریشه نسبت داد (Mensah *et al*., 2006). تنش خشکی منجر به کاهش تقسیم و گسترش یاخته‌ای می‌شود و همین مسئله موجب کاهش ریشه‌های جانبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Kabiri *et al*., 2012).

طول ریشه

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه گانه تیمارها بر طول ریشه در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین طول ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۳۲/۵ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین طول ریشه نیز در تیمار

۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم TITICACA به میزان ۸/۹۷ سانتی‌متر بدست آمد. در تیمارهای ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی استفاده از کود نیتروژن نسبت به عدم کاربرد کود نیتروژن طول ریشه در ارقام افزایش یافت. با مصرف ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در هر آبیاری ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر کینوا طول ریشه بیشتری داشت (جدول ۳). تحقیقات نشان داده‌اند که تنش خشکی، باعث کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کاهش رشد گیاه، می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش تنش خشکی فتوسنتز جاری کاهش و احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان افزایش می‌یابد و به دنبال آن رشد ریشه به طور اجتناب‌ناپذیری متوقف شده و یا کند می‌گردد (Vurayai *et al*., 2011). در این پژوهش تنش کم‌آبی منجر به کاهش طول ریشه در کینوا شد که با نتایج دیگر محققان (Hosseini *et al*., 2021; Farooq *et al*., 2017) مطابقت دارد. در شرایط تنش خشکی سیتوکنین کاهش پیدا می‌کند، با کاهش سنتز سیتوکنین رشد قسمت هوایی کند شده و در نتیجه تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه کاهش می‌یابد، درنهایت این امر منجر به کاهش رشد ریشه می‌شود (Shubhra *et al*., 2004).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر ارتفاع بوته گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). بررسی مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1به میزان ۱۰۹ سانتی‌متر مشاهده شد و کمترین ارتفاع بوته در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم Q29 به میزان۵۰ سانتی‌متر بدست آمد. در تیمارهای آبیاری با افزایش کود نیتروژن، ارتفاع بوته در ارقام کینوا افزایش یافت. هم‌چنین در همه تیمارهای آبیاری، میزان ارتفاع بوته در رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد رقم GIZA1در شرایط تنش خشکی پتانسیل ژنتیکی خوبی برای مقاومت به تنش خشکی داشته و می‌تواند با ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره اثرات منفی تنش را کاهش دهد. خشکی منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود، زیرا تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها در اثر کاهش فشار اسمزی درون سلول کاهش می‌یابد. از طرفی کاهش ارتفاع گیاه به موازات افزایش تنش خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز به‌واسطه وقوع تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت انتقال به لندام‌های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم دست‌یابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع نسبت داد (Farooq *et al*., 2017; Mohammadi *et al*., 2021). محققان گزارش کردند که اعمال تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه کینوا شد. با این‌حال، افزایش ارتفاع با افزایش سطح نیتروژن عمدتاً به دلیل نقش نیتروژن در تحریک فعالیت‌های متابولیکی بود (Taheri *et al*., 2021) که نتایج این مطالعه با نتایج آن‌ها مطابقت داشت. به نظر می‌رسد اختلال در فتوسنتز به دلیل تنش خشکی و کاهش فتوسنتز برای ارگان‌های در حال رشد گیاه باشد. در نهایت این گیاه از نظر ارتفاع به پتانسیل ژنتیکی نمی‌رسد. پژوهش‌گران در گزارشی بیان کردند بیشترین ارتفاع بوته کینوا با ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بدست آمد (Azarpour *et al*., 2014) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده آبیاری در سطح یک درصد و اثر رقم در سطح پنج درصد بر وزن هزاردانه گیاه کینوا معنادار شد. هم‌چنین اثر برهم‌کنش آبیاری × رقم در سطح پنج درصد بر وزن هزار دانه معنادار شد و سایر اثرات تفاوت معناداری بر وزن هزار دانه کینوا نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری و رقم نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در رقم GIZA1 به‌ترتیب به میزان ۲/۹۳ و ۲/۹۱ گرم مشاهده شد و کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه در هر سه رقم بدست آمد. وزن هزار دانه در ارقام Q29 و TITICACA در همه تیمارهای آبیاری یکسان بود (شکل ۱). اثر تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه‌ها بسیار برجسته است؛ زیرا عملکرد گیاه وابستگی زیادی به وزن هر دانه داشته و افزایش وزن دانه نیازمند تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها می‌باشد. تنش کم‌آبی بر حسب زمان، طول و شدت دوره تنش می‌تواند عملکرد دانه را کاهش دهد (Farooq *et al*., 2017;

Fathi *et al*., 2022). بنابراین تنش رطوبتی به ویژه در مرحله گرده‌افشانی انتقال مواد غذایی از برگ به دانه را کاهش می‌دهد و به همین دلیل رسیدگی دانه سریع‌تر، دانه‌ها چروکیده و وزن هزار دانه آن‌ها کم می‌شود.

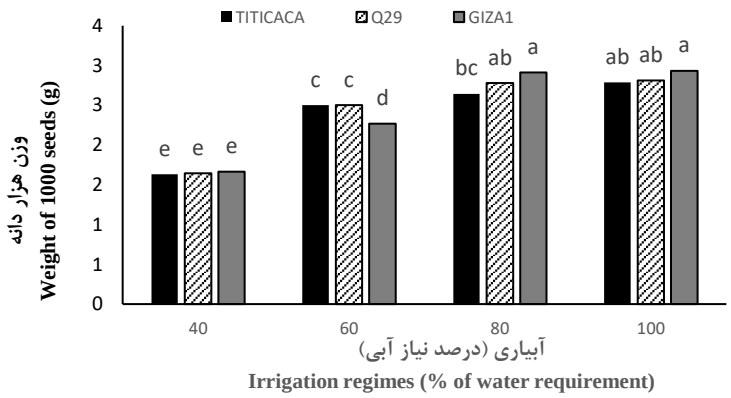
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری، کود نیتروژن و ارقام بر خصوصیات ریشه و عملکرد کینوا

Table 2- Analysis of variance of irrigation effect, nitrogen fertilizer and cultivars on root characteristics and yield of quinoa

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	M.S								
		وزن تر ریشه Root wet weight	وزن خشک ریشه Dry weight of roots	طول ریشه Root length	تعدادریشه‌های جانبی Number of lateral roots	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار R	2	0.13 ns	0.01 ns	0.04 ns	2.4**	2.29 ns	0.18 *	3.21 ns	4803.7 ns	133803.7 ns
آبیاری Irrigation (I)	3	374.04 **	74.32**	417.11**	58.73**	7927.65 **	8.16 **	41.00 **	13546528.4**	401127302.4**
خطای الف Error a	6	0.59	0.08	0.33	0.16	2.81	0.02	0.74	3065.43	230272.8
کود نیتروژن Nitrogen (N)	2	1009.15 **	249.32**	152.11 **	37.73**	3735.15 **	0.12 ns	201.43**	2579381.48**	236089559. **
رقم Cultivars (C)	2	46.23 **	20.20**	91.05 **	17.9**	330.81**	0.10*	68.45**	205692.59**	32479848.1**
آبیاری× نیتروژن I*N	6	53.98 **	9.14**	8.22 **	1.94 **	426.62**	0.04 ns	25.24**	1452428.4**	76532872.8**
آبیاری× رقم I*C	6	16.65**	3.21**	22.79**	2.52**	39.84**	0.08*	32.03**	85969.14**	9136791.3**
نیتروژن× رقم N*C	4	12.11**	4.05 **	14.49 **	4.8**	19.87**	0.04 ns	37.18**	58309.26**	5728698.1**
آبیاری× نیتروژن×رقم I*N*C	12	6.02**	1.00**	14.24**	3.99**	11.01**	0.02 ns	25.89**	27008.02**	7067789.5**
خطای ب Error b	64	0.88	0.07	0.35	0.67	5.24	0.04	2.84	2916.67	459134.7
C.V (%)	-	8.42	14.26	12.55	12.11	12.06	6.77	9.86	12.49	15.26

ns، **، * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار، و اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, ** and * represent not significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل آبیاری و رقم بر وزن هزار دانه گیاه کینوا

Figure 1- Effect of irrigation and cultivar on 1000-seed weight of quinoa

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری، کود نیتروژن و ارقام کینوا بر صفات مورد بررسی

Table 3- Mean comparison of interactions of irrigation, nitrogen fertilizer and cultivars of quinoa on the studied traits

آبیاری Irrigation (% of water requirement)	نیتروژن Nitrogen ($kg.h^{-1}$)	ارقام Cultivars	وزن تر ریشه Root wet weight (g)	وزن خشک ریشه Dry weight of roots (g)	طول ریشه Root length (cm)	تعداد ریشه جانبی در بوته Number of lateral roots per plant	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت HI (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
40	0	TITICACA	1.83q	1.07v	8.9u	3p	52.3uv	1213.33r	19.2ef	6413.3mno
		Q29	3.8op	2.1stu	14.33t	4.33no	53uv	1286.67qr	20.9de	6326.7mno
		GIZA1	3.63p	1.93u	17.97r	5.33lmn	55tu	1266.67qr	17.64fghij	7193.3lm
	100	TITICACA	4.23nop	2.07tu	16.03s	6.33jkl	56.17st	926.67st	18.5efg	5006.6p
		Q29	6.03lm	3.73mn	18.3qr	6.33jkl	50v	686.67u	11.85n	6193.3no
		GIZA1	8.8k	4.03m	21.5mn	6.33jkl	58.33rs	913.33st	22.8bcd	3993.3q
	200	TITICACA	4nop	2.87pq	15.1t	5mno	60.3pqr	986.67s	16.4ghijkl	6013.3o
		Q29	5.2mn	3.5no	17.63r	4.33no	53.17tu	606.67u	13.2mn	4593.3pq
		GIZA1	9.1jk	5.8kl	19.23p	6.33jkl	62opq	873.33t	17.4fghij	4993.3p
60	0	TITICACA	3.5p	2.2stu	20.2 o	4.33no	59qrs	1320q	22.2cd	6073.3no
		Q29	4.27nop	2.4rs	19.1pq	6klm	60.1pqr	1486.67p	19.37ef	7720kl
		GIZA1	4.3nop	2.6qr	24.03hij	6.33jkl	62.67op	1473.33p	24.02bc	6126.6no
	100	TITICACA	16.2def	7.9gh	22.37lm	7hijk	64o	1706.67mn	24.71b	6906.6lmno
		Q29	15.1fgh	5.4l	25.27ef	6.67ijk	72.33vklm	1580 o	17.32fghijk	9133.33hij
		GIZA1	16.4def	7.63hi	25.13fg	7.33ghij	74.33jk	1740m	18.12fghi	9600ghi
	200	TITICACA	14.11h	7.27i	24.77hij	8efgh	68n	1700mn	20.75de	8193.33jk
		Q29	10.23j	6.7j	22.7kl	7hijk	73.67jkl	1780 lm	17.47fghij	10280g
		GIZA1	12.1i	8.8cd	25fg	6.33jkl	80.33i	1840kl	18.59efg	9906.6gh
80	0	TITICACA	5.03mno	2.07tu	19.23p	4op	70mn	1593.33o	22.73bcd	7013.3lmn
		Q29	3.83nop	2.03tu	20.8no	6klm	71lmn	1593.33o	24.88b	6406.7mno
		GIZA1	6.97l	3.5no	26.13cde	7.33ghij	72.83vklm	1633.33no	23.32bc	7006.7lmn
	100	TITICACA	17.17bcd	8.33ef	28.2b	9.67bcd	90.33h	2306.67h	18.44efgh	12506.67f
		Q29	14.67gh	5.9k	26.37c	6.33jkl	94.17g	2160i	14.98klm	14413.3e
		GIZA1	18.07bc	9.03cd	23.83ij	10.33b	95.33vfh	2406.67g	15.99ijkl	15046.7de
	200	TITICACA	18.33b	9.67b	25.03fg	8.33efg	94g	2230.33hi	28.82a	7753.3kl
		Q29	9.6jk	7.4i	23.33jk	7hijk	100de	2506.67f	16.27ghijkl	15413.3cd
		GIZA1	15.6efg	9.8ab	21.13n	8.67def	105b	2553.33f	14.52lm	17593.3b
100	0	TITICACA	5.1mno	2.37rst	23.37jk	8.33efg	71lmn	1593.33o	22.13cd	7200lm
		Q29	6.03lm	3.8mn	20.77no	7hijk	72klm	1906.67k	24.47bc	7793.3kl
		GIZA1	5.13mno	3.2op	24.47fghi	8.33efg	76j	2013.33j	22.88bcd	8806.7ij
	100	TITICACA	20.07a	7.37i	26.17cd	10bc	96.67fg	2906.67d	18.16fghi	16013.3c
		Q29	15.8defg	6.7j	24.9fg	8.33efg	98ef	2980cd	17.12fghijk	17413.3b
		GIZA1	21.3a	8.6de	28.1b	9cde	102bcd	3006.67c	18.29fghi	18193.3b
	200	TITICACA	16.7cde	9.1c	24.3ghi	7.67fghi	101cde	2806.67e	16.13hijkl	17420b
		Q29	16.6de	8.1fg	25.3def	8efgh	103.17bc	3193.33b	17.74fghi	18006.67b
		GIZA1	16.8cde	10.1a	32.5a	12a	109a	3326.67a	15.3jklm	19620a

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند

Means followed by similar letters in each column show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر عملکرد بیولوژیک گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار می‌باشد (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک کینوا در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به میزان ۱۹۶۲۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1 به

میزان ۳۹۹۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۳). در شرایط کم‌آبی کاربرد کود نیتروژن باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در ارقام کینوا شد و با افزایش آب آبیاری و استفاده از کود اوره اثر معناداری بر افزایش عملکرد بیولوژیک کینوا داشت. هم‌چنین در تیمارهای ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد بیولوژیک در رقم GIZA1 نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نیتروژن در شرایط فراهمی رطوبت، به دلیل افزایش تولید مواد فتوسنتزی، سبب بهبود عملکرد بیولوژیک گردید که این نتایج با گزارشات دیگر محققان مطابقت دارد (Fathi and Zeidali, 2021). محققان بیان داشتند که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را در کینوا کاهش داد (Mohammadi *et al*., 2021). از مهم‌ترین دلایل کاهش وزن گیاه در طول دوره تنش می‌توان به اثرات منفی تنش بر رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی اشاره کرد (Taheri *et al*., 2021).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر عملکرد دانه گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه کینوا در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIZA1به میزان ۳۳۲۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی با کاربرد ۲۰۰ و۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره در رقم Q29 به ترتیب به میزان ۶۰۶ و ۶۸۶ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۳). در شرایط کم‌آبی کاربرد کود نیتروژن باعث کاهش عملکرد دانه در ارقام کینوا شد و با افزایش آب آبیاری استفاده از کود نیتروژن تأثیر معناداری بر افزایش عملکرد دانه کینوا داشت. به نظر می‌رسد که با افزایش مصرف کود نیتروژن، نیاز گیاه به‌واسطه احتیاج فرایند متابولیسم نیتروژن به آب هم بیشتر می‌شود و چون گیاه در شرایط تنش خشکی با کمبود شدید آب قرار می‌گیرد، بنابراین مصرف بیشتر نیتروژن نه تنها باعث رشد و عملکرد بیشتر نمی‌گردد، بلکه عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. بنابراین تا زمانی که شرایط تنش خشکی بر گیاه حاکم است، باید از مصرف کود نیتروژن اجتناب کرد.

هم‌چنین در تیمارهای ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، میزان عملکرد دانه در رقم GIZA1 نسبت به رقم Q29 در شرایط مشابه آب و کود نیتروژن به ترتیب ۳۲/۵۹ و ۴/۱۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). پژوهش‌گران به این نتیجه رسیدند که کمبود آب در زمان پر شدن دانه از طریق تقلیل فتوسنتز جاری، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Mohammadi *et al*., 2021). خشکی در مرحله پر شدن دانه مخصوصاً اگر با افزایش دما همراه باشد، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه، تسریع در پیری برگ‌ها، کاهش میانگین وزن دانه‌ها و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Farooq *et al*., 2017). دسترسی به آب در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (Fathi *et al*., 2022). در تحقیق حاضر، تنش خشکی به‌طور معناداری باعث کاهش ویژگی‌های عملکردی هم‌چون وزن هزار دانه در گیاه کینوا نسبت به شاهد (شرایط فراهمی ۱۰۰ درصد نیاز آبی) شد. با توجه به نتایج بدست آمده، رقم TITICACA در شرایط آبیاری مطلوب از عملکرد دانه پایین‌تری نسبت به دو رقم دیگر برخوردار بود. بطور کلی در تحقیق حاضر، رقم TITICACA از عملکردی پایینی برخوردار بود. اما در شرایط تنش شدید رقم TITICACA نسبت به دو رقم دیگر عملکرد دانه بالاتری داشت. گزارش شده است که رشد رویشی و فراهمی مواد فتوسنتزی به تناسب با افزایش میزان نیتروژن مصرفی سبب بهبود عملکرد دانه کینوا می‌شود (Taheri *et al*., 2021; Kakabouki *et al*., 2014).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها بر شاخص برداشت گیاه کینوا در سطح یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین شاخص برداشت کینوا در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم TITICACA به میزان ۲۸/۸۲ درصد مشاهده شد و کمترین شاخص برداشت در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم Q29 به میزان ۱۱/۸۵ درصد بدست آمد (جدول ۳). در تحقیقی گزارش شد که در شرایط پنج رژیم آبیاری متفاوت تغییر معناداری در شاخص برداشت مشاهده نشد، اما عملکرد دانه در تنش شدید کاهش زیادی نشان داد (Lovelli *et al*., 2007). به نظر

می‌رسد که افزایش مقدار مصرف نیتروژن تولید بافت‌های ساختمانی گیاه را نسبت به بافت‌های غیر ساختمانی، بیشتر افزایش داده و بدین ترتیب افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش نسبت بیوماس به دانه شده است. در نتیجه شاخص برداشت در تیمارهای دارای کود نیتروژن نسبت به تیمار بدون کود کاهش پیدا کرد. محققان اظهار داشتند که شاخص برداشت کینوا با افزایش تیمارهای نیتروژنه تا بالاترین سطح، کاهش یافت (Basra *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه کینوا تحمل بالایی به شرایط تنش خشکی دارد. به نحوی که توانست در شرایط تنش شدید دوره رشد خود را کامل کرده و عملکرد قابل قبولی داشته باشد. البته بیشترین وزن خشک ریشه، تعداد ریشه جانبی، طول ریشه، و عملکرد دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در رقم GIAZ1 مشاهده شد. رقم GIAZ1 نسبت به دو رقم دیگر عملکرد بهتری در شرایط کاربرد حداکثر کود نیتروژن را داشت. رقم TITICACA در شرایط آبیاری بهینه از عملکرد دانه کمتری نسبت به دو رقم دیگر برخوردار بود. اما در شرایط تنش شدید رقم TITICACA نسبت به دو رقم دیگر از عملکرد دانه بالاتری برخوردار بود. نتایج نشان داد که در شرایط ۲۰ درصد کاهش در تأمین نیاز آبی (از ۱۰۰ به ۸۰ درصد نیاز آبی) و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در ارقام GIZA1، Q29 و TITICACA

به ترتیب ۳۰/۲۸، ۲۷/۳۹ و ۲۵/۸۴ درصد از عملکرد دانه کاهش پیدا کرده است. بطور کلی نتایج نشان داد که در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از رقم GIAZ1 برای کشت کینوا در شرایط اکولوژیکی منطقه ایلام استفاده شده و در شرایط عدم فراهمی رطوبت در حد مطلوب، از رقم TITICACA استفاده شود.

References

Ashraf, M., Shabaz, M. and Ashraf, M.Y., 2001. Influence of nitrogen supply and water stress on growth and nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents in pearl millet. *Biologia Plantarum*, *44*(3), PP.459-462. **doi:10.1023/A:1012400422848**

Azarpour, E., Bozorgi, H.R. and Moraditochaee, M., 2014. Effects of ascorbic acid foliar spraying and nitrogen fertilizer management in spring cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in north of Iran. *Biological Forum*, *6*(2), PP.254.

Baldermann, S., Blagojević, L., Frede, K., Klopsch, R., Neugart, S., Neumann, A. and Schreiner, M., 2016. Are neglected plants the food for the future. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *35*(2), PP.106-119. **doi:10.1080/07352689.2016.1201399**

Basra, S.M.A., Iqbal, S. and Afzal, I., 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. *International Journal of Agriculture and Biological*, 16, PP.886-892.

Elewa, T.A., Sadak, M.Sh. and Dawood, M.G., 2017. Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, PP.245-254.

Ezati, N., Maleki, A. and Fathi, A., 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, *14*(56), PP.94-109 [In Persian]. **doi:20.1001.1.76712423.1398.14.56.5.9**

Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S. and Siddique, K.H.M., 2017. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*,

203(2), PP.81-102. **doi:10.1111/jac.12169**

Fathi, A. and Kardoni, F., 2020. The importance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) cultivation in developing countries: A review. *Cercetări Agronomice în Moldova*, *3*(183), PP.337-356. **doi: 10.46909/cerce-2020-030**

Fathi, A., Maleki, A. and Naseri, R., 2022. A review of the effects of drought stress on plants and some effective strategies in crop management. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, PP.1-29 [Article in Press, In Persian]. **doi: 10.30495/iper.2022.1944163.1744**

Fathi, A. and Zeidali, E., 2021. Conservation tillage and nitrogen fertilizer: a review of corn growth and yield and weed management. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, *1*(3), PP.121-142. **doi:10.22034/CAJPSI.2021.03.01**

Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Kardoni, F., Pandey, R., & Pessarakli, M., 2023a. Nitrogen contribution in plants: recent agronomic approaches to improve nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, PP.1-18. **doi:10.1080/01904167.2023.2278656**

Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E. and Pessarakli, M., 2023b. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—a review. *Journal of Plant Nutrition*, PP.1-33. **doi: 10.1080/01904167.2022.2105720**

Hosseini, S., Jalilian, J. and Gholinezhad, E., 2021. The effect of ascorbic acid, salicylic acid, and nano-micronutrient chelate fertilizer on yield and yield components of quinoa under water-deficit stress. *Journal of Crops Improvement*, *23*(3), PP.349-361 [In Persian]. **doi:10.22059/jci.2021.308905.2441**

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. **doi:10.1016/j.scienta.2009.05.019**

Jamali, S., Goldani, M. and Zeynodin, S., 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]. **doi: 20.1001.1.20087942.1398.13.6.13.9**

Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasibi, N., 2012. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. *World Applied Sciences Journal*, *18*(4), PP.520-527.

Kakabouki, I., Bilalis, D., Karkanis, A., Zervas, G. and Hela, D., 2014. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, PP.18-24. **doi: 10.9755/ejfa.v26i1.16831**

Karandish, F., Mirlatifi, M., Shahnazari, A., Gheisari, M. and Abbasi, F., 2013. Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on Nitrogen uptake and leaching in maize. *Water and Irrigation Management*, *2*(2), PP.85-98. **doi:10.22059/jwim.2013.30342**

Li, C., Sun, J., Li, F., Zhou, X., Li, Z., Qiang, X. and Guo, D., 2011. Response of root morphology and distribution in maize to alternate furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, *98*(12), PP.1789-1798. **doi:10.1016/j.agwat.2011.07.005**

Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A. and Di Tommaso, T., 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*, *92*(1-2), PP.73-80. **doi:10.1016/j.agwat.2007.05.005**

Martin, D.L., Stegman, E.C. and Fereres, E., 1990. Irrigation scheduling principles. Agricultural Engineers, St. Joseph, MI., IN: Management of Farm Irrigation Systems. *American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, MI, 155-203.

Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eruotor, P.G. and Onome-Irieguna, F., 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Africian Journal of Biology*, 5, PP.1249-1253.

Mohammadi, F., Maleki, A. and Fathi, A., 2021. Effects of drought stress and humic acid on plant growth, yield quality and its components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Crop Nutrition Science*, *7*(3), PP.11-23.

Naz, H., Akram, N.A. and Kong, H., 2020. Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Subjected to varying water regimes. *Pakistan Journal of Botany*, *52*(5), PP.1553-1559. **doi:10.30848/PJB2020-5**

Nguyen, L.V., Bertero, D., Hoang, D.T. and Long, N.V., 2021. Variation in quinoa roots growth responses to drought stresses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *208*(6), PP.830-840. **doi:10.1111/jac.12528**

Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P. and Micale, F., 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, *34*(2), PP.96-112. **doi:10.1016/j.eja.2010.11.003**

Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J. and Fang, J., 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, *467*(7311), PP.43-51. **doi:10.1038/nature09364**

Saddiq, M.S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Khan, S., Raza, A. and Gulshan, A.B., 2021. Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, *11*(10), PP.1934. **doi:10.3390/agronomy11101934**

Saravia, D., Farfán-Vignolo, E.R., Gutiérrez, R., De Mendiburu, F., Schafleitner, R., Bonierbale, M. and Khan, M.A., 2016. Yield and physiological response of potatoes indicate different strategies to cope with drought stress and nitrogen fertilization. *American Journal of Potato Research*, *93*(3), PP.288-295. **doi:10.1007/s12230-016-9505**

Shams, A.S., 2012. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions. In Proc. 13th International Conference of Agronomy. Faculty of Agriculture. Benha University., September, Egypt (PP. 9-10).

Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L. and Munjal, R., 2004. Effects of water-deficit on oil of Calendula aerial parts. *Biologia Plantarum*, *48*(3), PP.445-448.

Taheri, F., Maleki, A. and Fathi, A., 2021. Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*, *13*(50), PP.135-

149. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.8.5**

Vurayai, R., Emongor, V. and Moseki, B., 2011. Effect of water stress imposed at different growth and development stages on morphological traits and yield of *Bambara groundnusts* (*Vignsubt erranean* L. Verdc). *American Journal of Plant Physiology*, *6*(1), PP.17-27. **doi: 10.3923/ajpp.2011.17.27**

Waraich, E.A., Ahmad, R., Ashraf, M.Y., Saifullah, and Ahmad, M., 2011. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, *61*(4), PP.291-304. **doi:10.1080/09064710.2010.491954**

Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S. and Jacobsen, S.E., 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*(6), PP.445-453. **doi:10.1111/jac.12167**

Yang, A., Akhtar, S.S., Li, L., Fu, Q., Li, Q., Naeem, M.A. and Jacobsen, S.E., 2020. Biochar mitigates combined effects of drought and salinity stress in quinoa. *Agronomy*, *10*(6), PP.1-14. **doi: 10.3390/agronomy10060912**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 487-500

Effect of drought stress and nitrogen chemical fertilizer on root properties and yield in three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd)

Zeinab Zamani[1], Ehsan Zeidali[2*], Hamzeh Ali Alizadeh[3], Amin Fathi[4]

[1] Master Student of Agronomy, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Faculty, Ilam University, Ilam, Iran
[3] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[4] Ph.D. of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
[*]Corresponding Author: e.zeidali@ilam.ac.ir

Received: 29 July 2022 Accepted: 5 October 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.353966.1261**

Abstract

Introduction: The world population is increasing daily, while the scope for expansion and development of agricultural land is very narrow due to limited water resources. All of this can affect agriculture indirectly or directly. Quinoa is a pseudo-cereal, belongs to the Amaranthaceae family, and is native to South America. This crop is important for human and animal nutrition due to its medicinal and agro-industrial properties. Water and nitrogen (N) are two major challenges in quinoa cultivation that can be addressed by better understanding related agronomic features. Under water deficit conditions, selecting and cultivating crop species tolerant to drought stress is an approach to maintaining and/or increasing crop production levels. Although it is widely reported that quinoa is a highly drought-tolerant crop, its growth has been significantly suppressed under severe drought stress conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split factorial arranged in a randomized complete block design with three replications. Treatments included four irrigation regimes (100, 80, 60, and 40% of crop water requirement) as the main factor, three quinoa cultivars (TITICACA, Q29, and GIZA1), and three nitrogen fertilizer rates (0, 100, and 200 kg ha1 from urea sources) as subfactorial. The field preparation operations prior to planting included plowing and disc Planting was done on March 22, 2021. The net amount of nitrogen-based nitrogen fertilizer treatments of 100 and 200 kg ha^{-}1 was equal to 46 and 92 kg, respectively. According to the soil test results, the soil was not poor regarding phosphorus and potassium elements, so only urea fertilizer was used. The distance between two rows and between plants on the row in quinoa cultivation was 50 cm and 10 cm, respectively.

Results and Discussion: There was a significant interaction effect between irrigation, N, and cultivar on root traits and grain yield. The effects of irrigation regimes, N rates, and their interactions were significant on plant height at the level of one percent, and the highest (109 cm) and lowest (50 cm) plant heights were obtained with normal irrigation and 100% N application in the GIZA1 cultivar and 40% of the water requirement of 100 kg ha^{-1} N application in cultivar Q29, respectively. The highest 1000-seed weight was obtained with the normal irrigation (2.93 g) regime to meet 80% of the water requirement (2.91 g) in the GIZA1 cultivar. The lowest 1000-seed weight was obtained with 40% of the plant water requirement in all three cultivars. Thousand-grain weight in Q29 and TITICACA cultivars is the same in all irrigation regimes. Two treatments of the normal irrigation, N application and GIZA1 cultivar; and 40% of water requirement, 200 to 100 kg ha^{-1} of N rate and Q29 cultivar obtained the highest (3326 kg ha^{-1}) and lowest (686 kg ha^{-1}) seed yield, respectively. The N addition reduced seed yield in quinoa cultivars under water -deficit conditions. In water deficit conditions, the application of nitrogen fertilizer decreased the biological yield of quinoa cultivars, and increasing the irrigation water and using urea fertilizer significantly increased the biological yield of quinoa. Also,

in 60, 80, and 100 % of water requirement treatments, the amount of biological yield in the cultivar GIZA1 was higher than the other two cultivars.
Conclusion: This research showed that the quinoa plant has a high drought tolerance. In such a way, it could complete its growth period and have acceptable performance in conditions of intense stress. With the higher N application, the GIAZ1 cultivar performed better than the others. Although the TITICACA cultivar recorded a lower grain yield under optimum irrigation conditions, it showed a higher grain yield under severe stress conditions than others. It can be concluded that under the conditions of 100% water requirement and the application of 200 N kg ha^{-1}, GIAZ1 variety is suitable for the growth of quinoa in the ecological conditions of the Ilam region.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Plant height, Root length, Root dry weight

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۰۱-۵۲۳

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات تلقیح قارچ‌های مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه

سید حمید رضا رمضانی[1*]، مرتضی قربانی[2]

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

* مسئول مکاتبه: hrramazani@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۱۷ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.302907.1127**

چکیده

کاربرد کودهای بیولوژیک به ویژه قارچ‌های مایکوریزا از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای در کشاورزی پایدار و مدیریت بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشد. بر همین اساس، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات دو گونه قارچ مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد سه اکوتیپ ایرانی سیاهدانه (سرایان، همدان و شهرکرد) بصورت فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در دانشکده کشاورزی سرایان اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین اکوتیپ‌های سیاهدانه برای اکثر صفات مورد بررسی بود. با این‌حال، هیچ‌کدام از صفات فوق تحت تأثیر برهمکنش بین تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر (اکوتیپ × مایکوریزا) قرار نگرفتند. بیشترین ارتفاع گیاه، ارتفاع اولین شاخه فرعی، طول ریشه، ارتفاع اولین کپسول و طول کپسول برای اکوتیپ همدان، بیشترین تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد کاه برای اکوتیپ شهرکرد و بیشترین وزن هزار دانه و شاخص برداشت برای اکوتیپ سرایان حاصل شد. از طرفی، کاربرد هر دو گونه قارچ مایکوریزا موجب افزایش معنی‌دار صفات طول کپسول، قطر کپسول و تعداد شاخه گل‌دهنده اکوتیپ‌های مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد شدند. در تجزیه ضرایب مسیر، صفات تعداد شاخه گل‌دهنده و عملکرد بیولوژیک اثرات مستقیم مثبتی بر صفت عملکرد دانه داشتند و بیشترین اثر برای صفت عملکرد بیولوژیک به دست آمد. در مقابل، بیشترین اثر مستقیم منفی بر روی صفت عملکرد دانه مربوط به عملکرد کاه بود؛ لذا براساس نتایج پیشنهاد می‌شود اکوتیپ/ژنوتیپ‌هایی که از نظر صفات عملکرد بیولوژیک و کاه بهتر هستند را برای گزینش اکوتیپ‌های برتر مورد استفاده قرار دهند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه علیت، عملکرد بذر، قارچ همزیست، گیاه دارویی

مقدمه

در سال‌های اخیر، توجه زیادی به مصرف گیاهان دارویی و محصولات مشتق شده از آن‌ها شده است (Niazian *et al*., 2017). سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی دارویی از خانواده آلاله (*Ranunclaceae*)، دو لپه، علفی، یک‌ساله، بومی غرب آسیا، سازگار با نواحی خشک و دارای میوه‌ای کپسولی شکل می‌باشد که درون هر کپسول تعداد زیادی دانه‌های سیاه و معطر وجود دارد (Khoramdel *et al*., 2008; Mirzaei and Mirzaghaderi, 2017). دانه سیاهدانه غالباً حاوی پروتئین (۲۳ درصد)، روغن (۳۹ درصد) و سایر ترکیبات است (D'Antuono *et al*., 2002; Shah and Kasturi, 2003) و روغن آن غنی از اسیدهای چرب لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک می‌باشد (D'Antuono *et al*., 2002; Shah and Kasturi, 2003). برای این گیاه خواص متعدد دارویی (از قبیل شیرآوری، ضد نفخ، ضد انگل، ضد صرع، ضد ویروس، ضدباکتری، ضد سرطان، مسکن، کاهش‌دهنده قند خون، شل‌کننده عضلات، سیتوتوکسیک و محرک ایمنی) ذکر شده است (Boskabady and Shirmohammadi, 2002; Mouhajir *et al*., 1999) که به ترکیبات کینونی مثل تیموکینونودی تیموکینون در دانه نسبت داده شده‌اند (Ghosheh *et al*., 1999).

جهت بهبود رشد و نمو، جذب مواد مغذی توسط گیاهان و افزایش عملکرد آن‌ها، محققان به دنبال جایگزین‌های مناسبی برای کودهای شیمیایی هستند و استفاده از قارچ مایکوریزا بعنوان یکی از جایگزین‌های زیستی مهم در جهت حذف یا کاهش قابل ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی گزارش شده است (Cely *et al*., 2016; Javanmard and Shekari, 2016; Sadat- Shamshirgaran *et al*., 2016; Rahimi *et al*., 2019) که می‌توانند عناصر غذایی را از طریق همزیستی با ریشه گیاهان در جهت بهبود شرایط رشدی گیاهان تنظیم کند و در ارائه خدمات اکولوژیکی متنوعی از قبیل افزایش تنوع

زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست نقش‌های مهمی ایفا کنند (Chen *et al*., 2018; Begum *et al*., 2019). هم‌چنین، قارچ مایکوریزا نقش‌های مهمی در افزایش ثبات ذرات خاک، تحمل به انواع تنش‌ها (Tadaion and Zaree, 2014)، انحلال بیشتر مواد غذایی معدنی (Helgason and Fitter, 2009)، جذب مواد غذایی (Mohammadi and Rizi, 2017)، تغییر مورفولوژی ریشه (Ying-ning *et al*., 2014)، کلون‌زایی ریشه (Campo *et al*., 2020) و رشد ریشه (Zhang *et al*., 2019) ایفا می‌کنند. مطالعات متعددی اثرات مثبت قارچ‌های مایکوریزا بر گیاهان مختلف را مورد بررسی قرار داده است. در بررسی نشان داده شد که همزیستی مایکوریزایی سبب افزایش معنی‌دار صفات ارتفاع گیاه، طول ریشه، وزن تر اندام‌های هوایی، وزن تر ریشه، محتوای پرولین و قندهای محلول در گیاه سیاهدانه شد (Shamshirgaran *et al*, 2016). اثرات دو سویه قارچ مایکوریزا (*Rhizophagus intraradices* و *Rhizophagus mosseae*) بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که هر دو سویه سبب افزایش معنی‌دار صفات مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد شدند و بهبود صفات فوق به جذب و حلالیت بیشتر فسفر تحت کاربرد قارچ‌های مایکوریزا نسبت داده شد (Abadi *et al*., 2015). در پژوهش دیگری، اثرات کاربرد کودهای بیولوژیک بویژه مایکوریزا بر گیاه سیاهدانه مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که تلقیح بذور سیاهدانه با مایکوریزا سبب افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه، محتوای فنول و جذب عناصر توسط گیاه شد (Darakeh *et al*., 2021). پژوهش‌گران فوق نیز بهبود شرایط رشد و نموی سیاهدانه را به حلالیت و جذب بیشتر عناصر معدنی (به ویژه فسفر و نیتروژن) نسبت دادند. هم‌چنین، اظهار شده است که افزایش ماده خشک گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریزا احتمالاً ناشی از افزایش غلظت آب و مواد مغذی، انتقال کارا و بهتر این مواد در اندام‌های مختلف گیاهی و افزایش فتوسنتز گیاهی می‌باشد که منجر به سنتز مواد فتوسنتزی در گیاهان می‌شود (Tadayyon and Soltanian, 2019). در این راستا، گزارش شده است که قارچ‌های میکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح ریشه و سرعت جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی بویژه عناصر فسفر، روی، مس افزایش داده و موجب بهبود رشد آن‌ها می‌شوند (Masomi Zavarian et al., 2015).

علاوه بر موارد فوق، باتوجه به وابستگی روزافزون مردم به محصولات کشاورزی و لزوم تولید ارقام اصلاح‌شده گیاهان، لازم است ذخایر ژنتیکی گیاهی مورد بررسی قرار گیرند؛ از این‌رو، درک تنوع ژنتیکی و هم‌چنین تنوع ژنتیکی قابل دسترس در برنامه‌های اصلاحی هر محصول در جهت بهبود محصولات حائز اهمیت است (Litrico and Violle, 2014; Swarup *et al*., 2021; Pandey *et al*., 2021). جهت تعیین و برآورد تنوع ژنتیکی گیاهان می‌توان از روش‌های مختلفی مانند نشانگرهای مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، سیتوژنتیکی و مولکولی استفاده نمود (López-Caamal and Tovar-Sánchez, 2014; Yaman, 2022). با این‌حال، این نشانگرها دارای معایب و مزایای بخصوصی هستند و باید در زمان مناسب از آن‌ها استفاده گردد. در این بین، نشانگرهای مورفولوژیکی به دلیل سهولت در استفاده، کم‌هزینه بودن و عدم نیاز به ابزار خاص در ارزیابی‌های مقدماتی استفاده می‌شوند و می‌توانند رویکردی عمومی در بررسی تنوع ژنتیکی باشند (Bhandari *et al*., 2017; Nadeem *et al*., 2018).

در بررسی خصوصیات مورفولوژی چندین گونه *Nigella*، تنوع زیادی در بین گونه‌های مورد بررسی از نظر صفات زراعی گزارش گردید (Ilcim *et al*., 2006). در مطالعه ارزیابی دو گونه *N. sativa* و *N. damascene* در شمال ایتالیا از نظر عملکرد و اجزای عملکرد، تنوع بالایی برای صفات بیوماس، تعداد دانه در کپسول، عملکرد روغن، عملکرد دانه و وزن هزار دانه مشاهده شد و مشخص شد که تعداد دانه در کپسول در هر دو گونه مورد بررسی دارای بیشترین اثر بر عملکرد دانه بود (D'Antuono *et al*., 2002). بررسی تنوع زراعی و آناتومیکی ۲۸ توده سیاهدانه در مناطق مختلف ایران نشان داد که شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیکی بیشترین توارث‌پذیری و بازده ژنتیکی را داشتند و از میان صفات مورد بررسی، عملکرد بیولوژیکی و تعداد انشعابات ساقه تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (Faravani *et al*., 2006).

براساس شواهد، بسیاری از گیاهان دارویی و ادویه‌ای سطح زیرکشت و میزان تولید قابل قبولی در مناطق رویش خود ندارند و معمولاً به روش سنتی جمع‌آوری شده تا جواب‌گوی بازار

مصرف باشند (Dalkani *et al*., 2012). بنابراین، با توجه به تقاضای در حال افزایش گیاهان دارویی و مشتقات آن‌ها، توجه به اصلاح کمی و کیفی این گیاهان ضروری است. در همین راستا، استفاده از کودهای زیستی در زراعت گیاهان دارویی می‌تولند کیفیت مواد گیاهی استحصالی را افزایش دهد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تلقیح دو گونه قارچ مایکوریزا بر اکوتیپ‌های بومی گیاه سیاه‌دانه در جهت افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و پیدا کردن مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در یک مزرعه تحقیقاتی وابسته به دانشکده کشاورزی سرایان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و۳۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه و ارتفاع ۱۴۸۴ متر از سطح دریا اجرا شد. مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در طول دوره کاشت تا برداشت اکوتیپ‌های سیاهدانه در پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده‌اند و با اطلاعات سال‌های قبل مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۱- تغییرات مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه

Table 1- Changes in the most important climatic parameters of the study area

پارامتر/سال و ماه Parameter/Year and Month	میزان بارندگی کل Total rainfall and / or snowmelt(mm)		میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity(٪)		دمای کمینه Minimum temperature(°C)		دمای بیشینه Maximum temperature(°C)		میانگین دما Average Temperature(°C)		میانگین سرعت باد Average wind speed(Km/h)	
	2011-2017	2018	2011-2017	2018	2011-2017	2018	2011-2017	2018	2011-2017	2018	2011-2017	2018
اردیبهشت April	32.66	42.43	30.53	36.1	12.4	11.9	24.60	24.3	19.26	18.4	11.63	13.1
خرداد May	5.80	23.11	24.24	26.3	18.24	15.7	31.51	28.5	25.36	22.6	12.50	12.4
تیر June	0.83	0	17.26	14.5	21.90	22.1	35.73	36.3	29.51	30	12.56	11.8
مرداد July	0	0	17.49	13.2	22.71	24.6	36.34	37	30.24	31.4	13.46	14.4
شهریور August	0.04	0	17.39	16.2	20.81	21.2	34.53	35.6	28.20	29.2	13.01	12.8
مهر September	0	15.2	19.51	15	16.83	16.6	32.09	31.9	24.46	24.8	11.61	14.5
کل Total	1.85	19.56	26.84	32.5	11.70	11	26.04	23.4	18.84	17.3	10.73	13.1

تیمارهای آزمایش شامل تلقیح سویه‌های مایکوریزا در سه سطح (عدم تلقیح، تلقیح بذور با گونه‌های *Rhizophagus fasciculatum* و *Rhizophagus mosseae*) و فاکتور اکوتیپ گیاهی سیاهدانه در سه سطح (سرایان، همدان و شهرکرد) بودند. قابل ذکر است که ماده‌های تلقیحی مورد استفاده در پژوهش حاضر بصورت تلقیح شده روی ریشه شبدر بود که از شرکت زیست فناور توران مستقر در پارک علم و فناوری استان سمنان تهیه شدند. پس از آماده‌سازی بستر کشت، کرت‌هایی در ابعاد ۲×۳ متر با فاصله یک متر بین بلوک‌ها و ۰/۵ متر بین کرت‌ها در نظر گرفته شدند. پس از آن، در هر کرت ۵ ردیف کاشت با فواصل ۳۰ سانتی‌متر (۲۵۰ بوته در متر مربع) تهیه شدند و بذرها در هر کرت آزمایشی در عمق ۲-۱ سانتی‌متری سطح خاک و به صورت خشکه‌کاری در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ کاشت شدند. پیش از عملیات کاشت، ابتدا ۵ گرم بذر از هر اکوتیپ جهت کاشت جداسازی شد. در هنگام کاشت نیز ۳۰ گرم از هر کدام از زادمایه‌ها (Zamani et al., 2019) که حاوی ۱۰۰ اسپور به ازای هر گرم زادمایه بود را به ازای هر بوته توزین شدند و پس از آن، زادمایه‌ها با ۹۰۰ گرم خاکبرگ مخلوط و به فاصله سه سانتی‌متر پایین‌تر از محل استقرار بذرها (به صورت شیاری) قرار داده شد و روی بذرها با ماسه پوشانده شد. علاوه بر این، با توجه به اینکه زادمایه‌های تلقیحی قارچ مایکوریزای مورد بررسی در پژوهش حاضر حاوی مواد غذایی تقویتی دیگری

به غیر از زادمایه قارچ می‌باشند، مقداری از زادمایه‌ها (هم وزن با زادمایه‌های مورد استفاده تیمارهای حاوی مایکوریزا) در اتوکلاو استریل شد و به‌منظور یکسان‌سازی اثرات مواد غذایی موجود در ماده تلقیحی فرموله شده، بذور تیمار شاهد نیز با آن‌ها آغشته شدند. هم‌چنین، در طول فصل رشد نیز عملیات زراعی از جمله آبیاری و وجین علف‌های هرز بطور دستی برای تمامی کرت‌ها بصورت یکسان انجام گرفت. دو ماه پس از عملیات کاشت (در زمان ۵۰٪ گل‌دهی)، محتوای کلروفیل کل به روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شد و در مرحله ۵۰٪ دانه‌بندی تعداد ۵ بوته از هر کرت انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته، ارتفاع تا اولین شاخه فرعی، ارتفاع اولین کپسول، طول ریشه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، طول کپسول، قطر کپسول، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول مورد ارزیابی قرار گرفتند. سایر صفات شامل وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد کاه پس از رسیدگی کامل و برداشت کل بوته‌های هر کرت اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Some physical and chemical properties of the soil of experiment site

بافت خاک Soil Texture	رس Clay(٪)	سیلت Silt(٪)	شن Sand(٪)	کربن آلی O.C.(٪)	اسیدیته pH	میزان شوری EC(dS/m)	نیتروژن در دسترس Available N(٪)	فسفر Phosphorus(mg/l)	پتاسیم Potassium(mg/l)
لوم Loam	22	22.5	48.5	0.13	8.49	2.27	0.02	2.07	149.9

قابل ذکر است که قبل از اجرای آزمایش، نمونه‌ای مرکب از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاکشناسی ارسال شد و پس از تعیین خصوصیات مذکور (جدول ۲)، مواد غذایی مورد نیاز (شامل ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در هکتار از منبع کودی اوره ۴۶٪، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع کودی P_2O_5 و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع کودی K_2O) براساس تجزیه خاک در اختیار گیاهان مورد بررسی قرار گرفت. بعبارت دیگر، تمامی کودهای فسفر و پتاسیم مورد نیاز به همراه یک‌سوم کود نیتروژن (۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کودی اوره ۴۶٪) در زمان کاشت و مابقی کودهای نیتروژنه با مشاهده علائم کمبود و در طول دوره رشدی گیاه مورد استفاده قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. هم‌چنین، تجزیه رگرسیون گام به گام نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS-ver26 انجام شد و مدل مربوطه به دست آمد. علاوه بر این، تجزیه همبستگی ساده صفات و تجزیه ضرایب مسیر بوسیله نرم‌افزار SAS 9.4 و نمودارها با نرم‌افزار Excell ترسیم شدند. قابل ذکر است که نرمال بودن داده‌ها در پژوهش حاضر نیز از طریق آزمون‌های توزیع نرمال کولموگراف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک انجام گرفت.

نتایج

ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع اولین شاخه فرعی و طول ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان دادند که تیمار اکوتیپ گیاهی به ترتیب اثرات معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪، ۵٪ و ۱٪ بر صفات ارتفاع بوته، ارتفاع تا اولین شاخه فرعی و طول ریشه اکوتیپ‌های مورد بررسی گیاه دارویی سیاهدانه داشت، ولی بین صفات قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی در اکوتیپ‌های سرایان، همدان و شهرکرد اختلاف معناداری مشاهده نشد. علاوه بر این، براساس نتایج نشان دادند که تلقیح مایکوریزا و برهمکنش بین اکوتیپ‌ها × تلقیح مایکوریزا سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در صفات فوق نشدند. از طرفی، در بررسی اثرات تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر بر محتوای کلروفیل برگ گیاه دارویی سیاهدانه مشاهده شد که محتوای کلروفیل سطحی در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر تلقیح مایکوریزا قرار گرفت لیکن اختلاف معنی‌داری در محتوای

کلروفیل در بین اکوتیپ‌های گیاهی سیاهدانه و برهمکنش اکوتیپ‌های گیاهی × تلقیح مایکوریزا مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی از صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی اکوتیپ‌های سیاهدانه تحت تأثیر گونه‌های کود مایکوریزا

Table 3- Analysis of variance of some morphological and biochemical traits of black seed ecotypes under mycorrhiza fertilizer species

منابع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	طول ریشه Root height	ارتفاع تا اولین شاخه فرعی Height to first branch	تعداد شاخه فرعی No. branches	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع گیاه Plant height	محتوای کلروفیل Cholorophyl content
بلوک Block	2	3.31 ns	9.25 ns	0.37 ns	0.72 *	37.21 *	0.37 ns
اکوتیپ Ecotype (E)	2	29.4 **	64.38 **	0.59 ns	0.34 ns	255.1 **	3.37 ns
مایکوریزا Mycohriza (M)	2	6.26 ns	2.06 ns	0.81 ns	0.15 ns	8.97 ns	9.38 *
اکوتیپ × مایکوریزا E×M	4	7.58 ns	1.53 ns	0.71 ns	0.04 ns	7.35 ns	6.27 ns
خطا Error	16	4.44	3.12	1.91	0.13	7.19	6.19
ضریب تغییرات CV.(%)		17.68	23.87	25.00	19.27	16.21	22.50

ns: عدم معنی‌داری؛ * و **: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns: not significant; * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

مقایسه میانگین صفات مندرج در جدول ۴ نشان داد که بین مقادیر صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در پژوهش حاضر اختلاف معناداری وجود داشت به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقادیر در صفات ارتفاع بوته (۱۹/۸۵ و ۱۰/۷۸ سانتی‌متر)، ارتفاع اولین شاخه فرعی (۸/۹۹ و ۴/۳۱ سانتی‌متر) و طول ریشه (۱۳/۶۳ و ۱۰/۰۳ سانتی‌متر) به ترتیب برای اکوتیپ‌های همدان و سرایان به ثبت رسید. به طور کلی، نتایج جدول ۳ نشان می‌دهند که اکوتیپ همدان در مقایسه با اکوتیپ‌های سرایان و شهرکرد به ترتیب افزایشی معادل ۸۲/۶۱ و ۴/۶۴ درصد در ارتفاع بوته، ۱۰۸/۵۹ و ۱/۱۳ درصد در ارتفاع تا اولین شاخه فرعی و ۳۵/۸۹ و ۱۲/۹۳ درصد در طول ریشه داشت.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه

Table 4- Means comparison of some morphological traits and yield components of different ecotypes of black seed

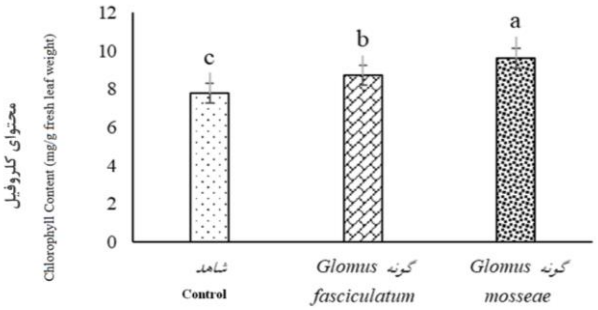
اکوتیپ Ecotypes		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	ارتفاع اولین شاخه فرعی Height of first branch (cm)	طول ریشه Root length (cm)
Sarayan	سرایان	10.78 b	4.31 b	10.03 b
Hamadan	همدان	19.85 a	8.99 a	13.63 a
Shahrecord	شهرکرد	18.97 a	8.89 a	12.07 a

حروف غیر مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشند.

In each column, means with the same letter are not significantly different from each other.

در بررسی اثرات تیمارهای مختلف مایکوریزا بر محتوای کلروفیل برگ سیاه‌دانه (شکل ۱)، نتایج نشان می‌دهند که بیشترین محتوای کلروفیل (۹/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت برگ) تحت کاربرد کود مایکوریزای حاوی گونه *Rhizophagus mosseae* حاصل شد و اختلاف معنی‌داری با محتوای کلروفیل برگ در سایر تیمارهای کودی داشت. در طرف مقابل، کمترین میزان معنی‌دار محتوای کلروفیل برگ (۷/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تحت کاربرد تیمار شاهد به دست آمد. به طور کلی، براساس محاسبات آماری شکل ۱ استنتاج می‌شود که کود مایکوریزای حاوی گونه *Rhizophagus mosseae* در مقایسه با

تیمار شاهد و کاربرد کود مایکوریزای حاوی گونه *Rhizophagus fasciculatum* به ترتیب کلروفیل سطحی بیشتری معادل ۲۳/۲۱ و ۱۰/۲۱ درصد حاصل شد (شکل ۱).



شکل ۱- اثرات تلقیح مایکوریزا بر میزان کلروفیل برگ سیاهدانه (حروف غیر مشابه، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشند).

Figure 1- Effects of application of fertilizers containing mycorrhizal on the amount of chlorophyll in black seed leaves Different letters indicated significant difference among treatments.

تعداد شاخه گل‌دهنده، ارتفاع تا اولین کپسول، طول کپسول، قطر کپسول، تعداد کپسول در گیاه و تعداد دانه در کپسول

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۵، مشاهده می‌شود که صفات ارتفاع اولین کپسول و طول کپسول در سطح احتمال ۱٪ و صفت تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر اثرات اصلی اکوتیپ‌های سرایان، همدان و شهرکرد قرار گرفتند و اختلاف معناداری را نشان دادند ولی کاربرد گونه‌های مختلف کود مایکوریزا و برهمکنش اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه × گونه‌های مختلف مایکوریزا سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در صفات مذکور نشدند. از طرفی، نتایج نشان دادند که تعداد شاخه گل‌دهنده، طول کپسول و قطر کپسول در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف کود مایکوریزا قرار گرفتند؛ با این‌حال، کاربرد تیمار اکوتیپ و برهمکنش اکوتیپ‌های سیاهدانه × سویه‌های مایکوریزا بر صفات فوق اختلاف معناداری را ایجاد نکردند (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی از صفات اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه تحت گونه‌های کود مایکوریزا

Table 5- Variance analysis of some yield components of different ecotypes of black seed under Mycorrhiza fertilizer species

منابع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	تعداد دانه در کپسول No. seeds per capsuls	تعداد کپسول در گیاه No. capsuls per plant	قطر کپسول Capsule diameter	طول کپسول Capsule length	ارتفاع اولین کپسول Height of first capsule	تعداد شاخه گل‌دهنده No. of flowering branches
بلوک Block	2	315.52 ns	0.57 ns	1.89 ns	1.01 ns	39.86 **	0.21 ns
اکوتیپ Ecotype(E)	2	1307.39 *	0.21 ns	15.65 ns	6.69 **	213.78 **	1.70 ns
مایکوریزا Mycohriza(M)	2	119.06 ns	0.50 ns	0.41 *	2.20 *	8.38 ns	1.98 *
اکوتیپ × مایکوریزا E×M	4	148.85 ns	0.53 ns	1.77 ns	2.01 ns	5.36 ns	0.54 ns
خطا Error	16	229.34	1.89	1.50	1.60	6.19	1.67
ضریب تغییرات CV.(%)		21.00	19.00	15.29	16.01	15.53	24

ns: عدم معنی‌داری؛ * و **: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns: not significant; * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

مقایسه میانگین اثرات اکوتیپ‌ها بر صفات جدول ۶ نشان داد که بیشترین مقادیر ارتفاع و طول کپسول (به ترتیب برابر با

۱۹/۱۶ و ۸/۳۸ سانتی‌متر) برای اکوتیپ همدان و کمترین ارتفاع (به ترتیب برابر با ۱۰/۴۱ و ۶/۹۸ سانتی‌متر) برای اکوتیپ سرایان بود و دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بودند. علاوه بر این، بیشترین تعداد دانه در کپسول (۵۳/۳۱ دانه) برای اکوتیپ شهرکرد به دست آمد اما اختلاف معناداری با تعداد دانه در کپسول اکوتیپ همدان (۵۲/۶۰ دانه در کپسول) نداشت در حالی‌که کمترین تعداد معنی‌دار دانه در کپسول (۳۲/۰۹ دانه) برای اکوتیپ سرایان به دست آمد. داده‌های جدول ۶ حاکی از این است که اکوتیپ همدان در مقایسه با اکوتیپ‌های سرایان و شهرکرد به ترتیب افزایش ۸۴/۰۵ و ۳/۵۱ درصدی برای صفت ارتفاع اولین کپسول و افزایش ۲۰/۰۶ و ۰/۶ درصدی برای صفت طول کپسول داشت. علاوه بر این، محاسبات آماری جدول مذکور به ترتیب نشان‌دهنده افزایش ۶۶/۱۳ و ۱/۳۵ درصدی تعداد دانه در کپسول اکوتیپ شهرکرد در مقایسه با اکوتیپ‌های سرایان و همدان بود (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین ارتفاع اولین کپسول، طول کپسول و تعداد دانه در کپسول اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه

Table 6- Mean comparison of the height of the first capsule, capsule length and number of seeds per capsule of different ecotypes of black seed

اکوتیپ Ecotypes	تعداد دانه در کپسول No. seeds per capsuls	طول کپسول Capsule length (cm)	ارتفاع اولین کپسول Height of first capsule (cm)
سرایان Sarayan	32.09 b	6.98 b	10.41 b
همدان Hamadan	52.60 a	8.38 a	19.16 a
شهرکرد Shahrecord	53.31 a	8.33 a	18.51 a

حروف غیر مشابه در هر ستون و هر تیمار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشند.

.In each column, means with the same letter are not significantly different from each other

مقایسه میانگین اثرات تلقیح مختلف مایکوریزا بر صفات تعداد شاخه گل‌دهنده، طول کپسول و قطر کپسول اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه در جدول ۷ نشان داده شده است. براساس نتایج، مشاهده می‌شود که بیشترین شاخه گل‌دهنده (۳/۹۴ شاخه) تحت کاربرد گونه *Rhizophagus mosseae* به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تعداد شاخه در تیمار شاهد (معادل با ۳/۳۶ شاخه) داشت. به عبارت دیگر، تحت کاربرد تیمار گونه *Rhizophagus mosseae*، تعداد شاخه فرعی در مقایسه با کاربرد تیمار شاهد و گونه *Rhizophagus fasciculatum* به ترتیب افزایشی معادل ۱۷/۲۶ و ۰/۵۱ درصد داشت. براساس نتایج مندرج در جدول ۷ نیز بیشترین طول کپسول در گیاه سیاهدانه تحت کاربرد گونه *Rhizophagus mosseae* به دست آمد که اختلاف معناداری با تعداد کپسول ناشی از کاربرد تیمار شاهد داشت. به طور کلی، محاسبات آماری جدول ۷ حاکی از این است که طول کپسول در گیاه سیاهدلنه تحت کاربرد سویه *Rhizophagus mosseae* به ترتیب افزایشی معادل ۹/۲۳ و ۱/۲۴ درصد نسبت به تیمارهای شاهد و کاربرد سویه *Rhizophagus fasciculatum* داشت. علاوه بر نتایج فوق، در مطالعه اثرات اکوتیپ‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر، نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار قطر کپسول‌های گیاه دارویی سیاهدانه تحت کاربرد گونه *Rhizophagus fasciculatum* نسبت به تیمار شاهد بود به‌طوری‌که هنگام استفاده از گونه *Rhizophagus fasciculatum* مایکوریزا، به ترتیب افزایش معناداری معادل ۵/۵۱ و ۳ درصد نسبت به تیمار شاهد و کاربرد گونه *Rhizophagus mosseae* مایکوریزا حاصل شد.

وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد کاه

تجزیه واریانس صفات وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد کاه (جدول ۸) نشان داده شده است. براساس نتایج، مشاهده می‌شود که وزن هزار

دانه، شاخص برداشت و عملکرد کاه در سطح احتمال ۱٪ و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر کاربرد تیمار اکوتیپ‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر قرار گرفته‌اند، لیکن کاربرد تیمار تلقیح مایکوریزا و برهمکنش بین اکوتیپ × تلقیح مایکوریزا سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار صفات موجود در جدول ۵ نشد (جدول ۸).

در بررسی اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه، نتایج جدول ۹ نشان داد که تحت کاربرد اکوتیپ سرایان بیشترین وزن هزار دانه حاصل شد که برابر با ۲/۳۴ گرم بود و اختلاف معنی‌داری با وزن هزار دانه اکوتیپ‌های همدان (۱/۹۲ گرم) و شهرکرد (۱/۹۳ گرم) داشت. از طرفی، نتایج نشان دادند که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۷۵/۸۰ گرم در متر مربع) تحت کاشت اکوتیپ شهرکرد به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با عملکرد بیولوژیک اکوتیپ سرایان (۴۸/۵۱ گرم در متر مربع) داشت. به طور کلی، براساس نتایج مشاهده می‌شود که اکوتیپ شهرکرد در مقایسه با اکوتیپ‌های سرایان و همدان به ترتیب افزایشی معادل ۵۶/۲۶ و ۱۶/۸۱ درصد در عملکرد بیولوژیک داشت (جدول ۹).

در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر، نتایج جدول ۹ نشان می‌دهند که بیشترین عملکرد دانه (برابر با ۲۶/۱۴ گرم در متر مربع) تحت کاربرد اکوتیپ شهرکرد به دست آمد و اختلاف معناداری با عملکرد دانه در سایر اکوتیپ‌ها داشت. از طرفی، مشاهده می‌شود که کمترین عملکرد دانه (برابر با ۲۰/۷۰ گرم در متر مربع) تحت کاربرد اکوتیپ سرایان به ثبت رسید لیکن اختلاف معناداری با عملکرد دانه اکوتیپ همدان (عملکرد دانه برابر با ۲۲/۳۳ گرم در متر مربع) نداشت.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات تلقیح مایکوریزا برخی صفات اجزای عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه

Table 7- Mean comparison of different mycorrhiza fertilizers on some traits of yield components of different black seed ecotypes

تلقیح مایکوریزا Mycorrhiza fertilizers	قطر کپسول Capsule diameter (cm)	طول کپسول Capsule length (cm)	تعداد شاخه گل‌دهنده No. of flowering branches
شاهد Control	7.81 [b]	7.48 [b]	3.36 [b]
Rhizophagus fasciculatum	8.24 [a]	8.04 [a]	3.92 [a]
Rhizophagus mosseae	8.00 [ab]	8.17 [a]	3.94 [a]

حروف غیر مشابه در هر ستون و هر تیمار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشند.

In each column, means with the same letter are not significantly different from each other.

جدول ۸- تجزیه واریانس عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه تحت تأثیر گونه‌های کود مایکوریزا

Table 8- Analysis of variance of yield and yield components of different ecotypes of black seed effected by Mycorrhiza fertilizer species

منابع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی df	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight
بلوک Block	2	91.22 [ns]	101.40 [*]	203.85 [ns]	546.44 [ns]	0.034 [ns]
اکوتیپ Ecotype(E)	2	1116.9 [**]	225.69 [**]	96.69 [*]	1698.82 [*]	0.45 [**]
مایکوریزا Mycohriza(M)	2	49.11 [ns]	0.09 [ns]	21.52 [ns]	135.42 [ns]	0.026 [ns]
اکوتیپ × مایکوریزا E×M	4	286.30 [ns]	26.62 [ns]	214.14 [ns]	989.66 [ns]	0.037 [ns]
خطا Error	16	174.56	17.57	92.47	250.84	0.066
ضریب تغییرات CV.(%)		23.30	11.67	23.50	24.50	12.28

ns: عدم معنی‌داری؛ * و **: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

[ns]: not significant; [*] and [**]: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات اجزای عملکرد و عملکرد اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی سیاهدانه

Table 9- Mean comparisons of yield and yield components of different ecotypes of black seed effected by Mycorrhiza fertilizer species

اکوتیپ Ecotypes	عملکرد کاه Straw yield (gr/m^2)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (gr/m2)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (gr/m2)	وزن هزار دانه 1000-seed weight(gr)
سرایان Sarayan	27.80 b	42.67 a	20.70 b	48.51 b	2.34 a
همدان Hamadan	42.56 a	34.41 b	22.33 b	64.89 ab	1.99 b
شهرکرد Shahrecord	49.64 a	34.51 b	26.16 a	75.80 a	1.93 b

حروف غیر مشابه در هر ستون و هر تیمار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشند

.In each column, means with the same letter are not significantly different from each other

از آنجا که شاخص برداشت، درصدی از عملکرد بیولوژیکی است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد، بیشترین میزان معنی‌دار شاخص برداشت (۴۲/۶۷ درصد) تحت کاربرد اکوتیپ سرایان به دست آمد و کمترین میزان آن (برابر با ۳۴/۴۱ درصد) تحت کاربرد اکوتیپ همدان به ثبت رسید. بر اساس محاسبات آماری جدول ۸ مشاهده می‌شود که اکوتیپ سرایان در مقایسه با اکوتیپ‌های همدان و شهرکرد به ترتیب افزایش معناداری معادل ۲۴/۰۱ و ۲۳/۶۵ درصد در میزان شاخص برداشت داشت. علاوه بر نتایج فوق، مشاهده شد که بیشترین عملکرد کاه (برابر با ۴۹/۶۴ گرم در متر مربع) تحت کاربرد اکوتیپ شهرکرد حاصل شد ولی اختلاف معناداری با میزان عملکرد کاه در اکوتیپ همدان (میزان عملکرد کاه برابر با ۴۲/۵۶ گرم در متر مربع) نداشت. از طرفی، کمترین میزان در عملکرد کاه (۲۷/۸۰ گرم در متر مربع) تحت کاربرد اکوتیپ سرایان به دست آمد و اختلاف معناداری با میزان عملکرد کاه تحت کاربرد سایر اکوتیپ‌ها داشت (جدول ۹).

تحلیل روابط بین صفات

تجزیه همبستگی بر مبنای هر دو فاکتور اکوتیپ و قارچ مایکوریزا و از طریق روش پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان دادند که صفت ارتفاع بوته با صفات محتوای کلروفیل، ارتفاع تا اولین شاخه فرعی، ارتفاع اولین کپسول، طول ریشه، قطرساقه، طول کپسول، قطر کپسول، و وزن کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و با صفات تعداد دانه در کپسول و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ داشت (جدول ۱۰). هم‌چنین، صفت ارتفاع تا اولین شاخه فرعی همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات ارتفاع اولین کپسول و قطر کپسول در سطح احتمال ۱٪ و با صفات طول ریشه، قطر ساقه و وزن کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ داشت. در اکوتیپ‌های سیاهدانه مورد بررسی در پژوهش حاضر، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار صفت ارتفاع اولین کپسول با صفت قطر کپسول مشاهده شد ($r=۰/۷۲۶^{**}$). صفت مورفولوژیک طول ریشه به ترتیب با صفات قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، عملکرد بیولوژیک، و وزن کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و با صفات طول کپسول، قطر کپسول، تعداد کپسول در بوته، و عملکرد بذر همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ داشت (جدول ۱۰).

بیشترین همبستگی مثبت صفت تعداد شاخه فرعی با صفت تعداد کپسول در بوته مشاهده شد ($r=۰/۹۴۶^{**}$). صفت عملکرد دانه با صفات طول ریشه، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و با صفات عملکرد بیولوژیک و وزن کاه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت بطوری‌که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با صفت عملکرد بیولوژیک مشاهده شد ($r=۰/۹۴۳^{**}$) (جدول ۱۰).

همبستگی ساده صفت وزن کاه با صفات ارتفاع بوته، ارتفاع تا اولین کپسول، طول ریشه، تعداد دانه در کپسول و عملکرد بیولوژیک مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ بود درحالی‌که

همبستگی این صفت با صفات ارتفاع تا اولین شاخه فرعی، قطر ساقه، تعداد شاخه گل‌دهنده، طول کپسول و قطر کپسول مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بود (جدول ۱۰).

تجزیه رگرسیون گام به گام

تجزیه رگرسیون گام به گام حاکی از توجیه ۱۰۰ درصد از تغییرات این صفت توسط صفات عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه بود. سایر صفات تأثیر معنی‌داری بر مدل رگرسیونی نداشته که از این جهت تفاوت بین سیاه‌دانه را نظر عملکرد دانه گیاه را می‌توان به تفاوت در این صفات نسبت داد. عملکرد بیولوژیک بیشترین میزان تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که معادل ۸۹٪ ارزیابی شد (جدول ۱۱).

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی صفات مورفولوژیکی و عملکرد در اکوتیپ‌های مورد بررسی سیاهدانه

Table 10- Correlation coefficient of morphological traits and yield in studied ecotypes of black seed

صفات Traits	ارتفاع گیاه PH	کلروفیل CHL	ارتفاع اولین شاخه HFSB	ارتفاع اولین کپسول HFP	طول ریشه RH	قطر ساقه SD	تعداد شاخه فرعی SBN	تعداد شاخه گل‌دهنده FB	طول کپسول PL	قطر کپسول FB	تعداد کپسول در گیاه SBN	تعداد دانه در کپسول SD	وزن هزار دانه RH	عملکرد دانه HFP	عملکرد بیولوژیک HFSB	شاخص برداشت Chl	عملکرد کاه SY
PH	1.00																
Chl	0.10**	1.00															
HFSB	0.84**	0.28 ns	1.00														
HFP	0.99**	0.11 ns	0.87**	1.00													
RH	0.74**	-0.14 ns	0.43*	0.69**	1.00												
SD	0.69**	-0.18 ns	0.50**	0.68**	0.61**	1.00											
SBN	0.27ns	-0.33 ns	-0.2 ns	0.19 ns	0.64**	0.41 ns	1.00										
FB	0.36 ns	-0.31 ns	-0.1 ns	0.28 ns	0.62**	0.38 ns	0.94**	1.00									
PL	0.65**	-0.17 ns	0.29 ns	0.63**	0.55*	0.38 ns	0.51*	0.62**	1.00								
PD	0.73**	0.18 ns	0.57**	0.73**	0.53**	0.37 ns	0.26 ns	0.30 ns	0.60**	1.00							
PNP	0.21ns	-0.25 ns	-0.23 ns	0.14 ns	0.53**	0.31 ns	0.95**	0.95**	0.51*	0.19 ns	1.00						
SNP	0.58*	-0.01 ns	0.54 ns	0.57*	0.40 ns	0.41 ns	0.28 ns	0.33 ns	0.45 ns	0.47 ns	0.29 ns	1.00					
TW	-0.52 ns	-0.38 ns	-0.54 ns	-0.52 ns	-0.22 ns	-0.1 ns	-0.01 ns	-0.10 ns	-0.27 ns	-0.68 ns	0.02 ns	-0.28 ns	1.00				
GY	0.33 ns	0.05 ns	0.09 ns	0.28 ns	0.44*	0.32 ns	0.50*	0.53*	0.39 ns	0.21 ns	0.54*	0.58*	0.10 ns	1.00			
BY	0.55**	0.06 ns	0.32 ns	0.51*	0.61*	0.48 ns	0.52*	0.56*	0.48 ns	0.40 ns	0.53*	0.66**	-0.10 ns	0.94**	1.00		
HI	-0.49 ns	-0.08 ns	-0.61 ns	-0.52 ns	-0.25 ns	-0.2 ns	0.18v	0.17 ns	-0.10 ns	-0.40 ns	0.27 ns	-0.02 ns	0.58*	0.55*	0.27 ns	1.00	
SY	0.66**	0.07 ns	0.46*	0.63**	0.68**	0.56*	0.50*	0.54*	0.52*	0.51*	0.49 ns	0.68**	-0.24 ns	0.85**	0.98**	0.07 ns	1.00

ns: عدم معنی‌داری؛ * و **: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns: not significant; * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

با بررسی مدل رگرسیونی حاصل شده و ضرایب همبستگی کلیه صفات با عملکرد دانه، به علت وجود پدیده خود همبستگی بین صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد کاه و عملکرد دانه، سایر صفات وارد مدل رگرسیونی نشدند درحالی‌که طول ریشه، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع اولین شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و شاخص برداشت دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند. بنابراین، با توجه به عدم توانایی کافی مدل رگرسیونی در تشخیص تمامی صفات مؤثر، لزوم شکستن ضریب همبستگی تمامی صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه به اثرات مستقیم و غیر مستقیم و در نهایت یافتن صفاتی که اثرات مستقیم آن‌ها بر عملکرد دانه دارای روندی مثبت و هم‌سو بودند، تجزیه و تحلیل علیت بر روی این صفات صورت گرفت.

جدول ۱۱- تجزیه رگرسیون گام به گام مرحله به مرحله برای کلیه صفات به عنوان متغیر مستقل و عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته

Table 11- Stepwise regression analysis for all traits as an independent variable and grain yield as a dependent variable

مدل Model		ضریب رگرسیون B	انحراف معیار Std. Error	مقدار آمارهT T Test	سطح احتمال Sig.	ضریب تبیین R2	ضریب تبیین اصلاح شده Adjusted R2
1	مقدار ثابت Constant	-1.83	1.88	-0.972	0.341	0.89	0.886
	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	0.395	0.028	14.2	0.000		
2	مقدار ثابت Constant	-0.002	0.003	-0.735	0.470	1.00	1.00
	عملکرد بیولوژیک Biological Yield	1.000	0.000	5989.7	0.000		
	عملکرد کاه Straw yield	-1.000	0.000	-3719.2	0.000		

جدول ۱۲- اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه سیاهدانه

Table 12- Direct and indirect effects of traits affecting the grain yield of black seed

صفات مورد بررسی Traits	PH	RH	SBN	FB	PNP	SNP	TW	BY	HI	SY	
ارتفاع گیاه PH	**-0.006***	-0.004	-0.002	-0.002	-0.002	-0.004	0.002	-0.003	0.002	-0.004	
طول ریشه RH	-0.001	**-0.001**	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	0.000	0.001	
تعداد شاخه فرعی SBN	-0.001	-0.002	**-0.003**	-0.003	-0.003	-0.001	0.000	-0.002	-0.001	-0.002	
تعداد شاخه گل‌دهنده FB	0.006	0.010	0.015	**0.016**	0.016	0.005	0.000	0.009	0.002	0.009	
تعداد کپسول در گیاهPNP	-0.004	-0.008	-0.014	-0.014	**-0.015**	-0.005	-0.002	-0.008	-0.004	-0.007	
تعداد دانه در کپسول SNP	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	**-0.001**	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	
وزن هزار دانه TW	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	**0.000**	-0.001	0.000	-0.001	
عملکرد بیولوژیک BY	1.353	1.501	1.281	1.383	1.306	1.635	0.000	**2.470**	0.669	2.408	
شاخص برداشت HI	0.009	0.004	-0.004	-0.004	-0.006	0.000	-0.012	-0.006	**-0.020**	-0.002	باقیمانده
عملکرد دانه SY	-1.035	-1.060	-0.775	-0.845	-0.758	-1.058	0.367	-1.520	-1.559	**-1.559**	**Residual**
کل Total	0.324	0.444	0.501	0.533	0.541	0.574	0.101	0.943	0.55	0.846	**0.038**

*: اعداد تیره نشان‌دهنده اثرات مستقیم صفات بر عملکرد دانه می‌باشند.

*: Bold number indicated direct effect on grain yield

تجزیه ضرایب مسیر (تجزیه علیت)

مقادیر اثرات مستقیم و اثرات غیرمستقیمی که صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن

هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن کاه روی صفت عملکرد دانه در اکوتیپ‌های مورد بررسی گیاه سیاهدانه داشتند در جدول ۱۲ ارائه گردیده است. صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد شاخه‌فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، شاخص برداشت و وزن کاه اثرات مستقیم و منفی و صفات تعداد شاخه گل‌دهنده، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک اثرات مستقیم و مثبتی بر صفت عملکرد دانه داشتند (جدول ۱۲).

صفت ارتفاع بوته از طریق صفات طول ریشه، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک و وزن کاه، اثر غیرمستقیم منفی و از طریق صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت، اثر غیرمستقیم مثبت بر روی عملکرد دانه اکوتیپ‌های گیاه دارویی سیاه دانه داشت (جدول ۱۲). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه ضرایب مسیر، بیشترین اثر غیرمستقیم مثبت بر روی عملکرد دانه گیاه دارویی سیاه دانه مربوط به عملکرد بیولوژیک (از طریق صفت عملکرد کاه) و بیشترین اثر غیرمستقیم منفی بر روی عملکرد دانه مربوط به صفت عملکرد کاه (از طریق صفت شاخص برداشت) بود (جدول ۱۲).

بحث

بطور کلی، هر چند رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی تابع ژنتیک، محیط و برهمکنش بین آن‌ها می‌باشد، مدیریت زراعی و میزان نهاده‌های کشاورزی می‌تواند سبب کاهش یا افزایش رشد و نمو گیاهان شوند(Kafi *et al.*, 2012; Rakeei and Maali-Amiri, 2012). در این رابطه، اظهار شده است که ارزیابی واکنش گیاهان دارویی به انواع حاصل‌خیزکننده‌های خاک، یکی از مباحث مهم زراعی در زمینه تولید و توسعه کاشت این گیاهان است (Fallahi *et al.*, 2018). هم‌چنین، گزارش شده است با توجه به نقش تنوع ژنتیکی در پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی، بررسی و شناخت ویژگی‌های مورفولوژیکی مؤثر بر عملکرد دانه می‌تواند در دست‌یابی به معیارهای اصلی گزینش، اصلاح و معرفی ارقام برتر اهمیت زیادی داشته باشند (Mohebodini *et al.*, 2019). بر همین اساس، انتخاب ارقام با خصوصیات زراعی مطلوب می‌تواند در راستای تولید یک رقم جدید مورد استفاده قرار گیرد؛ لذا، از آنجا که عملکرد بیولوژیک حاصل شده از پژوهش حاضر در حدود ۹۵٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد، می‌توان ارقام و ژنوتیپ‌های سیاهدانه دارای عملکرد بیولوژیک بیشتر را گزینش و در مطالعات بعدی مورد بررسی‌های دقیق‌تر قرار داد. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام به گام پژوهش ارائه شده توسط محققین نشان داد که عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه در گیاه جو بودند و پیشنهاد دادند که می‌توان عملکرد دانه را از طریق افزایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت افزایش داد (Zare Kohan *et al.*, 2020). علاوه بر این، از آنجا که اکوتیپ‌های مختلف یک گونه گیاهی در یک منطقه می‌توانند قابلیت‌های رشد، نمو و عملکردی متفاوتی داشته باشند، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هر کدام از اکوتیپ‌های سرایان، همدان و شهرکرد از نظر برخی صفات اهمیت بیشتری داشتند (جداول ۳، ۵ و ۸). با این‌حال، اکوتیپ‌های شهرکرد و همدان در اکثر صفات از قبیل ارتفاع گیاه، ارتفاع اولین شاخه فرعی، طول ریشه، ارتفاع اولین کپسول، طول کپسول، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد کاه نسبت به اکوتیپ بومی سرایان دارای برتری قابل ملاحظه‌ای بودند و به‌عنوان اکوتیپ‌های جایگزین شناخته شدند. در این راستا، گزارش شده است توده‌های بومی به‌دلیل سازگاری مناسبی که طی سال‌های متمادی در زیستگاه طبیعی‌شان به دست آورده‌اند، در صورتی‌که نسبت به سایر اکوتیپ‌های ورودی دارای صفات مناسبی باشند می‌توانند به عنوان یک منبع ژنتیکی با ارزش در اصلاح ارقام جدید مورد استفاده قرار گیرند؛ از طرفی، گزارش شده است هر چند از اکوتیپ‌های بومی هر منطقه جهت کشت سیاهدانه استفاده می‌شود، لازم است اکوتیپ‌های پر محصول و دارای قابلیت سازگاری بالا با شرایط اقلیمی مناطق مختلف شناسایی شوند و با اکوتیپ‌های بومی مورد مقایسه قرار گیرند (Javadi Hedayat Abad *et al.*, 2015; Kheiry *et al.*, 2021). در پژوهش حاضر نیز اکوتیپ‌های شهرکرد و همدان در اکثر صفات (بجز وزن هزار دانه و شاخص برداشت) افزایش معنی‌داری نسبت به اکوتیپ بومی سرایان داشتند و از آنجا که عملکرد اقتصادی بالاتر هدف نهایی از زراعت یک محصول، می‌باشد و اکوتیپ‌های شهرکرد و همدان دارای قابلیت بیشتری در عملکرد اقتصادی بودند، احتمال دارد بتوانند بعنوان اکوتیپ‌های

جایگزین مورد استفاده قرار گیرند. پژوهشگران دیگری (Javadi Hedayat Abad *et al.*, 2015; Kheiry *et al.*, 2021) نیز عملکرد اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه را در شرایط اقلیمی مشهد مورد بررسی قرار دادند و برتری دو اکوتیپ گناباد و بیرجند را به دوره رشدی طولانی‌تر اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه و رشد و نمو بهتر گیاه از طریق تأمین مخازن زایشی گیاه و به دنبال آن افزایش اجزای عملکرد گیاه نسبت دادند.

از طرفی، از آنجا که مبحث تولید بر پایه اصول کشاورزی پایدار اهمیت زیادی در زراعت گیاهان دارویی دارد، کاربرد کودهای بیولوژیک می‌تواند سبب افزایش کمی و کیفی تولیدات گیاهان دارویی شود؛ بر همین اساس، بسیاری از شرکت‌های تولید کننده داروهای گیاهی، ترکیب‌های گیاهی را که با کشت آلی یا ارگانیک تولید شده باشند را ترجیح می‌دهند (Fallahi *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر نیز به منظور عدم کاربرد نهاده‌های شیمیایی در زراعت گیاه دارویی سیاه‌دانه، اثرات تلقیح سویه‌های *Rhizophagus fasciculatum* و *Rhizophagus mosseae* مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان دادند که هر دو نوع سویه قارچ سبب افزایش معنی‌دار برخی از صفات از قبیل تعداد شاخه گل‌دهنده، طول کپسول و قطر کپسول اکوتیپ‌های مورد مطالعه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح) شدند (جدول ۷). در ارتباط با اثرات مثبت مایکوریزا بر گیاهان، اظهار شده است که توانایی باکتری‌های موجود در این کودها در تولید انواع مواد محرک رشد از قبیل سیدروفورها، مواد هورمونی و تنظیم‌کننده رشد گیاهی مانند اکسین‌ها و جیبرلین‌ها، آزادسازی عناصر مغذی گیاه مانند فسفر و پتاسیم از ترکیبات نامحلول آن‌ها در خاک، تجزیه ترکیبات آلی پیچیده در خاک و کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی می‌باشد که نهایتاً منجر به تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Hasanzadeh Ghorttapeh and Javadi, 2016). هم‌چنین، در ارتباط با اثرات مثبت همزیستی قارچ مایکوریزا با گیاهان و اکوتیپ‌های گیاهی، برخی پژوهش‌گران اظهار دارند که نوع قارچ همزیست، نوع گیاه میزبان و هم‌چنین پاسخ گیاهان مختلف به قارچ‌های همزیست مایکوریزا متفاوت می‌باشد (Sousa *et al.*, 2012; Zhong *et al.*, 2012). نتایج جدول ۶ نیز حاکی از افزایش معنی‌دار تعداد دانه در هر کپسول در اکوتیپ‌های شهرکرد و همدان نسبت به اکوتیپ سرایان بودند.

از طرفی، نتایج جدول ۷ نیز نشان داد که کاربرد سویه‌های مایکوریزا سبب افزایش معنی‌دار طول کپسول نسبت به تیمار شاهد در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی شدند. بر همین اساس، از آنجا که تفاوت‌های قابل مقایسه‌ای از نظر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در بین اکوتیپ‌های سیاه‌دانه مورد بررسی در پژوهش حاضر مشاهده شد، احتمال دارد اکوتیپ‌های شهرکرد و همدان ارتباط همزیستی و سازگاری بهتری با سویه‌های مایکوریزای مورد بررسی در پژوهش حاضر برقرار کرده بودند و در نهایت بعنوان اکوتیپ‌های برتر معرفی شدند. علاوه بر این، در ارتباط با اثرات ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف سیاهدانه، در برخی پژوهش‌ها نیز اختلاف معنی‌دار صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد به تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت داده شد (Mehri *et al.*, 2022). در بررسی تنوع ژنتیکی اکوتیپ‌های مختلف سیاهدانه با استفاده از صفات مورفولوژیکی و زراعی، ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در کپسول، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و شاخص برداشت همبستگی مثبت و بالایی داشت و ۹۵٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (Salamati and Zeinali, 2013). تغییرات مورد بررسی در پژوهش حاضر (از قبیل بیشتر بودن درصد ضریب تغییرات صفات عملکرد بیولوژیک و شاخه‌های گل‌دهنده) که بیش از ۹۰٪ از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند نشان‌هنده تنوع ژنتیکی بالا میان سه اکوتیپ سرایان، شهرکرد و همدان بود. در پژوهش دیگری نیز بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار سیاهدانه با عملکرد دانه (با ضریب همبستگی معادل ۰/۹۵۷) مربوط به عملکرد بیولوژیک بود (Bahrami Najad and Papzan, 2006). هم‌چنین، پژوهش‌گران دیگری نیز تایید کردند که عملکرد بیولوژیک دارای بیشترین اثر مستقیم و هم‌چنین بیشترین توجیه‌کننده تغییرات مرتبط با عملکرد دانه مربوط به عملکرد بیولوژیک بود (Bardideh *et al.*, 2013). در مقابل، بررسی و مقایسه ۳۰ ژنوتیپ سیاهدانه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات زراعی-مورفولوژیکی وجود داشت و میان صفات مورد مطالعه، تعداد کپسول در گیاه و عملکرد دانه دارای بیشترین تنوع ژنتیکی بودند (Golkar and Nourbakhsh, 2019).

علاوه بر موارد فوق، وجود تنوع ژنتیکی یکی از الزامات اساسی برای موفقیت در برنامه‌های اصلاحی بعدی است. در واقع اطلاع از تنوع ژنتیکی برای صفت عملکرد و اجزای عملکرد برای طرح‌ریزی یک برنامه اصلاحی موفق در گیاهان هدف حیاتی است (Niazian *et al*., 2017). بر همین اساس، قبل از اجرای یک برنامه هدفمند اصلاحی، بایستی مطالعات ژنتیکی مختلفی انجام شود تا آگاهی کافی در مورد ماهیت ژنتیکی و همبستگی بین صفات بدست آید که بتوان براساس آن در جهت اصلاح یا گزینش یک رقم خاص گام‌های مؤثری برداشت (Salamati and Zeinali, 2013).

بطور کلی، بررسی مورفولوژیکی صفات ظاهری گیاهان مختلف بسیار ارزان‌تر و آسان‌تر از سایر روش‌های ارزیابی هستند و اطلاعات زیادی را در مدت زمان کمتری در اختیار محققین و اصلاح‌گران قرار می‌دهد (Dalkani *et al*., 2012). چندین روش برای تجزیه اجزای عملکرد وجود دارد که بر اساس هدف پروژه محققان می‌توانند از این روش‌ها استفاده کنند. روش‌های از قبیل تجزیه واریانس، تجزیه همبستگی ساده، تجزیه رگرسیون چند متغییره، و تجزیه ضرایب مسیر معمولاً برای تجزیه و تحلیل اجزای عملکرد در گیاهان مختلف استفاده می‌شوند (Fraser and Eaton, 1983).

در ارتباط با روابط بین همبستگی صفات مورد مطالعه و عملکرد دانه (جدول ۱۰)، عملکرد دانه یک صفت کمی و پیچیده است که توسط ژن‌های زیادی کنترل می‌شود و اثر محیط نیز بر آن زیاد است؛ بنابراین برای ارتقاء این صفت در برنامه‌های اصلاحی بهتر از صفات اجزای عملکرد که وراثت‌پذیری بالاتری دارند و همبستگی بالایی با عملکرد دانه دارند به جای انتخاب مستقیم برای عملکرد دانه استفاده شود (Niazian *et al*., 2017). بنابراین، تعیین همبستگی اجزای عملکرد با صفت عملکرد دانه جهت اصلاح این صفت ضروری است (Dogan, 2009). تجزیه همبستگی ساده اطلاعاتی درباره درجه ارتباط بین صفات مهم گیاهی ارائه می‌دهد و یک شاخص مفید برای پیش‌بینی پاسخ عملکردی در ارتباط با تغییر یک جزء خاص است (Malik *et al*., 2007).

در بررسی تغییرات اثر متقابل حاصل از نتایج تجزیه علیت (جدول ۱۲) نکات زیر حائز اهمیت است: ۱- اگر همبستگی بین عامل علت و معلول تقریباً برابر اثرات مستقیم باشد در آن صورت، ضریب همبستگی ساده رابطه واقعی را نشان می‌دهد و انتخاب مستقیم از طریق این صفت مؤثر خواهد بود. ۲- اگر ضریب همبستگی مثبت اما اثرات مستقیم منفی یا قابل اغماض باشد، در آن صورت، علت همبستگی اثرات غیر مستقیم است. در چنین مواردی بایستی عوامل غیرمستقیم سببی را به طور همزمان مورد توجه قرار داد. ۳- ممکن است ضریب همبستگی منفی اما اثرات مستقیم مثبت و زیاد باشد. در چنین مواردی، بایستی از مدل‌های انتخاب همزمان محدود شده پیروی کرد، یعنی باید با به صفر رساندن اثرات غیرمستقیم نامطلوب، محدودیت‌هایی اعمال شود تا بتوان از اثرات مستقیم استفاده کرد (Niazian *et al*., 2012). در ارتباط با صفاتی که وارد مدل می‌شوند، پژوهشگران دیگری نیز تنوع ژنتیکی برخی از ژنوتیپ‌های سیاهدانه را با استفاده از صفات مورفولوژیکی و زراعی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که بیشترین ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی مربوط به عملکرد بیولوژیک بود (Salamati and Zeinali, 2013). علاوه بر این، از آنجا که صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در فولیکول، تعداد انشعاب‌های ساقه و شاخص برداشت در آن پژوهش به ترتیب دارای بیشترین ضریب تأثیر بر عملکرد دانه بودند و ۹۵٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند، وارد مدل شدند. بررسی مدل رگرسیونی حاصل شده و ضرایب همبستگی کلیه صفات مؤثر بر عملکرد دانه در پژوهش حاضر نیز نشان داد که صفات عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه دارای بیشترین ضریب تأثیر بر عملکرد دانه بودند که بیش از ۹۵٪ از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند و وارد مدل شدند؛ بر همین اساس، از آنجا که سایر صفات درصدهای بسیار ناچیزی در تغییرات عملکرد دانه داشتند وارد مدل رگرسیونی نشدند.

از آنجا که صفت عملکرد دانه یک صفت پیچیده و کمی با وراثت‌پذیری پایین است، بررسی همبستگی سایر صفات اجزای عملکرد با پیچیدگی کمتر می‌تواند به انتخاب غیرمستقیم برای عملکرد بالاتر کمک کند. هر چند روش‌های آماری متعددی از قبیل تجزیه همبستگی، رگرسیون، ضرایب مسیر و غیره برای انتخاب غیرمستقیم صفات پیچیده و کمی توسط اصلاح‌گران و محققان در گیاهان مختلف بکار رفته است، با این‌حال، استفاده از روش‌های محاسباتی پیشرفته‌تری مانند شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند به محققین جهت انتخاب دقیق‌تر برای صفات

وابسته کمی و پیچیده، که تعداد زیادی متغیر غیرمستقل بر آن‌ها تأثیر دارند، کمک کند (Abdipour *et al*., 2018; Niazian *et al*., 2018 a, 2018 b). در تحقیق حاضر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و صفات ارتفاع گیاه، طول ریشه، تعداد شاخه جانبی، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد کاه مشاهده شد و عملکرد بیولوژیک بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر صفت عملکرد دانه داشت (جدول ۱۲). از طرفی، با توجه به نتایج حاصل از تجزیه همبستگی ساده و هم‌چنین نتایج حاصل از تجزیه ضرایب مسیر، صفات عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه به‌عنوان صفات مؤثر در افزایش عملکرد دلنه معرفی شدند، اکوتیپ‌های دارای بیشترین صفات فوق می‌توانند گزینش شده و در راستای مطالعات بعدی مرتبط با افزایش عملکرد بذر در گیاه دارویی سیاه دانه مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرند. در تضاد با نتایج پژوهش حاضر، پژوهش دیگری با انجام تجزیه ضرایب مسیر به منظور پیدا نمودن مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه در ۱۶ توده ایرانی گیاه دارویی سیاه دانه انجام شد و گزارش شد که تعداد کپسول در گیاه و وزن هزار دانه بیش‌ترین اثر مستقیم را بر روی عملکرد دانه داشتند (Ghorbanzadeh Neghab and Zare Mehrjerdi, 2018). با این‌حال، بالاترین اثر غیر مستقیم در پژوهش اخیر مربوط به صفت زیست‌توده بود. بر همین اساس، احتمال دارد وجود تناقض بین این پژوهش و یافته‌های ما در ارتباط با تأثیر مستقیم و بیشتر عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه در افزایش عملکرد دانه سیاهدانه ناشی از جامعه آماری کوچک و تعداد محدود اکوتیپ در مطالعه حاضر باشد. از طرفی، در راستای نتایج پژوهش حاضر مبنی بر تأثیر بیشتر عملکرد بیولوژیک، در گزارشی میزان تنوع در برخی از صفات زراعی و آناتومیکی توده‌های محلی سیاه دانه در استان خراسان مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و تعداد انشعاب ساقه به ترتیب به نسبت بیشتری افزایش عملکرد دانه را توجیه کردند (Faravani *et al*., 2006).

از طرفی، به دلیل آنکه رابطه بین دو صفت ممکن است به حضور صفت سومی وابسته باشد، بنابراین تجزیه همبستگی ساده صفات به تنهایی نمی‌تواند اطلاعات کافی درباره رابطه عللی و معلولی میان متغیرها ارائه دهد (Bahmani *et al*., 2015). بنابراین توضیح منطقی‌تر رابطه مشاهده شده بین متغیرها می‌تواند از طریق تجزیه ضرایب مسیر (علیت) حاصل گردد. تجزیه ضرایب مسیر یک روش آماری جهت بررسی روابط عللی/معلولی میان متغیرهای همبسته است که در گیاهان دارویی زیادی استفاده شده است (Lal, 2007; Dalkani *et al*., 2011; Bahmani *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

گیاهان دارویی منبع غنی از متابولیت‌های ثانویه ارزشمند هستند که کاربردهای زیادی در پزشکی و سایر صنایع دارند. از طرفی به دلیل اثرهای جانبی کمتر، استفاده از محصولات گیاهی در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. گیاهان دارویی در بیشتر مناطق رشد خود سطح زیرکشت ثابتی ندارند و برداشت بی‌رویه منجر به در معرض خطر انقراض قرار گرفتن آن‌ها شده است. در این شرایط اصلاح صفات کمی و کیفی این گیاهان بسیار ضروری است. در تحقیق حاضر اثر دو گونه مختلف قارچ مایکوریزا بر روی سه اکوتیپ ایرانی گیاه سیاه دانه شامل اکوتیپ‌های سرایان، همدان، و شهرکرد بررسی شد و نشان داده شد که تفاوت معنی‌دار بین سه اکوتیپ سیاهدانه از نظر صفات موروفولوژیکی و عملکردی وجود داشت بطوری‌که اکوتیپ‌های شهرکرد و همدان در همه صفات (بجز وزن هزار دانه و شاخص برداشت) نسبت به اکوتیپ سرایان برتری داشتند. در همین راستا، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اکوتیپ همدان نسبت به اکوتیپ‌های سرایان و شهرکرد برتری نسبی در صفات ارتفاع بوته (به ترتیب معادل ۸۴/۱۴ و ۴/۶۴ درصد)، ارتفاع اولین شاخه فرعی (۱۰۸/۵۹ و ۱/۱۲ درصد)، طول ریشه (۱۰/۸۹ و ۱۲/۹۳ درصد)، ارتفاع اولین کپسول (۸۴/۰۵ و ۳/۵۱ درصد) و طول کپسول (۲۰/۰۶ و ۰/۶ درصد) داشت. هم‌چنین، از طرفی، اکوتیپ شهرکرد در مقایسه با اکوتیپ‌های همدان و سرایان به ترتیب دارای افزایش‌هایی معادل ۵۶/۲۶ و ۱۶/۸۱ درصد برای عملکرد بیولوژیک، ۲۶/۳۸ و ۱۷/۱۵ درصد برای عملکرد دانه، ۷۸/۵۶ و ۱۶/۶۴ درصد برای عملکرد کاه بود. در نهایت، تلقیح سویه *Rhizophagus mosseae* نسبت به تیمار شاهد و سویه *Rhizophagus fasciculatum* به ترتیب سبب افزایش ۱۷/۲۶ و ۰/۵۱ درصدی در تعداد شاخه گل‌دهنده و

افزایش ۹/۲۲ و ۱/۶۲ درصدی در طول کپسول شد درحالی‌که کاربرد سویه *Rhizophagus fasciculatum* نسبت به تیمار شاهد و سویه *Rhizophagus mosseae* منجر به افزایش ۵/۵۱ و ۳ درصدی در قطر کپسول شد. بطور کلی، با توجه به اینکه کاربرد سویه‌های قارچ مایکوریزا در پژوهش حاضر سبب بروز اختلاف معنی‌دار بین اکثر صفات نشد، می‌توان احتمال داد تنوع ژنتیکی ایجاد شده ناشی از پتانسیل ژنتیکی اکوتیپ‌های کشت شده می‌باشد. تجزیه همبستگی ساده صفات مورد ارزیابی حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار صفت عملکرد دانه با صفات طول ریشه، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد شاخه فرعی، تعداد شاخه گل‌دهنده، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول بود. صفات تعداد شاخه گل‌دهنده و عملکرد بیولوژیک بیشترین اثرهای مستقیم و مثبت را بر صفت عملکرد دانه اکوتیپ‌های سیاه‌دانه داشتند و بیشترین اثر مستقیم منفی بر روی صفت عملکرد دانه مربوط به صفت وزن عملکرد کاه بود. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در راستای انتخاب اکوتیپ‌های برتر گیاه سیاه‌دانه به منظور کشت در نواحی شرق ایران و هم‌چنین معرفی شاخص‌های مؤثر در افزایش عملکرد بود که می‌توانند مورد توجه اصلاح‌گران گیاه دارویی سیاه‌دلنه قرار گیرند. با این‌حال، جهت اطمینان از نتایج فوق و تشخیص میزان عوامل دخیل در افزایش عملکرد، پژوهش‌های مشابه دیگری در مناطق مختلف مورد نیاز است.

تعارض منافع

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

References

Abadi, B.H.M., Ganjali, H.R. and Mobasser, H.R. 2015. Effect of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on some characteristics of black cumin. *Biological Forum-Research Trend*, *7*, PP.1115-1120 [In Persian]. **doi: 10.22092/ijmapr.2018.121269.2287**

Abdipour, M., Ramazani, S.H.R., Younessi Hmazekhanlu, M. and Niazian, M. 2018. Modeling oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) using artificial neural network and multiple linear regression approaches. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *95*, PP.283-297. **doi:10.1002/aocs.12027**

Arnon, DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*, *24*, PP.1-15. **doi:10.1104/pp.24.1.1**

Bahmani, K., Darbandi, A.I., Ramshini, H.A., Moradi, N. and Akbari, A. 2015. Agro-morphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. *Industrial Crops and Products*, *77*, PP.282-294. **doi:10.1016/j.indcrop.2015.08.059**

Bahrami Najad, S. and Papzan, A. 2006. Effect of row spacing on different characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.) under Kermanshah conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *8*, PP.241-249 [In Persian].

Bardideh, K., Kahrizi, D. and Ghobadi, M.E. 2013. Character association and path analysis of black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes under different irrigation regimes. *Notulae Scientia Biologicae*, *5*, PP.104-108. **doi: 10.15835/nsb518968**

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M. and Zhang, L. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Front Plant Science*, 1068. **doi: 10.3389/fpls.2019.01068**

Bhandari, H.R., Bhanu, A.N., Srivastava, K., Singh, M.N. and Shreya, H.A. 2017. Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. *Advances in Plants and Agriculture Research*, *7*, PP.279-286. **doi:**

10.15406/apar.2017.07.00255

Boskabady, M.H. and Shirmohammadi, B. 2002. Effect of *Nigella sativa* on isolated guinea pig trachea. *Archives of Iranian Medicine*, *5*, PP.103-107.

Campo, S., Martín-Cardoso, H., Olivé, M., Pla, E., Catala-Forner, M., Martínez-Eixarch, M. and San Segundo, B. 2020. Effect of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on growth, productivity and blast resistance in rice. *Rice*, *13*, PP.1-14. **doi: 10.1186/s12284-020-00402-7**

Cely, M.V., De Oliveira, A.G., De Freitas, V.F., De Luca, M.B., Barazetti, A.R., Dos Santos, I.M. and Andrade, G. 2016. Inoculant of arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus clarus*) increase yield of soybean and cotton under field conditions. *Frontiers in Microbiology*, *7*, PP.1-9. **doi: 10.3389/fmicb.2016.00720**

Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E. and Reinhardt, D. 2018. Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi–from ecology to application. *Frontiers in Plant Science*, 1270. **doi: 10.3389/fpls.2018.01270**

Dalkani, M., Darvishzadeh, R. and Hassani, A. 2011. Correlation and sequential path analysis in Ajowan (*Carumcopticum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, *5*, PP.211-216.

Dalkani, M., Hassani, A. and Darvishzadeh, R. 2012. Determination of the genetic variation in Ajowan (*CarumCopticum* L.) populations using multivariate statistical techniques. *Revista Ciência Agronômica*, *43*, PP.698-705. **doi: 10.1590/s1806-66902012000400011**

D'Antuono, L.F., Moretti, A. and Lovato, A.F. 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. *Industrial Crops and Products*, *15*, PP.59-69. **doi: 10.1016/s0926-6690(01)00096-6**

Darakeh, S.A.S.S., Weisany, W., Diyanat, M. and Ebrahimi, R. 2021. Bio-organic fertilizers induce biochemical changes and affect seed oil fatty acids composition in black cumin (*Nigella sativa* Linn). *Industrial Crops and Products*, *164*, PP.1-8. **doi:10.1016/j.indcrop.2021.113383**

Dogan, R. 2009. The correlation and path coefficient analysis for yield and some yield components of durum wheat (*Triticumturgidum* var. durum L.) in west Anatolia conditions. *Pakistan Journal of Botany*, *41*, PP.1081-1089.

Fallahi, H.R., Taherpour Kalantari, R., Asadian, A.H., Aghhavani-shajari, M. and Ramazani, S.H.R. 2018. Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(3), PP.1-11. 1120 [In Persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2017.211513.654152**

Faravani, M., Razavi, A.R. and Farsi, M. 2006. Study of variation in some agronomic and anatomiccharacters of *Nigella sativa* landraces in Khorasan. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *22*. PP.193-197. [In Persian]. **Available from: https://sid.ir/paper/105620/en**

Fraser, J. and Eaton, G.W. 1983. Application of yield component analysis to crop research. *Field Crop Research*, *39*, PP.787-797.

Ghorbanzadeh Neghab, M. and Zare Mehrjerdi, M. 2018. The study of genetic diversity, correlation between traits and path analysis in black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes. *Journal of Plant Production Research*, *25*, PP.1-12 [In Persian]. **doi: 10.22069/jopp.2018.12268.2111**

Ghosheh, O.A., Houdi, A.A. and Crooks, P.A. 1999. High performance liquid chromatographic analysis of the

pharmacologically active quinones and related compounds in the oil of the black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *19*, PP.757-762. **doi: 10.1016/s0731-7085(98)00300-8**

Golkar, P. and Nourbakhsh, V. 2019. Analysis of genetic diversity and population structure in *Nigella sativa* L. using agronomic traits and molecular markers (SRAP and SCoT). *Industrial Crops and Products*, *130*, PP.170-178. **doi: 10.1016/j.indcrop.2018.12.074**

Hasanzadeh Ghorttapeh, A. and Javadi, H. 2016. Study on the effects of inoculation with biofirtilizers (azotobacter and azospirillum) and nitrogen application on oil, yield and yield components of spring canola in west azerbaijan. *Journal of Crop Production and Processing*, *5*(18), PP.39-50 [In Persian]. **doi: 10.18869/acadpub.jcpp.5.18.39**

Helgason, T. and Fitter, A. 2009. Natural selection and the evolutionary ecology of the Arbuscular mycorrhizal fungi (*Phylum Glomeromycota*). *Journal of Experimental Botany*, *60*, PP.2465-2480. **doi: 10.1093/jxb/erp144**

Ilcim, A., Kokdil, G., Ozbilgin G. and Uygun, C. 2006. Morphology and stem anatomy of some species of *Nigella sativa* L. in Turkey. *Journal of Faculty of Pharmacy*, *35*, PP.19-41.

Javadi Hedayat Abad, F., Nezami, A., Kafi, M. and Shabahang, J. 2015. Effects of sowing time on yield of black seed (*Nigella Sativa* L.) ecotypes under Mashhad conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*, PP.632-640 [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v12i4.45146**

Javanmard, A. and Shekari, F. 2016. Improvement of seed yield, its components and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by applications of chemical and organic fertilizers. *Journal of Crop Ecophysiology*, *1*, PP.35-56 [In Persian].

Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. 2012. Physiology of environmental stresses in plants. Second edition. Publication of University of Mashhad. 502 PP. [In Persian].

Kheiry, A., Barkhori Mehani, F., Soleimani, A., Sani Khani, M. and Arghavani, M. 2021. Study of some morphophysiological characteristics in endemic population of Nigella sativa under water deficits stress in Zanjan climate conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*, PP.213-226 [In Persian]. **doi: 10.22034/saps.2021.43976.2610**

Khorramdel, S., Kouchaki, A., Nasiri Mahallati, M. and Ghorbani, R. 2008. The effect of biological fertilizer application on growth indices of black seed (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *6*, PP.285-293 [In Persian]. **doi: 10.22034/saps.2021.43976.2610**

Lal, R.K. 2007. Associations among agronomic traits and path analysis in fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). *Journal of Sustainable Agriculture*, *30*, PP.21-29. **doi: 10.1300/J064v30n01_04**

Litrico, I. and Violle, C. 2015. Diversity in plant breeding: a new conceptual framework. *Trends in Plant Science*, *20*, PP.604-613. **doi: 10.1016/j.tplants.2015.07.007**

López-Caamal, A. and Tovar-Sánchez, E. 2014. Genetic, morphological, and chemical patterns of plant hybridization. *Revista Chilena de Historia Natural*, *87*, PP.1-14. **doi: 10.1186/s40693-014-0016-0**

Malik, M.F.A., Ashraf, M., Qureshi, A.S. and Ghafoor, A. 2007. Assessment of genetic variability, correlation and path analyses for yield and its components in soybean. *Pakistan Journal of Botany*, *39*, PP.405-413.

Masomi Zavarian, A., Yousefirad, M. and Asghari, M. 2015. Effects of mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative characteristics of Anise plant (*Pimpinella anisum*) under salt stress. *Journal of Medicinal Plants*, *14*, PP.139-148 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2717204.2015.14.56.3.0**

Mehri, N., Moheb AlDini, M., Behnamian, M. and Farmanpour-Kalalagh K. 2022. Phylogenetic, genetic diversity, and population structure analysis of iranian black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes using ISSR molecular markers. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *9*(2), PP.151-163. **doi: 10.22059/ijhst.2021.311894.402**

Mirzaei, K. and Mirzaghaderi, G. 2017. Genetic diversity analysis of Iranian *Nigella sativa* L. landraces using SCoT markers and evaluation of adjusted polymorphism information content. *Plant Genetic Resources*, *15*, PP.64-71. **doi: 10.1017/s1479262115000386**

Mohammadi, L. and Reezi, S. 2017. Root quality increasing and absorption improvement of some nutrients with arbuscular mycorrhiza (*Rhizophagus mosseae*) application in New Guinea impatiens (Impatiens hawkeri) cuttings. *Journal of Plant Process and Function*, *6*(21), PP.301-310 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.22.4**

Mohebodini, M., Mehri, N. and Fathi, R. 2019. Evaluation of Genotype and Environment Effects on Agro-Morphological Traits in Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) Ecotypes. *Journal of Crop Breeding*, *11*, PP.108-117 [In Persian]. **doi: 10.29252/jcb.11.30.108**

Mouhajir, F., Pedersen, J.A., Rejdali, M. and Towers, G.H. 1999. Antimicrobial thymohydroquinones of Moroccan *Nigella sativa* seeds detected by electron spin resonance. *Pharmaceutical Biology*, *37*, PP.391-395. **doi: 10.1076/phbi.37.5.391.6052**

Nadeem, M.A., Nawaz, M.A., Shahid, M.Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yıldız, M. and Baloch, F.S. 2018. DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, *32*, PP.261-285. **doi:10.1080/13102818.2017.1400401**

Niazian, M., Rajabi, A., Amiri, R., Orazizadeh, M.R. and Sharifi, H. 2012. Surveying the relations among traits affecting root yield and sugar content in o-type lines of sugar beet for winter sowing. *Plant Production*, *35*, PP.115-135 [In Persian].

Niazian, M., Sadat Noori, S.A., Tohidfar, M. and Mortazavian, S.M.M. 2017. Essential oil yield and agro-morphological traits in some Iranian ecotypes of ajowan (*Carum copticum* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *20*, PP.1151-1156. **doi:10.1080/0972060x.2017.1326849**

Niazian, M., Sadat-Noori, S.A. and Abdipour, M. 2018a. Modeling the seed yield of Ajowan (*Trachyspermumammi* L.) using artificial neural network and multiple linear regression models. *Industrial Crops and Products*, *117*, PP.224-234. **doi: 10.1016/j.indcrop.2018.03.013**

Pandey, J., Scheuring, D.C., Koym, J.W., Coombs, J., Novy, R.G., Thompson, A.L. and Vales, M.I. 2021. Genetic diversity and population structure of advanced clones selected over forty years by a potato breeding program in the USA. *Scientific Reports*, *11*, PP.1-18. **doi:10.1038/s41598-021-87284-x**

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*, PP.122-135. **doi: 10.3390/agriculture9060122**

Rakeei, A. and Maali-Amiri, R. 2012. The role of epigenetic changes in plant response to abiotic environmental stresses. *Genetics in the Third Millennium*, *10*, PP.2834-2845 [In Persian].

Salamati, M.S. and Zeinali, H. 2013. Evaluation of genetic diversity of some Nigella sativa L. genotypes using Agro-morphological characteristics. *Iranian Journal of medicinal and Aromatic Plants*, *29*, PP.201-214 [In Persian]. **doi:10.22092/ijmapr.2013.2901**

Shah, S. and Kasturi, S.R. 2003. Study on antioxidant and antimicrobial properties of black cumin (*Nigella sativa* Linn). *Journal of Food Science and Technology*, *40*, PP.70-73.

Shamshirgaran, Z., Saeid Nematpour, F. and Safipour Afshar, A. 2016. Effect of mycorrhizal symbiosis on growth, some physiological parameters and cadmium accumulation in black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Plant Process and Function*, *5*(17), PP.133-144 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.12.9**

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India. 300 PP.

Sousa, N.R., Ramos, M.A., Marques, A.P. and Castro, P.M. 2012. The effect of ectomycorrhizal fungi forming symbiosis with Pinus pinaster seedlings exposed to cadmium. *Science of the Total Environment*, *414*, PP.63-67. **doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.10.053**

Tadayyon, A. and Zarei, M. 2014. The effect of arbuscular mycorrhizal fungus Rhizophagus mosseae on the growth and yield of three ecotype of hemp (*Cannabis sativa* L.) under saline soil and saline water. *Journal of Plant Process and Function*, *3*, PP.105-114 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23222727.1393.3.7.2.5**

Yaman, M. 2022. Evaluation of genetic diversity by morphological, biochemical and molecular markers in sour cherry genotypes. *Molecular Biology Reports*, 49, PP.5293–5301. **doi:10.1007/s11033-021-06941-6**

Ying-ning, Z.O.U., Qiang-sheng, W.U., Yan, L.I. and Yong-ming, H.U.A.N.G. 2014. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on root system morphology and sucrose and glucose contents of Poncirus trifoliata. *Yingyong Shengtai Xuebao*, *25*, PP.1125-1129.

Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E. and Rahimi, A. 2019. The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three fennel landrace. *Crops Improvments (Journal of Agricultural Crops Production)*, *20*, PP.831-848 [In Persian]. **doi: 20.1001.1.83372008.1397.20.4.6.5**

Zare Kohan, M., Babaiean Jelodar, N., Tabatabaei, S.A. and Ghasemi Nejad Raeini, M.R. 2020. Stepwise regression analysis of barley genotypes under normal conditions and salinity stress. 4th International Conference on Applied Research in Agriculture, Natural Resources and Environment. Hamedan, February 17, 2020 [In Persian]. **Available from: https://civilica.com/doc/1000374**

Zhang, F., Wang, P., Zou, Y.N., Wu, Q.S. and Kuča, K. 2019. Effects of mycorrhizal fungi on root-hair growth and hormone levels of taproot and lateral roots in trifoliate orange under drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *65*, PP.1316-1330. **doi:10.1080/03650340.2018.1563780**

Zhong, W.L., Li, J.T., Chen, Y.T., Shu, W.S. and Liao, B. 2012. A study on the effects of lead, cadmium and phosphorus on the lead and cadmium uptake efficacy of Viola baoshanensis inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Environmental Monitoring*, *14*, PP.2497-2504. **doi: 10.1039/c2em30333g**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 501-523

Investigating the effects of inoculation of mycorrhizal fungi on yield and yield components of different ecotypes of black seed

Seyyed Hamid Reza Ramazani[1*], Morteza Ghorbany[2]

[1] Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
[2] Department of Biology, College of Science, University of Birjand, Birjand, Iran
[*]Corresponding Author: hrramazani@birjand.ac.ir

Received: 20 January 2022 Accepted: 7 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.302907.1127**

Abstract

Introduction: The application of bio-fertilizers, especially mycorrhizal fungi, is known as one of the most important nutritional approaches in sustainable agriculture and agricultural ecosystem management. Among the numerous microorganisms in the rhizosphere, some have positive effects on plant growth promotion. These microorganisms are bio fertilizers such as plant-growth-promoting rhizobacteria, which colonize the rhizosphere and roots of many plant species and confer beneficial effects to plants. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of two species of arbuscular mycorrhizal funguswas assessed on yield and yield components of three Iranian ecotypes of black seed medicinal plant.

Materials and Methods: To determine the inoculation of mycorrhizal fungi on yield and yield components of different ecotypes of black seed, a factorial experiment in randomized complete block design with three replications was conducted. The experiment was conducted as factorial in Sarayan faculty of agriculture at 2018, with two factors, the *Rhizophagus fasciculatum* and *Rhizophagus mosseae* species of mycorrhizal as first factor, Sarayan, Hamedan, and Shahrekord ecotypes of black seed as second factor, in three replications. The traits studied in this research were plant height, stem diameter, number of branches, the average height of the first branch, root length, total chlorophyll, number of flowering branches, the average height of the first capsule, capsule length, capsule diameter, number of capsules per plant, number of seeds per capsules, 1000-seed weight, grain yield, biological yield, harvest index, and straw yield.

Results and Discussion: The analysis of variance showed significant differences among investigated ecotypes of black seed for all traits. However, none of the above traits were affected by the interaction of Ecotype × mycorrhiza. In addition, the highest values of plant height (19.85 cm), the average height of the first branch (8.99 cm), root length (13.63 cm), the average height of the first capsule (19.16 cm), and capsule length (8.38 cm) for Hamadan ecotype, the highest values of the number of seeds per capsule (53.31 grains), biological yield (75.8 $g.m^{-2}$), grain yield (26.16 $g.m^{-2}$), and straw yield (49.64 $g.m^{-2}$) for Shahrekord ecotype, and the highest 1000-seed weight (2.34 g) and harvest index (42.67%) for Sarayan cultivar were obtained. In other hand, the means of pod diameter, pod length, and number of flowering branches were increased in plants treated with both species of mycorrhizal bio-fertilizer than the control treatment so that the highest values in the number of flowering branches (8.24 cm) and capsule length (8.18 cm) were obtained under the application of *Rhizophagus mosseae*, and the thickest capsules (8.24 cm) were achieved under the application of frtilizers contained *Rhizophagus fasciculatum*. The results of simple correlation analysis showed the positive and significant correlation of seed yield trait with root length, number of secondary branches, number of flowering branches, number of pods per plants, and number of seeds per pod, at 5% probability level, and with biological yield and straw yield traits at 1% probability level. Results of path analysis showed positive direct effect of number of flowering branches and biological yield traits on grain yield and the highest positive direct effect was recorded for biological yield. In contrast, the highest negative direct effect on the grain yield of investigated ecotypes was obtained for the straw yield.

Conclusion: It was shown that there was a significant difference between the three black seed ecotypes in morphological and functional traits, so that Shahrekord and Hamedan ecotypes were

superior in all traits (except thousand seed weight and harvest index) compared to Sarayan ecotype. In general, our findings demonstrated the relationship between morphological traits and yield components of black seed ecotypes under the inoculation of mycorrhiza strains, which can be employed in black seed breeding programs as a reference. Also, it is suggested that ecotypes/genotypes that are better in biological and straw yield traits were used for cretia selection traits in future.

Keywords: Medicinal plant, Path analysis, Seed yield, Symbiotic fungi

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره دوم، پاییز ۱۴۰۲، ص ۵۲۵-۵۳۷

مقاله پژوهشی

تأثیر تیمار نانوذره طلا روی ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری (*Rosmarinus officinals* L.) در دو بازه زمانی مختلف تیمار دهی

مهران جهانتیغ[۱]، محمود سلوکی[۲]، براتعلی فاخری[۲]، نفیسه مهدی نژاد[۲]، عباس بهاری[۳*]، مهدی توکلی زاده[۴و۵]

۱- دانش آموخته دکتری بیوتکنولوژی دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- پژوهشکده فناوریهای نوین زیستی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴- گروه داروسازی سنتی و فارماکوگنوزی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران
۵- گروه فارماکوگنوزی و بیوتکنولوژی دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
* مسئول مکاتبه: bahari@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۱۰/۲۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.305459.1134**

چکیده

رزماری به دلیل خواص دارویی متعدد یکی از گیاهان دارویی سودمند در بین رده‌های مختلف گیاهان هست. نانوذرات به‌عنوان یکی از الیسیتورهای غیر زیستی با استفاده از خواص الکتروشیمیایی که دارند باعث تداخل در مسیر بیوسنتزی ترکیبات موجود در گیاهان می‌شوند. این تحقیق در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌های کشاورزی دانشگاه زنجان سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. همچنین نانوذره طلا به روش احیای شیمیایی در آزمایشگاه دانشگاه زابل تولید شد و سپس تأثیر آن در دو بازه زمانی برداشت ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت و گروه شاهد بر روی میزان افزایش و یا کاهش ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری بررسی شد. در این تحقیق نانوذره طلا بر اساس روش احیای شیمیایی سنتز شد و از طریق آنالیزهای پراش میکروسکوپ الکترونی Scanning Ehectron Microscope (SEM) و اسپکتوفتومتری مورد تأیید قرار گرفت. سپس به‌منظور بررسی اثر نانوذره طلا سنتز شده بر روی تغییرات نسبی مواد مؤثره، گیاهان رزماری با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام نانوذره طلا در دو بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت تیمار گردیدند. ترکیبات روغنی گیاه با دستگاه کلونجر دو بار تقطیر استخراج شد و طیف‌سنج جرمی (GC-MS) روی آن‌ها صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق تغییرات قابل‌توجه را در ترکیبات حاصل از آنالیز GC-MS در روغن گیاه رزماری نشان دادند که هرکدام از این ترکیبات از لحاظ دارویی دارای خصوصیات منحصربه‌فردی می‌باشند. تغییرات در متابولیت‌های ثانویه باعث افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود که می‌تواند در سازگاری به تنش‌ها اهمیت داشته باشد. وربنون یک ترکیب مؤثر در روغن گیاه رزماری هست که در این تحقیق افزایش قابل‌ملاحظه‌ای تحت تیمار نانوذره طلا داشت. با توجه به اهمیت بالای این ترکیب شاید بتوان از این طریق باعث القای حداکثری این ترکیب درون ترکیبات روغنی گیاه رزماری و تولید انبوه این ترکیب جهت بررسی‌های آینده شد.

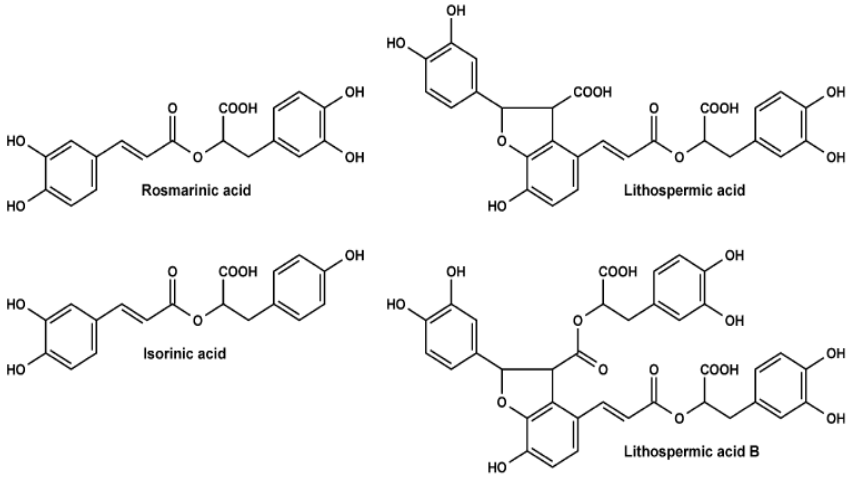
واژه‌های کلیدی: اسپکتوفتومتری، SEM، ترکیبات روغنی، وربنون، GC-MS

مقدمه

رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis* L. متعلق به خانواده نعنائیان است و بومی جنوب اروپا و منطقه خاورمیانه می‌باشد. رزماری یک گیاه چندساله با ارتفاع متوسط ۲ متر و درختچه‌ای با گل‌های آبی است. گیاه رزماری در درجه اول به خاطر برگ‌ها و روغن آن کشت می‌شود، زیرا عطر ماندگار چوب آن در لوازم آرایشی، صابون، عطر و غیره بکار می‌رود (Duke, 2002). بر اساس اداره غذا و دارو آمریکا روغن‌های فرار با غلظت کمتر از ۲ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در هرروز در گروه ترکیبات مجاز جهت افزودنی‌های مجاز و ایمن شناخته می‌شوند (Anonymous, 2010). از طرفی دیگر آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی به دلیل عوارضی که دارند کمتر موردتوجه قرار می‌گیرند و ترکیبات روغنی گیاه رزماری به خاطر اثرات آنتی‌اکسیدانی طبیعی که دارد می‌تولند بیشتر موردتوجه محققین تولید دارو قرار گیرد (Peng *et al*., 2005). ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری دارای فعالیت‌های ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهاب بوده و هم‌چنین برای درمان زخم معده، آب‌مروارید، سرطان، آرتریت روماتوئید و آسم به کار می‌رود (Petersen *et al*., 2009). ترکیبات روغنی عطری گیاهان دارویی به روغن‌های اتری معروف هستند و این

ترکیبات روغنی با استفاده از روش‌های مختلف ازجمله تخمیر و تقطیر از گیاهان استخراج می‌گردند (Pavelkova *et al*., 2014).

جهت افزایش تولید ترکیبات فنلی در گیاهان، یک روش مطلوب قرار دادن گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی است که در حقیقت این میزان افزایش در سطوح بیوسنتزی و انباشتگی ترکیبات فنلی در بافت‌های گیاهی به خاطر واکنش به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان است (Dixon and Paiva, 1995). ترپنوئیدها یکی از گروه‌های مهم در ترکیبات روغن گیاه رزماری تلقی می‌شوند که این ترکیبات از رایج‌ترین نوع ترپن‌ها، مونوترپن و دی‌ترپن‌ها هستند (Munne-Bosch and Alegre, 2000; Tawfik, 1992). دی‌ترپن‌ها (کارنوسیک اسید و کارنوسول) با توجه به داشتن فعالیت‌های ضد سرطانی در درمان تومورهای مختلف مورداستفاده می‌باشند (Akkol *et al*., 2008; Ebrahimabadi *et al*., 2010; Huang *et al*., 2009). ازلحاظ شیمیایی ترکیبات روغنی گیاه رزماری یک استر کافئیک اسید و لاکتیک اسید است (شکل ۱) که یکی از ترکیبات فعال زیستی مهم در گیاهان دارویی می‌باشند (Petersen *et al*., 2009).



شکل ۱- اشکال مختلف ایزومرهای ترکیبات روغنی گیاه رزماری

Figure 1- Different shapes of rosemary oily compounds

کاربرد فناوری نانو در کشاورزی و صنایع غذایی، اولین بار در نقشه راه وزارت کشاورزی آمریکا در سپتامبر ۲۰۰۳ مورد بحث قرار گرفت. فناوری نانو با کمک ابزارهای جدید، توانایی تغییر در صنایع غذایی و کشاورزی را دارد و هم‌چنین برای تشخیص رفتارهای مولکولی بیماری‌ها، کشف سریع بیماری و افزایش توانایی گیاهان برای جذب مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد (Menard *et al*., 2011; Bharali and Mousa, 2013). بنیاد بین‌المللی علمی اذعان نمود که بازار جهانی برای محصولات شامل نانوتکنولوژی می‌تواند تا سال ۲۰۲۰ به ۳ تریلیون دلار آمریکا برسد (Rico *et al*., 2011). بیش از ۱۰۰۰ محصول حاوی نانو ذرات در بازار موجود است (Vance *et al*., 2015). بسته به‌اندازه‌شان، نانو ذرات می‌توانند از پروتوپلاست وارد سلول‌های گیاهی شده از طریق آندوسیتوز از غشاء پلاسمایی عبور نمایند، سپس به‌وسیله جریان سیمپلاستیک از یکجا به مکان دیگری انتقال یابند (Rico *et al*., 2011). این خصوصیت نانوذرات سبب افزایش در متابولیت ترکیبات ثانویه موجود در گیاه می‌شود به‌طوری‌که در تحقیقی اثرات تیمار نانوذره نقره بر روی یکی از ترکیبات ثانویه (الیسین) در گیاه سیر انجام شد مشاهده کردند که نانوذره باعث افزایش متابولیت ثانویه این ترکیب در گیاه سیر شد (Fathi Rezaei, 2020).

در این تحقیق فرضیه ما این است که تیمار نانوذره طلا در بازه‌های زمانی مختلف می‌تولند باعث تحریک آنزیم‌های مسیر تولید ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری شود و در نتیجه سبب افزایش بیان نسبی آن‌ها در گیاه رزماری شود. بر همین اساس ابتدا نانوذره طلا به روش احیای شیمیایی در آزمایشگاه دانشگاه زابل تولید شد و سپس تأثیر آن در دو بازه زمانی

برداشت ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت و گروه شاهد بر روی میزان افزایش و یا کاهش ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری بررسی شد تا از این طریق بتوان در گیاه رزماری ترکیباتی را که در حالت عادی تولید آن‌ها کم یا اصلاً تولید نداشتند را شناسایی و سبب افزایش تولید آن‌ها در گیاه شد و جهت انجام کارهای صنعتی و دارویی در آینده بهره جست.

مواد و روش‌ها

کاشت گیاه

مواد گیاهی هموژنیک گیاه رزماری به طول‌های ۱۰ الی ۱۲ سانتی‌متر و به قطر نیم سانتی‌متر خریداری و پژوهش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌های کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. قلمه‌های گیاهی درون ظروف کوچک حاوی خاک سبک و شسته شده و یونولیت و پرمیت در دماهای شب ۱۰ الی ۱۷ درجه و روز ۲۱ الی ۲۳ درجه ریشه‌دار گردیدند. سپس قلمه‌های ریشه‌دار شده به گلدان‌ها ۵ لیتری حاوی ترکیبی از خاک حاصل‌خیز کشاورزی و شن منتقل شدند.

ساخت نانوذره طلا

نمک طلا ساخت شرکت مرک آلمان خریداری گردید و برای استخراج نانوذره از روش احیای شیمیایی (سدیم سیترات) (Leopold and Lendl, 2003) استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا مقدار ۰/۱ گرم از سدیم سیترات با ۲۰ سی‌سی آب مخلوط گردید. مخلوط به‌دست‌آمده درون حمام آب گرم با درجه حرارت ۶۰ درجه شیک گردید. سپس ۰/۲ گرم PEG و ۰/۰۰۶۸ گرم طلا با ۲۰ سی‌سی آب مقطر مخلوط شد. در انتها مخلوط به‌دست‌آمده از نمک طلا، PEG و آب مقطر به‌آرامی به مخلوط سدیم سیترات اضافه شد (روی شیکر در دمای ۶۰ درجه) و بعد از گذشت ۵ دقیقه تغییر رنگ مشاهده شد (رنگ به‌دست‌آمده آبی کبود بود).

آنالیز اسپکتوفتومتری

مخلوط نانوذره طلا که تغییر رنگ داده بود (آبی کبود) تحت طیف جذبی دستگاه اسپکتوفتومتری قرار گرفت و نتایج به‌دست‌آمده از خروجی دستگاه بررسی شد که بر اساس آن میزان جذب ماکسیمم نانوذره طلا با قطر ۱۳ نانومتر برابر طول موج ۵۲۰ نانومتر و برای نانوذره طلا با قطر ۵۲ نانومتر برابر ۵۳۳ نانومتر می‌باشد (He *et al*., 2005).

آنالیز پراش میکروسکوپ الکترونی (SEM)

نمونه‌ها پس از استخراج به روش احیای شیمیایی به شرکت بیم گستر تابان (BeamGostar 2021-2016) جهت بررسی‌های پراش میکروسکوپ الکترونی (SEM) و صحت وجود نانوذره طلا در نمونه‌های به‌دست‌آمده ارسال گردید.

تیمار نانوذره طلا

تیمار نانوذره طلا با غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام در دو بازه‌ی زمانی مختلف (۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت) و گروه شاهد (فاقد هیچ گروه تیماری) در زمان استقرار کامل قلمه‌ها ازلحاظ ریشه‌دهی و برگ‌دهی بر روی گیاه اسپری شد (Moradi Marjaneh *et al*., 2019). پس از آن لندام‌های هوایی آن‌ها در بازه‌های زمانی مشخص‌شده برداشت شدند و جهت بررسی‌های طیف‌سنج جرمی (GC-MS) در دمای اتاق خشک گردیدند.

استخراج ماده مؤثره رزماری

مقدار ۱۶۰ گرم از بافت برگی گیاه که در دمای اتاق آبگیری شدند، درون دستگاه کلونجر بر روی هیتر به مدت ۳ ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در این تحقیق از حلال آب استفاده شد. درنهایت از سولفات سدیم آنیدر جهت آبگیری نهایی مواد مؤثره بدست آمده استفاده شد و نمونه‌های به‌دست‌آمده در دمای ۴ درجه جهت انجام آنالیزهای بعدی نگهداری شد (Pirbalouti *et al*., 2012; Kralova and Jampilek, 2021).

طیف‌سنج جرمی (GC-MS)

حدود ۴۰۰ میکرو لیتر ماده مؤثره توسط دستگاه (N Agilent 6890Agilent technology USA) که با سیستم تله یونی تجهیز شده بود طیف‌سنجی گردید. در این روش دتکتور و انژکتور در دمای ۲۷۵ درجه و ۲۰۰ درجه به ترتیب ثابت نگه‌داشته شد و گاز هلیوم به‌عنوان حامل در یک نرخ جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد و نسبت شکاف ۱۰۰

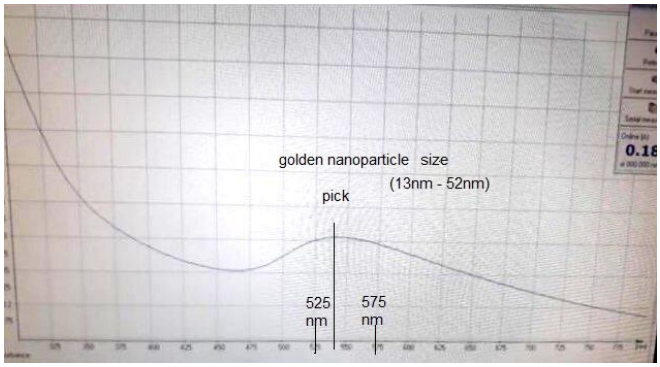
به ۱ تنظیم‌شده بود. دستگاه برای ستون‌های ایزوترمال در دمای ۶۰ درجه به مدت ۱ دقیقه که قابلیت افزایش تا ۳۰۰ درجه برای مدت ۳ دقیقه را هم داشت تنظیم‌شده بود. از زمان ماندگاری و شاخص منطقه‌ای جهت تشخیص ترکیبات موجود در پایگاه داده دستگاه استفاده شد.

نتایج و بحث

ساخت نانوذره طلا

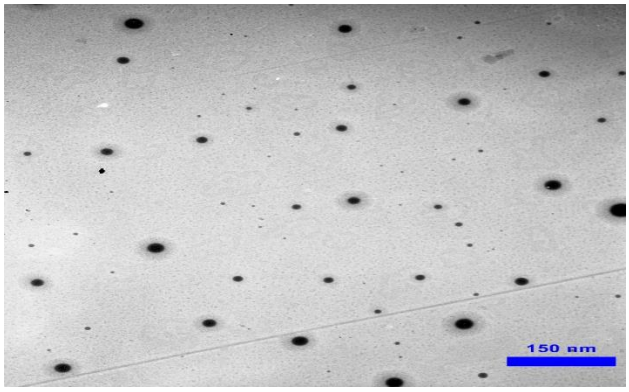
اندازه نانوذرات طلا با توجه به آنالیزهای UV-VIS به میزان طول جذب آنها درون دستگاه بستگی دارد که بر این اساس قطرهای ۱۳ الی ۵۲ نانومتر تحت طول موج‌های ۵۲۰ و ۵۳۳ به ترتیب قرار می‌گیرند (He *et al.*, 2005). در این تحقیق نیز مشاهده گردید که قطر نانوذره طلای به‌دست‌آمده در همین محدوده قرار داشت (شکل ۲) که این نشان‌دهنده صحت وجود نانوذره طلا درون مخلوط به‌دست‌آمده با استفاده از روش احیای شیمیایی هست.

هم‌چنین جهت بررسی‌های بهتر و دقیق‌تر، مخلوط به‌دست‌آمده به شرکت تابان گستر (BeamGostar 2021-©2016) برای آنالیزهای پراش میکروسکوپ الکترونی (SEM) ارسال گردید. این آنالیزها یکی از ابزارهای مورداستفاده در فناوری نانو می‌باشند که از طریق بمباران الکترونی نمونه موردنظر یکسری الکترون‌ها به سمت صفحه دارای بار مثبت رها شده و این الکترون‌ها در آنجا تبدیل به سیگنال می‌شوند. حرکت پرتو بر روی نمونه مجموعه‌ای از سیگنال‌ها را فراهم می‌کند که بر این اساس میکروسکوپ می‌تواند تصویری از سطح نمونه به ابعاد ۱۰ نانومتر را بر صفحه کامپیوتر نمایش دهد. آنالیزهای پراش میکروسکوپ الکترونی (SEM) در این تحقیق وجود نانوذره طلا در ابعاد بین ۱۳ نانومتر الی ۵۰ نانومتر نشان داد (شکل ۳).



شکل ۲- تأیید حضور نانوذره طلا به‌دست‌آمده از روش احیای شیمیایی از طریق تابش اشعه UV-VIS

Figure 2- Confirmation of the presence of gold nanoparticles obtained by chemical reduction method through uv-vis radiation



شکل ۳- رؤیت نانوذره طلا پس از استخراج با بزرگنمایی در حد ۱۵۰ نانومتر

Figure 3- Visibility of gold nanoparticles after extraction with magnification about 150 nm

تیمار نانوذره طلا

مهم‌ترین مواد موجود در روغن رزماری شامل بورنئول، لیمونن، کامفن، ۱ و ۸ سینئول، بورنیل استات، کامفر و آلفا-بتا پینن است. ترکیبات اسانس نیز به محل و شرایط کشت مرتبط هستند. اسیدهای فنلی از ترکیبات دیگر گیاه رزماری می‌باشد که این گروه ترکیبات شامل اسید روزماریک، اسید کافئیک و اسید کلروژنیک می‌شوند. هم‌چنین سالیسیلات به مقدار زیاد، فلاوونوئیدها، ترکیبات تلخ دی ترپنی مانند کارنوزول و ترکیبات تری ترپتی، اجزای تشکیل‌دهنده دیگر این گیاه هستند (Sarmoum *et al*., 2019). نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیبات موجود در گیاه رزماری تحت تأثیر تیمار نانوذره طلا در دو بازه زمانی مختلف برداشت ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت نوسانات زیادی را نسبت به گروه شاهد که فاقد هیچ‌گونه تیماری بودند از خود نشان دادند. (جدول ۱).

جدول ۱-درصد ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری پس تیمار با نانوذره طلا در دو بازه‌ی زمانی مختلف برداشت ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت به‌دست‌آمده از طیف‌سنجی (GC-mass)

Table 1- Compounds in rosemary essential oil after treatment with gold nanoparticles in two harvesting periods of 24 hours and 48 hours Obtained from gas chromatographic studies (GC-mass)

ترکیبات Compound	زمان بازداری Retention Index (RI)	گروه کنترل control aera	سطح زیر منحنی گروه کنترل The area under the curve of the control aera	بازه‌ی ۲۴ ساعت 24 hour period	سطح زیر منحنی بازه‌ی ۲۴ ساعت The area under the 24-hour period curve	بازه‌ی ۴۸ ساعت 48 hours period	سطح زیر منحنی بازه‌ی ۴۸ ساعت The area under the 48-hour period curve	شاخص بازداری کواتس kovats retention index
3-Carene	8.754	1.65	0.34±0.04	1.29	10.16±13.86	1.08	0.29±0.09	C10H16
(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	8.897	100	15.53±2.03	100	30.61±0.87	94.21	16.40±6.10	C10H16
Camphene	9.124	22.46	4.42±1.58	21.66	5.34±0.98	18.24	3.20±1.36	C10H16
Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	9.177	2.33	0.46±0.12	2.11	0.55±0.12	2.05	0.37±0.19	C10H14
3-Octanone	9.442	17.96	3.47±0.53	14.34	3.36±0.57	15.54	2.46±0.69	C8H16O
.beta.-Myrcene	9.516	16.39	3.19±0.74	18.71	4.53±0.31	14.61	2.53±0.71	C10H16
.alpha.-Phellandrene	9.818	1.29	0.25±0.04	1.2	0.29±0.03	1.24	0.22±0.09	C10H16
(+)-4-Carene	9.977	2.95	0.57±0.08	2.50	0.61±0.06	2.67	0.47±0.16	C10H16
o-Cymene	10.083	3.37	0.71±0.03	3.32	0.80±0.02	3.87	0.65±0.05	C10H14
D-Limonene	10.157	19.23	3.70±0.36	16.28	3.93±0.19	18.68	3.20±0.80	C10H16
Eucalyptol	10.236	44.97	8.57±0.01	39.86	9.59±0.23	43.27	6.96±1.17	C10H18O
.gamma.-Terpinene	10.554	4.91	0.94±0.04	3.88	0.94±0.01	4.82	0.82±0.20	C10H16
2-Carene	11.009	0.00	0.00±0.00	4.68	1.11±0.08	0.00	0.00±0.00	C10H16
Linalool	11.041	14.2	2.70±0.08	10.16	2.38±0.43	17.03	2.62±1.31	C10H18O
trans-Verbenol	11.914	3.23	0.61±0.04	1.22	0.45±0.13	3.75	0.60±0.13	C10H16O
(+)-2-Bornanone	12.020	48.51	9.19±0.63	26.82	8.59±0.77	51.83	8.03±3.48	C10H16O
Bicyclo[2.2.1]heptane-2,5-diol, 1,7,7-trimethyl-, (2-endo,5-exo)-	12.227	6.74	1.29±0.01	18.5	3.86±4.11	7.75	1.22±0.42	C10H18O2
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, (1S-endo)-	12.306	36.76	6.69±0.53	12.74	3.45±2.79	48.78	7.65±2.66	C10H18O
.alpha.-Terpineol	12.608	10.85	2.03±0.24	7.77	1.82±0.33	20.03	2.38±0.69	C10H18O
3-Cyclopentene-1-ethanol, 2,2,4-trimethyl-	12.746	9.09	1.70±0.38	6.63	1.55±0.32	14.52	2.35±0.32	C10H18O
Ethanol, 2-(3,3-dimethylcyclohexylidene)-, (Z)-	13.423	6.94	1.32±0.11	4.89	1.13±0.28	13.49	2.04±0.28	C10H18O
(1S,3S,4S,5R)-1-Isopropyl-4-methylbicyclo[3.1.0]hexan-3-ol	13.540	8.55	1.62±0.16	5.94	1.38±0.33	12.69	2.27±0.06	C10H18O
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-,acetate, (1S-endo)-	14.143	19.97	3.74±0.35	13.74	3.20±0.66	26.01	4.27±0.11	C12H20O2
Caryophyllene	16.526	8.85	1.64±0.49	4.83	1.10±0.40	16.52	2.56±0.53	C15H24
Terpinen-4-ol	12.428	14.63	2.77±0.21	5.09	1.19±0.22	17.5	2.70±1.28	C10H18O

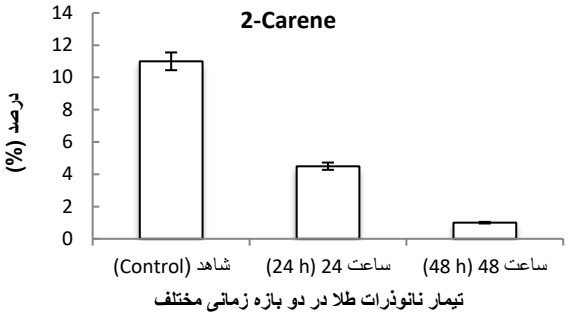
ادامه جدول ۱

Table 1 Continued

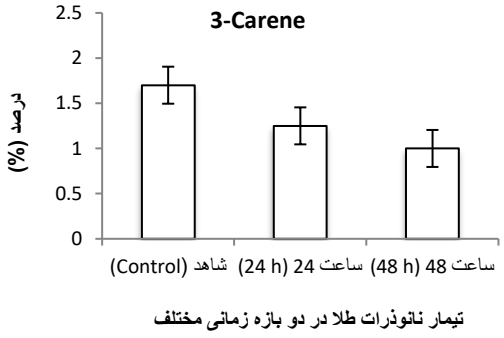
Bicyclo[3.1.1]heptan-3-one, 2,6,6-trimethyl-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-	12.470	67.97	12.64±3.63	4.16	1.40±0.21	100	14.21±0.76	C10H16O
Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one, 4,6,6-trimethyl-, (1S)-	13.010	0.00	0.00±0.00	45.68	10.81±1.00	62.93	14.02±1.40	C10H14O
1-Octen-3-ol	9.500	1.68	0.33±0.04	1.75	0.38±0.04	2.21	0.34±0.05	C8H16O
Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	9.691	4.64	0.90±0.16	00.00	0.00±0.00	3.68	0.65±0.30	C10H16
3-Octanol	9.786	1.31	0.21±0.02	00.00	0.00±0.00	2.29	0.38±0.09	C8H18O
Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	11.570	6.61	1.26±0.03	00.00	0.00±0.00	6.69	1.14±0.21	C10H16
2,6,6-Trimethylbicyclo[3.2.0]hept-2-en-7-one	11.861	1.26	0.25±0.04	1.38	0.29±0.03	1.94	0.39±0.17	C10H14O
cis-Verbenol	12.502	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.06	0.17±0.04	C10H16O
3-Cyclopentene-1-ethanol, 2,2,4-trimethyl-	12.804	1.14	0.22±0.01	00.00	0.00±0.00	1.95	0.47±0.28	C10H18O
trans-3(10)-Caren-2-ol	13.042	1.15	0.030±0.06	00.00	0.00±0.00	1.87	0.52±0.37	C10H16O
(-)-Carvone	14.106	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.13	0.13±0.03	C10H14O
Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl-	15.409	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.20	0.20±0.01	C10H16
Cyclopentane, 1-acetoxymethyl-3-isopropenyl-2-methyl-	16.134	1.30	0.22±0.04	1.31	0.31±0.06	1.73	0.35±0.04	C12H20O2
4,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one	16.367	1.62	0.32±0.10	1.30	0.35±0.12	2.57	0.39±0.06	C10H14O
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	17.203	1.10	0.23±0.06	00.00	0.00±0.00	1.79	0.31±0.06	C13H22O
Humulene	17.585	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	2.78	0.46±0.01	C15H24
Caryophyllene oxide	19.231	2.29	0.44±0.02	2.00	0.00±0.00	3.16	0.87±0.42	C15H24O
2-(4a,8-Dimethyl-2,3,4,4a,5,6-hexahydronaphthalen-2-yl)propan-1-ol	19.279	00.00	0.00±0.00	00.00	0.48±0.11	1.71	0.31±0.20	C15H24O
11,11-Dimethyl-4,8-dimethylenebicyclo[7.2.0]undecan-3-ol	19.760	1.41	0.39±0.21	1.24	0.32±0.09	4.57	0.85±0.63	C15H24O
Isoaromadendrene epoxide	19.935	3.48	0.66±0.07	3.89	0.99±0.29	14.23	2.61±1.79	C15H24O
cis-Chrysanthenol	20.020	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.37	0.24±0.07	C10H16O
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	15.710	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.03	0.34±0.18	C10H14O
2,7-Octadiene-1,6-diol, 2,6-dimethyl-	11.729	1.01	0.29±0.10	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	C10H18O2
(-)-Myrtenol	13.402	1.40	0.38±0.11	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	C10H16O
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	10.458	3.67	0.86±0.33	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	C10H14
(1R,3E,7E,11R)-1,5,5,8-Tetramethyl-12-oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene	19.506	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.13	0.37±0.20	C15H24O
Cyclopentaneacetic acid, 3-oxo-2-(2-pentenyl)-,methyl ester, [1.alpha.,2.alpha. (Z)]-	19.676	00.00	0.00±0.00	00.00	0.00±0.00	1.04	0.36±0.19	C13H20O3

با توجه به جدول ۱ ترکیب ۳-Carene در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت نسبت به گروه شاهد مقادیر آن کاهش یافت به‌طوری‌که در بازه‌ی زمانی ۴۸ ساعت این کاهش بیشتر بودند (شکل ۴). ترکیب 3-Carene در بازه‌ی زمانی ۴۸ ساعت کمترین میزان را نسبت به گروه شاهد از خود نشان داد و در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساعت نسبت به گروه شاهد کاهش را از خود

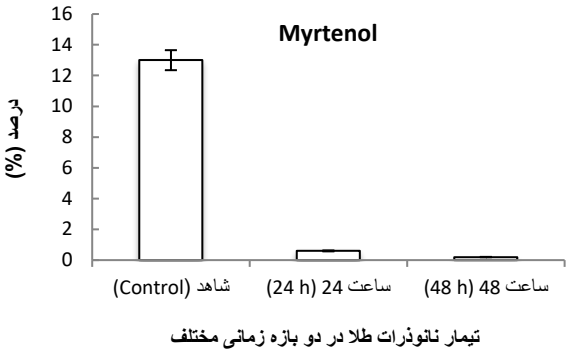
نشـــان داد (شـــکل ۴). 3-Carene یک مونوترپن دارای اثرات ضـدالتهاب، ضـد اضـطراب و ضـدمیکروبی دارد و در تحقیقی که به‌تازگی انجام‌شـده ثابت‌شـده که این ترکیب باعث ایجاد خواب طولانی مـی‌گردد و اثرات داروی آرام‌بخش و ضـــد خواب پنتوبربیتول را در افراد تحت آزمایش کاهش داد (Woo *et al.*, 2019).



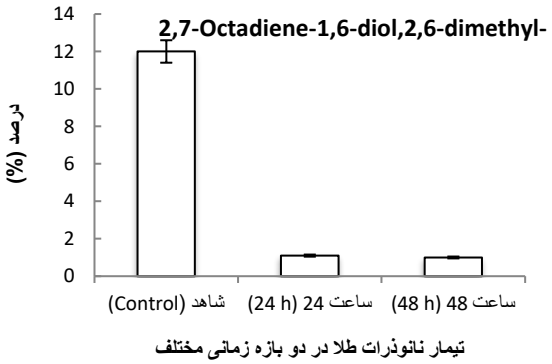
Treatment of gold nanoparticles in two different time periods



Treatment of gold nanoparticles in two different time periods



Treatment of gold nanoparticles in two different time periods



Treatment of gold nanoparticles in two different time periods

Error bar: نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار در هر تیمار هست.

Error bar: Indicates standard deviation in each treatment.

شکل ۴- نمایش تغییرات در برخی ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری تحت تیمار نانوذره طلا در دو بازه‌ی زمانی برداشت ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت

Figure 4- Demonstration of changes in some compounds in rosemary essential oil treated with gold nanoparticles in two harvesting periods of 24 hours and 48 hours

تـرکـیـبـات Bicyclo[2.2.1]heptane-2-endo,5-exo، 2,5-diol,1,7,7-trimethyl، Eucalyptol، beta.-Myrcene و Camphene نیز در بازه‌ی زمانی ۲۴ ســاعت افزایش را نشـان دادند ولی این افزایش نســبت به 3-Carene قابل‌توجه نبود. میرسـن یا-β میرسـن، هیدروکربن طبیعی آلکن اسـت و به‌عنوان یک مونوترپن طبقه‌بندی می‌شـــود. میرســـن ماده میانی مهمی اســـت که در صـــنعت عطرســـازی مورداســـتفاده قرار می‌گیرد. Camphene یک مونوترپن بی چرخه اسـت. این ماده تقریباً در آب نامحلول است کامفن در تهیه عطرها و به‌عنوان یک افزودنی غذایی برای طعم‌دهنده اسـتفاده می‌شـود (Sarmoum *et al.*, 2019).

تـرکـیـبـات ۳-Octanone و (+)-۲-Bornanone رونـد کاهشـــی را با افزایش زمان نشـــان دادند با این تفاوت که این اختلاف زیـاد معنی‌دار نبودنـد. ۳-اکتـانون یـک کتون طبیعی اسـت. از این ماده به‌عنوان عطر و طعم اسـتفاده می‌شـود. برنانون یا کافور امروزه به‌عنوان نرم‌کننده نیترات سلولز، دافع حشرات و

مومیایی و هم‌چنین در آتش‌بازی و داروسازی نیز استفاده می‌شود. در زنجیره غذایی مردم آسیا به‌عنوان چاشنی در شیرینی استفاده می‌شود. در باور مردم عامیانه مار و سایر خزندگان از بوی کافور می‌ترسند (Sarmoum *et al*., 2019).

سطح بیان ترکیب Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol,1,7,7-trimethyl-, (1S-endo)- نیز منحصراً در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساعت کاهش یافت ولی بالعکس در بازه‌ی زمانی ۴۸ ساعت افزایش را نسبت به گروه شاهد نشان داد که نشان‌دهنده‌ی این هست که برخی ترکیبات روغنی موجود در گیاه رزماری امکان دارد تحت تأثیر تیمار نانوذره در یک بازه‌ی زمانی مشخص از خود فعالیت را نشان دهند.

ترکیبات Cyclopentene-1-ethanol, 2,2,4-trimethyl-، Ethanol,2-(3,3-dimethylcyclohexylidene)-, (Z)-(1S,3S,4S,5R)-1-Isopropyl-4-methylbicyclo[3.1.0]hexan-3-ol، Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol,1,7,7-trimethyl-,acetate, (1S-endo)-، Caryophyllene، Bicyclo[3.1.1]heptan-3-one,2,6,6-trimethyl-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)- و Isoaromadendrene epoxide در بازه‌ی زمانی برداشت ۲۴ ساعت افزایش نسبی را نسبت به سایر گروه‌های شاهد و ۴۸ ساعت نشان دادند.

ترکیبات Octadiene-1,6-diol,2,6-dimethyl-، (-)-Myrtenol و (Benzene,1-methyl-3-(1-methylethyl)- مقادیر آن‌ها در گروه‌های ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت کاهش چشم‌گیری نسبت به گروه شاهد داشتند و این بدین معنی می‌باشد که نانوذره طلا احتمالاً سبب خاموشی برخی ژن‌های مسیر تولید این ترکیبات شده است (شکل ۴).

ترکیبات Terpinen-4-ol و Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol,1,7,7-trimethyl-, 1S-endo(-) در بازه‌ی زمانی برداشت ۲۴ ساعت کاهش نسبی را نسبت به گروه شاهد نشان دادند ولی در بازه‌ی زمانی برداشت ۴۸ ساعت یک افزایش نسبی را نسبت به گروه شاهد مشاهده شد.

ترکیبات Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one,4,6,6-trimethyl-, (1S)- و ۲-(۴-a,8-Dimethyl-2,3,4,4a,5,6-hexahydronaphthalen-2-yl)propan-1-ol منحصراً در بازه‌های زمانی برداشت ۲۴ و ۴۸ ساعت مشاهده شدند درصورتی‌که در گروه شاهد حضوری از خود نشان ندادند و این بدین معنی هست که تیمار نانوذره باعث تحریک و فعال‌سازی یکسری ژن‌های مسیر تولید این ترکیبات شده است.

نانوذره طلا سبب تغییرات قابل‌توجه در میزان وربنون در گیاه رزماری شد. نتایج طیف‌سنج جرمی (GC-MS) نشان دادند که برخی از ایزومرهای وربنون که در گروه کنترل (روغن‌های رزماری فاقد نانوذره طلا) موجود نبودند اما در گروه‌های تیماری تحت تیمار نانوذره طلا در دو بازه‌ی زمانی برداشت ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت مشاهده گردید. وربنون (که در اصطلاح verbena triphylla نامیده می‌شود) یک ترکیب ارگانیک طبیعی است که در گروه‌های شاهد قابل‌شناسایی نبودند اما در دیگر گروه‌های تیماری (روغن‌های رزماری آغشته به نانوذره طلا در دو بازه‌ی زمانی برداشت ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت) مشاهده شد به‌طوری‌که گیاهان رزماری را وادار به تولید ۴۵ الی ۶۵ درصد از ایزومرهای این ترکیب در دو بازه‌ی زمانی به ترتیب ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت کرد. افزایش مقدار متابولیت‌های ثانویه و روغن‌های ضروری تحت تأثیر تنش‌ها می‌تواند به علت افزایش تراکم غدد ترشح‌کننده این ترکیبات و یا افزایش تعداد این غدد باشد (Charles *et al*., 1990).

نانوذره طلا هیچ‌گونه اثر معنی‌دار بر روی برخی از ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری نداشت. ترکیباتی مانند alpha.-Phellandrene، (+)-4-Carene، o-Cymene، D-Limonene، gamma.-Terpinene، Linalool، trans-Verbenol، alpha.-Terpineol، 1-Octen-3-ol، Cyclopentane,1-acetoxymethyl-3-isopropenyl-2-methyl-، 4,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one، 11,11-Dimethyl-4,8-dimethylenebicyclo[7.2.0]undecan-3-ol، 2,6,6-Trimethylbicyclo[3.2.0]hept-2-en-7-one و Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene,4-methylene-1-(1-methylethyl)- هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری را در بازه‌های زمانی مختلف نسبت به گروه شاهد از خود نشان ندادند یا اگر دیده شد بسیار ناچیز بودند. می‌توان نتیجه گرفت که تنش نانو ذرات طلا نمی‌تواند بر روی تمامی محتوای ترکیبات موجود در گیاهان و یا بیان ژن‌های درگیر در مسیر تولید ترکیبات خاص درون گیاه تأثیر داشته باشند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی بررسی‌های صورت گرفته بر روی بیان ترکیبات روغنی موجود در گیاه رزماری نشان دادند که تیمار نانوذره طلا بر روی تمامی ترکیبات موجود در روغن گیاه رزماری تأثیر معنی‌داری نداشت اما توانست تعدادی از ترکیبات مهم را به‌طور معنی‌دار افزایش دهد. ترکیب وربنون که نقش ضدالتهابی و ضد میکروبی دارد افزایش چشم‌گیری درون ترکیبات روغنی گیاه رزماری از خود نشان داد. با توجه به تغییرات ترکیبات روغنی مهم گیاه رزماری شاید بتوان جهت القای حداکثری این ترکیبات و تولید انبوه از نانو ذرات در آینده استفاده گردد.

References

Akkol, E.K., Goger, F., Kosar, M. and Baser, K.H.C. 2008. Phenolic composition and biological activities of Salvia halophila and Salvia virgata from Turkey. *Food Chemistry*, *108*, PP.942-949. **doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.071**

Anonymous. 2010. Available at: Scientific opinion of the panel on the use of oregano and lemon balm extracts as a food additive. *European Food Safety Authority Journal*, *8*(2), 1514.

Bharali, D.J. and Mousa, S.A. 2013. Relevance of Nanotechnology in Modulating Oxidative Stress: An Overview. *Oxidative Stress and Nanotechnology: Methods and Protocols*, PP.289-292**. doi: 10.1007/978-1-62703-475-3_19**

Charles, D.J., Joly, R.J. and Simon, J.E. 1990. Effect of osmotic stress on the essential oil content and composition or peppermint. *Phytochemistry*, *29*, PP.2837-2840. **doi: 10.1016/0031-9422(90)87087-b**

Dixon, R.A. and Paiva, N.L. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The plant cell* 7, 1085.

Duke, J.A. 2002. Handbook of medicinal herbs *(CRC press).* **doi: 10.1105/tpc.7.7.1085**

Ebrahimabadi, A.H., Mazoochi, A., Kashi, F.J., Djafari-Bidgoli, Z. and Batooli, H. 2010. Essential oil composition and antioxidant and antimicrobial properties of the aerial parts of *Salvia eremophila* Boiss. from Iran. *Food and chemical toxicology*, *48*(5), PP.1371-1376. **doi: 10.1016/j.fct.2010.03.003**

Fathi Rezaei, P. 2020. Evaluation of the effect of abiotic elicitor on some biochemical parameters of garlic. *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, *33*(3), PP.405-419. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.23832738.1399.33.3.7.1**

He, Y.Q., Liu, S.P., Kong, L. and Liu, Z.F. 2005. A study on the sizes and concentrations of gold nanoparticles by spectra of absorption, resonance Rayleigh scattering and resonance non-linear scattering. *Spectrochim Acta A Mol Biomol* Spectrosc, *61*(13-14), PP.2861-2866. **doi: 10.1016/j.saa.2004.10.035**

Huang, D.W., Sherman, B.T. and Lempicki, R.A. 2009. Systematic and integrative analysis of large gene lists using DAVID bioinformatics resources. *Nature protocols*, *4*, PP.44-57. **doi: 10.1038/nprot.2008.211**

Jamal-Omidi, F., Mahjal-Shoja, H. and Seriri, R. 2020. Study of anatomical structure of Melissa officinalis and the effects of drought stress and salicylic acid treatment on its morphological and molecular characteristics. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *33*(3), PP.528-543. [In Persian]. **dor: 20.1001.1.23832592.1399.33.3.20.4**

Kazemi, F. 2002. Effect of different drying methods and Essential method of obtaining on the essential qualitative and essential oil components Roman chamomile flowers, *MS.c thesis of Horticultural Sciences,tarbiat*

Modares University, Faculty of Agriculture. [In Persian].

Kralova, K. and Jampilek, J. 2021. Responses of Medicinal and Aromatic Plants to Engineered Nanoparticles. *Applied Sciences*, *11*(4), 1813. **doi: 10.3390/app11041813**

Leopold, N. and Lendl, B. 2003. A new method for fast preparation of highly surface-enhanced Raman scattering (SERS) active silver colloids at room temperature by reduction of silver nitrate with hydroxylamine hydrochloride. *Journal of Physical* Chemistry, *107*, PP.5723-5727. **doi: 10.1021/jp027460u**

Menard, A., Drobne, D. and Jemec, A. 2011. Ecotoxicity of nanosized TiO 2. Review of in vivo data. *Environmental Pollution*, *159*, PP.677-684. **doi: 10.1016/j.envpol.2010.11.027**

Moradi Marjaneh, M., Galavi, E., Ramroudi, M. and Salouki, M. 2019. Investigation of some qualitative characteristics of rosemary plant under the influence of foliar application of different nutrients at different harvest times. *Journal of Crop Production*, *11*(4), PP.119-134 [In Persian].

Munne-Bosch, S. and Alegre, L. 2000. Changes in carotenoids, tocopherols and diterpenes during drought and recovery, and the biological significance of chlorophyll loss in Rosmarinus officinalis plants. *Planta*, *210*, PP.925-931. **doi: 10.1007/s004250050699**

Pavelkova, A., Kacaniova, M., Horska, E., Rovna, K., Hleba, L. and Petrova, J. 2014. The effect of vacuum packaging, EDTA, oregano and thyme oils on the microbiological quality of chicken's breast. *Anaerobe*, *29*, PP.128 – 133**. doi: 10.1016/j.anaerobe.2013.09.002**

Peng, Y., Yuan, J., Liu, F. and Ye, J. 2005. Determination of active components in rosemary by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, *39*(3), PP.431 -437. **doi: 10.1016/j.jpba.2005.03.033**

Petersen, M., Abdullah, Y., Benner, J., Eberle, D., Gehlen, K., Hücherig, S., Janiak, V., Kim, K.H., Sander, M. and Weitzel, C. 2009. Evolution of rosmarinic acid biosynthesis. *Phytochemistry*, *70*, PP.1663-1679**. doi: 10.1016/j.phytochem.2009.05.010**

Pirbalouti, A.G., Jahanbazi, P., Enteshari, S., Malekpoor, F. and Hamedi, B. 2010. Antimicrobial activity of some Iranian medicinal plants. *Archives of Biological Sciences*, *62*(3), PP.633-642. **doi: 10.2298/ABS1003633G**

Riahi-Madvar, A., Nasiri-Bazanjani, M., Rezaei, F. and Baghizadeh, A. 2018. Accumulation of rosmarinic acid and tyrosine aminotransferase gene expression in seedlings of lemongrass (*Melissa officinalis*) treated with copper oxide nanoparticles. *Cellular and Molecular Research (Iran biology magazine)*, *31*(1), PP.36-45.

Rico, C.M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J.R. and Gardea-Torresdey, J.L. 2011. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*, PP.3485-3498. **doi: 10.1021/jf104517j**

Sarmoum, R., Haid, S., Biche, M., Djazouli, Z., Zebib, B. and Merah, O. 2019 Effect of Salinity and Water Stress on the Essential Oil Components of Rosemary (*Rosmarinus officinalis L*). *Agronomy*, *9*(5), PP.2073-4395. **doi: 10.3390/agronomy9050214**

Simmons, D. and Parsons, R.F. 1987. Seasonal variation in the volatile leaf oils of two Eucalyptus species. *Biochemical Systematic and Ecology*, *15*(2), PP.209-215. **doi: 10.1016/0305-1978(87)90021-4**

Sparham, E., Saeedi Sar, S., Mahmoudzadeh, A.H. and Hadi, M.R. 2017. Effect of ZnO Oxide Nanoparticles (ZnO) on Germination, Biochemical and Cell Ultrastructure Properties of Castor (*Ricinus communis* L.). *Cell and Tissue*, *8*(2), 151-164. [In Persian].

Vance, M.E., Kuiken, T., Vejerano, E.P., McGinnis, S.P., Hochella, M.F., Rejeski, D. and Hull, M.S. 2015. Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, *6*, PP.1769-1780. **doi: 10.3762/bjnano.6.181**

Tawfik, A.A.A. 1992. Factors affecting proliferation, essential oil yield, and monoterpenoid constituents of rosemary *Rosmarinus officinalis* and sage *Salvia officinalis* cultured in vitro.*University of Nebraska - Lincoln*.

Woo, J., Yang, H., Yoon, M., Gadhe, C.G., Pae, A.N., Cho, S. and Lee, C.J. 2019. 3-Carene, a Phytoncide from Pine Tree Has a Sleep-enhancing Effect by Targeting the $GABA_A$-benzodiazepine Receptors. *Experimental neurobiology*, *28*(5), PP.593–601. **doi: 10.5607/en.2019.28.5.593**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 2, Autumn 2023, P. 525-537

The effect of gold nanoparticle treatment on compounds in rosemary (*Rosmarinus officinals* L.) oil in two different treatment periods

Mehran Jahantigh[1], Mahmood Solouki[2], Baratali Fakheri[2], Nafiseh Mahdinezhad[2], Abbas Bahari[3*], Mahdi Tavakolizadeh[4,5]

[1] Ph.D. in Biotechnology, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Research Institute of modern biological techniques, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[4] Department of Pharmacognosy, School of Pharmacy, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran
[5] Department of Pharmacognosy and Pharmaceutical Biotechnology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[*]Corresponding Author: bahari@znu.ac.ir

Received: 18 September 2021 Accepted: 13 January 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.305459.1134**

Abstract

Introduction: Rosemary is one of the most useful medicinal plants among different categories of plants due to its many medicinal properties. Nanoparticles as one of the non-bio-stresses by using their electrochemical properties cause interference in the biosynthetic pathway of compounds in plants. This research was conducted in the form of a completely random basic design with three replications in the agricultural greenhouses of Zanjan University in 2017–2018. Also, gold nanoparticles were produced by the chemical reduction method in the laboratory of University of Zabol, and then their effect on the increase or decrease of compounds in rosemary plant oil was investigated in two time intervals of harvesting: 24 hours, 48 hours, and the control group.

Materials and Methods: Rosemary plant cuttings with lengths of 10–12 cm and a diameter of half a centimeter were rooted in small containers containing light, washed soil, and ionolite, and permitted at night temperatures of 10–17 degrees and 21–23 degrees during the day. Then the rooted cuttings were transferred to 5 -liter pots containing a combination of fertile agricultural soil and sand. The Chemical reduction method (sodium citrate) was used to extract nanoparticles (Leopold and Lendl, 2003). The gold nanoparticle mixture that had changed color (blue) was subjected to the absorption spectrum of the spectrophotometric device, and the results obtained from the output of the device were checked based on which the maximum absorption rate of the gold nanoparticle with a diameter of 13 nm is equal to the wavelength of 520 nm and for the gold nanoparticle with a diameter of 52 nm is equal to 533 nm. The samples were sent to Beam Gostar Taban (2016–2021) after extraction by the chemical reduction method for diffraction electron microscopy (SEM) investigations and the authenticity of the presence of gold nanoparticles in the obtained samples. The gold nanoparticle treatment with a concentration of 30 ppm was sprayed on the plant in two different time periods (24 hours and 48 hours) and in the control group (without any treatment group) when the cuttings were fully established in terms of rooting and leafing. After that, their aerial parts were harvested at specified intervals and dried at room temperature for mass spectrometer (GC-MS) analysis. About 400 microliters of effective substance were spectrometered by the device (N Agilent 6890 Agilent technology USA), which was equipped with an ion trap system. The leaf sample of the plant, which was dehydrated at room temperature, was placed in the Cloninger device on a heater for 3 hours at a temperature of 100 degrees Celsius. A Water solvent was used in this research.

Results and Discussion: In this study, gold nanoparticles were extracted based on the chemical reduction method, and the synthesis of gold nanoparticles was confirmed by electron microscope diffraction (SEM) and spectrophotometric analyses. The results obtained in this study showed significant changes in the compounds obtained by mass spectrometry (GC-MS) in rosemary oil, each of which has unique medicinal properties. Changes in secondary metabolites increase the plant's antioxidant defenses, which can be important in adapting to stresses._Verbonone is an effective

compound in rosemary oil that, in this study, had a significant increase under the treatment of gold nanoparticles.

Conclusion: In general, investigations conducted on the expression of oily compounds in rosemary showed that gold nanoparticle treatment did not have a significant effect on all the compounds in rosemary oil, but it was able to significantly increase a number of important compounds. The composition of verbena, which has an anti-inflammatory and antimicrobial role, showed a significant increase in the oily compounds of the rosemary plant. Considering the changes in the important oil compounds of the rosemary plant, it may be possible to induce the maximum production of these compounds and mass production of nanoparticles in the future.

Keywords: GC-Mass**,** Gold nanoparticles, Oil compounds, SEM, Spectrophotometric

Crop Science Research in Arid Regions

Vol. 5, No. 2, Autumn 2023

Publisher: University of Zabol

Editor-in-Chief: Dr. Mohammad Reza Asgharipour, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Managing Editor: Dr. Esmaeel Seyedabadi, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Editorial Board:

Dr. Seyyed Jalal Tabatabaei, Professor, Department of Horticultural, University of Shahed

Dr. Naser Majnoon Hoseini, Professor, Department of Agricultural Science, University of Tehran

Dr. Mohammad Reza Shakiba, Professor, Department of Plant Ecophysiology, University of Tabriz

Dr. Seyyed Mohsen Mousavi Nik, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol

Dr. Mohammad Sedghi, Professor**,** Department of Agronomy, University of Ardabil

Dr. Khosro Azizi, Professor, Department of Agronomy, Lorestan University

Dr. Abdol Ali Ghafari, Associate Professor**,** Dryland Agricultural Research Institute (DARI)

Dr. 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, 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.cropscience.uoz.ac.ir

Crop Science Research in Arid Regions

UNIVERSITY OF ZABOL

Volume 5, Number 2, Autumn, 2023

ISSN:2423-611X(print)
ISSN:2588-4603(online)

Effect of harvest time on quantitative and qualitative forage yield of lines and cultivars of foxtail millet (*Setaria italica* L.) in Birjand region 327
Ali Azarinasrabad; Hamed Javadi; Reza Ataei

Study of genotype-environment interaction effect on sugar yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) hybrids 345
Saeed Sadeghzadeh Hemayati; Ali Saremirad; Rahim Mohammadian; Ali Jalilian; Javad Rezaei; Mastaneh Sharifi; Adel Pedram

Storage and remobilization of photoassimilates in wheat: Agronomic and morpho- physiologic aspects 365
Mehdi Joudi; Mohammad Esmailpour; Shahram Mehri

Genetic fingerprinting of a part of Iranian melon germplasm using microsatellite markers 383
Tahereh Shahraki; Mohammad Reza Naroui Rad; Hamid Reza Ganjali; Hossein Kamaladini; Hamid Reza Mobaser

Evaluating the effect of farm size on resource consumption efficiency and potato production sustainability using emergy analysis (case study: Fariman county) 395
Mahsa Mustafavi Babukani; Yousef Hasheminejhad; Mohammad Armin; Hamid Marvi; Koresh Shojaei Nofarest

Evaluation of morphological traits variation in different fennel ecotypes using multivariate statistical methods 413
Shahram Riahinia; Maryam Danesh Gilevaei

Study of physiological tolerance of sugar beet to drought stress with salicylic acid consumption 429
Abbas Abhari; Majid Seydabadi; Mansore Kermani

Simulation of the yield and biomass of quinoa under different agricultural management using the AquaCrop model 447
Mehrnoosh Golabi; Shahram Lak; Abdolali Gilani; Mojtaba Alavifazel; Aslan Egdernezhad

Evaluation of forage yield and competitive indices of vetch and barley intercropping under the influence of Azetobarvar-1 biofertilizer and superabsorbent 465
Norollah Toolabi; Issa Khammari; Alireza Sirosmehr; Mashallah Daneshvar; Mohammad Galavi; Mehdi Dahmardeh

Effect of drought stress and nitrogen chemical fertilizer on root properties and yield in three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd) 487
Zeinab Zamani; Ehsan Zeidali; Hamzeh Ali Alizadeh; Amin Fathi

Investigating the effects of inoculation of mycorrhizal fungi on yield and yield components of different ecotypes of black seed 501
Seyyed Hamid Reza Ramazani; Morteza Ghorbany

The effect of gold nanoparticle treatment on compounds in rosemary (*Rosmarinus officinals* L.) oil in two different treatment periods 525
Mehran Jahantigh; Mahmood Solouki; Baratali Fakheri; Nafiseh Mahdinezhad; Abbas Bahari; Mahdi Tavakolizadeh