

پژوهش های حبوبات ایران

ISSN 2008-725X
2717-4212

نشریه علمی - دوفصلنامه

پژوهش های علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

سال (دوره) ۱۱، شماره ۲، نیمه دوم ۱۳۹۹ - شماره سالی: ۲۲



با همکاری



دانشگاه صنعتی اصفهان



دانشگاه تربیت مدرس



دانشگاه شهید باهنر کرمان



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی کرمان



دانشگاه علوم و تحقیقات



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

- اثر تراکم بذر و الگوی کاشت بر خصوصیات رشدی و عملکردی ماش (*Vigna radiate* L.) در شرایط آب و هوایی باغملک
رضا جعفری و سید کیوان مرعشی
- ارزیابی شاخص های عملکرد و نسبت برابری زمین انواع لوبیا در کشت مخلوط ردیفی با خیار سبز
قربانعلی اسدی، سرور خرمدل
محمدجواد مصطفوی و مینا هوشمند
- تغییرات تسهیم و انتقال مجدد مواد پرورده در ماشک دیم (*Vicia sativa*) رقم مراغه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک و آبیاری تکمیلی در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی
سعید حیدرزاده، جلال جلیلیان،
علیرضا پیرزاد و رشید جامعی
- اثر پیش تیمار بذر با اکسین و جیبرلین بر خصوصیات جوانه زنی و عملکرد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)
فهیمة درکتانین و سعید سعیدی پور
- تأثیر استفاده از کودهای زیستی و نانو و کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد کمی و کیفی نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) در شرایط دیم در منطقه خرم آباد
أم البنین حسن پور، خسرو عزیزی،
محمد فیضیان و احمد اسماعیلی
- بررسی تأثیر محلول پاشی اپی براسینولید بر فعالیت برخی آنزیم های آنتی اکسیدان، نیترات ردوکتاز و رنگدانه های فتوسنتزی لوبیا تحت تنش خشکی
مهسا محمدی، مجید پوریوسف،
افشین توکلی و احسان محسنی فرد
- ارزیابی مقاومت ارقام لوبیا به کنه تارتن دولکهای (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) در شرایط مزرعه
علی اصغر کاظمی، علیرضا عسکریان زاده،
آیتاله سعیدی زاده و عادل غدیری
- برهمکنش یون های سدیم و پتاسیم بر برخی ویژگی های مورفوفیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود (*Cicer arietinum* L.)
مصطفی شمس آبادی، علی گنجعلی،
مهرداد لاهوتی و الهام امجدی
- ارزیابی دامنه صفات زراعی نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم در مناطق سرد کشور
داود صادق زاده اهری، ولی فیضی اصل،
همایون کانونی و علی سعید

(فهرست کامل، داخل نشریه...)

پژوهش‌های حبوبات ایران

نشریه علمی - دوفصلنامه
پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

با مجوز شماره ۸۸/۶۱۲۴ مورخ ۸۸/۰۸/۲۵ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
و درجه علمی پژوهشی به شماره ۳/۱۱/۳۷۸۵ مورخ ۱۳۸۹/۰۳/۱۷ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
(بر اساس مصوبه وزارت عتف، از سال ۱۳۹۸، تمامی نشریات دارای درجه «علمی-پژوهشی»، به نشریه «علمی» تغییر نام یافتند.)
* این نشریه، از اول تیرماه سال ۱۳۸۹، به طور منظم و در قالب دوفصلنامه، منتشر می‌شود. *

سال (دوره) ۱۱، شماره ۲، نیمه دوم ۱۳۹۹ - شماره پیاپی: ۲۲

صاحب امتیاز:	دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول:	دکتر محمد کافی
سر دبیر:	دکتر احمد نظامی
مدیر اجرایی:	مهندس حسن پُرسا
هیئت تحریریه:	
	دکتر احمد ارزانی
	دکتر هادی استوان
	دکتر علیرضا افشاری‌فر
	دکتر علی ایزدی دربندی
	دکتر نادعلی بابائیان جلودار
	دکتر عبدالرضا باقری
	دکتر سیدحسین صباغ‌پور
	دکتر محمد کافی
	دکتر سرائه گالشی
	دکتر محمد گلوی
	دکتر علی گنجعلی
	دکتر ناصر مجنون حسینی
	دکتر حسین معصومی
	دکتر سعید ملک‌زاده شفاوردی
	دکتر احمد نظامی
ویراستار:	مهندس حسن پُرسا (ویراستار علمی، ادبی و فنی)
	دکتر محمد بنایان اول (ویراستار چکیده مبسوط انگلیسی)
همکاران این شماره:	حامد طلاچیان - رحمان اسدی

این نشریه در قالب تفاهم‌نامه همکاری میان دانشگاه فردوسی مشهد با دانشگاه‌های صنعتی اصفهان، تربیت مدرس، شهید باهنر کرمان، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آزاد اسلامی واحد شیراز و علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و با هدف گسترش همکاری‌های علمی و پژوهشی منتشر می‌شود.

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:



نشانی:

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکده علوم گیاهی، دفتر نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
کد پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، تلفن: ۳۸۸۰۴۸۱۲ و ۳۸۸۰۴۸۰۱ (۰۵۱)، نمابر: ۳۸۸۰۷۰۲۴ (۰۵۱)

پست الکترونیک: ijpr@um.ac.ir

تارنما: <http://ijpr.um.ac.ir>

پژوهش‌های حبوبات ایران

فهرست مقالات

سال (دوره) ۱۱، شماره ۲، نیمه دوم ۱۳۹۹، شماره پیاپی: ۲۲

عنوان مقاله	نویسنده (گان)	صفحه
• اثر تراکم بذر و الگوی کاشت بر خصوصیات رشدی و عملکردی ماش (<i>Vigna radiate</i> L.) در شرایط آب و هوایی باغملک	رضا جعفری و سید کیوان مرعشی	۱۲
• ارزیابی شاخص‌های عملکرد و نسبت برابری زمین انواع لوبیا در کشت مخلوط ردیفی با خیار سبز	قربانعلی اسدی، سرور خرم‌دل، محمدجواد مصطفوی و مینا هوشمند	۲۲
• تغییرات تسهیم و انتقال مجدد مواد پرورده در ماشک دیم (<i>Vicia sativa</i>) رقم مراغه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک و آبیاری تکمیلی در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی	سعید حیدرزاده، جلال جلیلیان، علیرضا پیرزاد و رشید جامعی	۳۶
• اثر پیش تیمار بذر با اکسین و جیبرلین بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (<i>Vigna unguiculata</i> L.)	فهمیه درکتانیا و سعید سعیدی‌پور	۵۰
• تأثیر استفاده از کودهای زیستی و نانو و کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد کمی و کیفی نخود زراعی (<i>Cicer arietinum</i>) در شرایط دیم در منطقه خرم‌آباد	أم‌البنین حسن‌پور، خسرو عزیزی، محمد فیضیان و احمد اسماعیلی	۶۲
• بررسی تأثیر محلول‌پاشی اپی‌براسینولید بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدان، نیترات ردوکتاز و رنگدانه‌های فتوسنتزی لوبیا تحت تنش خشکی	مهسا محمدی، مجید پوریوسف، افشین توکلی و احسان محسنی فرد	۷۶
• ارزیابی مقاومت ارقام لوبیا به کنه تارتن دولکه‌ای <i>Tetranychus urticae</i> Koch (Acari: Tetranychidae) در شرایط مزرعه	علی‌اصغر کاظمی، علیرضا عسکریان زاده، آیت‌اله سعیدی‌زاده و عادل غدیری	۹۵
• برهمکنش یون‌های سدیم و پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود (<i>Cicer arietinum</i> L.)	مصطفی شمس‌آبادی، علی گنجعلی، مهرداد لاهوتی و الهام امجدی	۱۰۹
• ارزیابی دامنه صفات زراعی نخود (<i>Cicer arietinum</i> L.) دیم در مناطق سرد کشور	داود صادق‌زاده اهری، ولی فیضی اصل، همایون کانونی و علی سعید	۱۲۲
• تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و راندمان مصرف آب در لوبیا قمرز (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	سید فرهاد صابری، مرجان یوسفی فرد و کمال سادات اسیلان	۱۳۷

۱۵۰	سید سعید موسوی، محمدرضا عبداللہی، فاطمه عبدی و همایون کانونی	• ارزیابی تنوع پذیری و شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد لاین های امیدبخش نخود تحت شرایط تنش خشکی
۱۶۴	نگین محاویه اسعدی، احسان بیژن زاده، علی بهپوری و وحید براتی	• اثر کشت مخلوط تأخیری نخود با جو، روی صفات بیوشیمیایی و عملکرد در شرایط تنش خشکی انتهای فصل
۱۸۳	سمیه بیات، گودرز احمدوند و علی سپهری	• اثر رقابت و سطوح مس بر وزن خشک گیاهچه و غلظت عناصر مس، فسفر، پتاسیم و منیزیم در لوبیا (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) و تاج خروس (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.) ریشه قرمز
۱۹۶	محمدجواد مصطفوی، مینا هوشمند و مهدی نصیری محلاتی	• ارزیابی روند بلندمدت عملکرد و ثبات آن در حبوبات ایران
۲۱۵	فریناز شمسی، علی گنجعلی و الهام امجدی	• تأثیر کلرید کلسیم بر صفات مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و انباشت برخی عناصر در گیاه لوبیا قرمز رقم گلی (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) تحت تنش کلرید سدیم

سخن سردبیر

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین، دوّمین منبع مهم غذایی انسان پس از غلات، به‌شمار می‌روند. این گیاهان با داشتن قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن، نقش درخور توجهی در بهبود حاصلخیزی خاک دارند. حبوبات در تناوب با بسیاری از گیاهان زراعی، کشت‌وکار می‌شوند و بدین‌ترتیب، با تنوع‌بخشی به نظام‌های کشت مبتنی بر غلات، جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی پایدار به خود اختصاص داده‌اند. این گیاهان، کم‌توقع بوده و برای کشت در نظام‌های زراعی کم‌نهاد مناسب می‌باشند. همچنین به صورت گیاهان پوششی، در جلوگیری از فرسایش خاک مؤثرند. مجموعه این ویژگی‌ها، حبوبات را از جنبه‌های زراعی، بوم‌شناختی و زیست‌محیطی در جایگاه ارزشمندی قرار داده است.

حبوبات در ایران پس از غلات، بیشترین سطح زیرکشت را دارا هستند. بر اساس آمار، سالانه سطحی حدود یک میلیون و دویست هزار هکتار در کشور به کشت حبوبات اختصاص می‌یابد که از این سطح، سالانه حدود ۷۰۰ هزار تن محصول به‌دست می‌آید. نگاهی اجمالی به آمار تولید و سطح زیرکشت این محصولات در ایران و مقایسه آن با آمار جهانی نشان می‌دهد که بازده تولید این محصولات در کشور ما، بسیار ناچیز بوده و گاه با نوسانات شدیدی همراه است. هرچند بخشی از پایین‌بودن بازده تولید این محصولات را می‌توان به وضعیت ویژه طبیعی و اقلیمی کشور مربوط دانست، اما علت دیگر آن را باید در بی‌توجهی به سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با تولید، به‌ویژه فقر تحقیقات حبوبات جستجو کرد. این کم‌توجهی‌ها سبب شده است تا کشت بعضی محصولات زراعی مانند غلات و محصولات نقدینه‌ای، جایگزین کشت حبوبات در اراضی مرغوب شده و لذا کشت حبوبات، بیش‌ازپیش به مناطق حاشیه‌ای و کم‌بازده رانده شود. این وضعیت، چالشی بزرگ را فراروی مجموعه برنامه‌ریزان، سیاست‌گزاران و نیز محققان حبوبات در کشور قرار داده است.

اهمیت حیاتی این محصولات، به‌ویژه از نظر تأمین نیازهای پروتئینی کشور و نیز حفظ بوم‌نظام‌های طبیعی ایجاب می‌کند تا به امر پژوهش‌های دامنه‌دار پیرامون جنبه‌های مختلف تولید این محصولات، به‌منظور پاسخ‌گویی به نیازهای جدید، به‌صورت ویژه‌ای پرداخته شود. نکته مهمی که در طراحی و اجرای برنامه‌های تحقیقات حبوبات باید همواره مدّ نظر باشد، قراردادن کشور در وضعیت طبیعی و اقلیمی خشک است؛ به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد از تولید حبوبات در کشور ما در شرایط دیم با بارش‌های بسیار اندک انجام می‌شود. بدین‌ترتیب، انطباق با این شرایط خشک، ضمن حفظ پایداری تولید، باید به‌عنوان یکی از اصول بنیادین در تدوین و اتخاذ سیاست‌ها و خط‌مشی‌های تحقیقاتی در رابطه با حبوبات، مدّ نظر قرار بگیرد.

به‌هر حال، تعیین یک راهبرد واحد، هماهنگی و انسجام بین مراکز علمی و تحقیقاتی و نیز تبادل اطلاعات و تجارب به‌دست‌آمده بین محققان در مراکز مختلف، عواملی هستند که ما را در رسیدن به اهداف بلندمدت تحقیقات حبوبات یاری خواهند کرد. در این راستا، پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، با همکاری مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشور نشریه علمی «پژوهش‌های حبوبات ایران» را با هدف انتشار دستاوردهای حاصل از تحقیقات حبوبات پژوهشگران کشور، آغاز کرده است. امید است این اقدام، بستر مناسبی را جهت شکل‌گیری فضای تعامل علمی و رشد قابلیت‌های محققان این عرصه فراهم آورد.

منشور اخلاق نشریه

این نشریه عضو کمیته بین‌المللی اخلاق در انتشار (COPE) و متعهد به رعایت اصول آن است.

منشور اخلاق «نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران»، بر مبنای رهنمودهای ارائه‌شده توسط کمیته اخلاق انتشار COPE طراحی شده است و از همه مخاطبان انتظار می‌رود به اصول اخلاقی مذکور پایبند باشند. بدیهی است هرگونه سرقت علمی یا سایر رفتارهای غیراخلاقی، منجر به حذف مقاله از فرآیند داوری خواهد شد. این منشور جهت تعیین وظایف و تعهدات نویسندگان، سردبیر، اعضای هیئت تحریریه و داوران تنظیم شده است.

سردبیر و هیئت تحریریه

- **پذیرش مقالات:** سردبیر نشریه مسئول اتخاذ تصمیم جهت پذیرش یا رد مقالات ارسالی می‌باشد. سردبیر با کمک هیئت تحریریه و با در نظر گرفتن مسائل مربوط به حق کپی‌برداری، سرقت علمی و غیره، همچنین صلاح‌دید داوران و ویراستاران، اقدام به پذیرش مقاله می‌نماید.
- **عدالت:** سردبیر، وظیفه قضاوت در مورد مقالات را صرفاً از لحاظ شایستگی علمی برعهده دارد و باید بدون طرفداری یا کینه‌توزی شخصی یا در نظر گرفتن ملیت، جنسیت، مذهب و مسائل قومی‌نژادی و سیاسی عمل نماید.
- **محرمانه‌بودن:** سردبیر و هیئت تحریریه نباید اطلاعات مربوط به مقاله را در مراحل داوری و ارزیابی، برای کسی غیر از داوران، نویسندگان و ویراستاران افشاء کنند.
- **عدم افشاء و استفاده شخصی:** آن بخش از مطالب مقالات ارسالی که منتشر نشده‌اند، نباید بدون کسب رضایت مکتوب نویسنده، در پژوهش شخصی سردبیر و یا هیئت تحریریه استفاده شوند. اطلاعات و یا ایده‌های محرمانه که از طریق ارزیابی مقالات کسب شده‌اند، باید به‌طور محرمانه حفظ شوند و در جهت منافع شخصی استفاده نشوند.

داوران

- **پذیرش مقالات:** داوران به سردبیر و اعضای هیئت تحریریه در اتخاذ تصمیم برای پذیرش و یا رد مقاله کمک نموده و از طریق ارسال اصلاحیه به نویسندگان، در ارتقای مقاله آن‌ها سهیم می‌باشند.
- **حق امتناع و عدم پذیرش:** امتناع و رد درخواست ارزیابی یک مقاله بر حسب زمان و یا موقعیت، ضروری و لازم است. داوری که احساس عدم صلاحیت کافی برای قضاوت در مورد مقاله پژوهشی می‌کند، باید از ارزیابی مقاله امتناع کند.
- **محرمانه‌بودن:** داوران باید به محرمانه‌بودن فرآیند ارزیابی احترام بگذارند و نباید اطلاعات مربوط به مقاله را بدون اجازه مکتوب نویسنده در اختیار شخصی غیر از سردبیر بگذارند.
- **عدم سوگیری:** داوران باید مقالات را به‌طور عینی، بی‌طرف و عادلانه ارزیابی کنند. داوران باید از سوگیری‌های شخصی در توصیه‌ها و قضاوت‌های خود اجتناب کنند.
- **منابع:** داوران موظفند منابعی را که نویسنده به آن‌ها ارجاع داده، شناسایی و بررسی نمایند. هرگونه نتیجه‌گیری یا بحثی که پیش از این مطرح شده باشد، باید همراه با منبع ذکر شود. همچنین داوران موظفند در صورت مشاهده هرگونه شباهت یا همپوشانی بین اثر ارسالی و مقاله‌ای دیگر، مراتب را به سردبیر اطلاع دهند.
- **تضاد منافع:** داوران نباید از اطلاعات یا ایده‌هایی که طی فرآیند ارزیابی به‌دست آورده‌اند، در جهت منافع شخصی استفاده نمایند. همچنین داوران باید از ارزیابی مقالاتی که از دید آن‌ها مشمول تضاد منافع، اعم از منافع مشترک مالی، سازمانی، شخصی و یا هرگونه ارتباط یا پیوندهای دیگر با شرکت‌ها، نهادها یا افراد مرتبط با مقالات است، امتناع کنند.

نویسندگان

- **گزارش یافته‌ها:** نویسنده مسئول مکاتبه، مسئول نهایی محتوای کُلّ مقاله ارسالی می‌باشد. نویسندگان متعهد هستند یافته‌های خود را به‌طور کامل گزارش کنند و در ارائه یافته‌ها و تفسیر آن‌ها دقت ویژه داشته باشند. مقاله باید حاوی جزئیات و منابع کافی باشد، به‌نحوی که امکان دسترسی سایر پژوهشگران به مجموعه داده‌های یکسان جهت تکرار پژوهش وجود داشته باشد.
- **سرقت علمی:** نویسنده مسئول مکاتبه مقاله باید از این که تمامی مطالب ذکرشده، حاصل پژوهش وی و همکاران ایشان- که اسامی آنها مندرج در مقاله است- اطمینان حاصل نموده و منشأ و اصالت هر یک از مجموعه داده‌های به‌کارگرفته شده را مشخص کند.
- **اصالت:** مقاله باید کاری جدید و اصیل باشد. نویسنده نمی‌تواند مقاله‌ای را که کُلّ یا بخشی از آن در جای دیگری تحت بررسی است و یا قبلاً به نشریه دیگری ارسال شده است، به نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران بفرستد.
- **تشکر و قدردانی:** نویسندگان باید به مراکز یا افرادی که در شکل‌گیری پژوهش آن تأثیرگذار بوده‌اند، اشاره کرده و قدردانی نمایند. همچنین در صورت نیاز، حامی مالی پژوهش در این بخش، ذکر گردد و مورد قدردانی قرار گیرد.
- **تألیف اثر:** همه نویسندگان مندرج در مقاله باید در کار پژوهش، مساعدت و همکاری جدی داشته و در مقابل نتایج، پاسخگو باشند. اعتبار و امتیاز نویسندگی یا تألیف، باید به نسبت مساعدت‌های افراد مختلف، تسهیم شود. نویسندگان باید مسئولیت و اعتبار کار را تقبل کنند. نویسنده مسئول مکاتبه که مقاله را به نشریه ارسال می‌نماید، باید یک نسخه از مقاله یا پیش‌نویس آن را به همه نویسندگان مشترک و همکار، ارسال نموده و رضایت آن‌ها را جهت ارسال مقاله به نشریه و انتشار آن کسب کند.
- **تضاد منافع:** نویسنده(گان) موظفند هرگونه تضاد منافی را که بر نتیجه پژوهش آن‌ها و یا تفسیر یافته‌ها تأثیرگذار بوده است، مطرح نمایند و منابع مالی حامی پژوهش خود را ذکر کنند.
- **بازبینی مقاله:** اگر نویسنده‌ای متوجه اشتباه یا بی‌دقتی مهمی در اثر خود شود، موظف است مراتب را به‌سرعت به سردبیر نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران اطلاع داده و در فرآیند بازبینی و اصلاح مقاله همکاری نماید.



پژوهش‌های حبوبات ایران

نشریه علمی-دوفصلنامه

پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

معرفی نشریه، فراخوان و شرایط پذیرش مقاله، راهنمای تهیه و ارسال مقاله

الف - معرفی نشریه، اهداف، حوزه موضوعی، زبان و قالب نشر

«پژوهش‌های حبوبات ایران» نشریه‌ای است با درجه علمی که از تیرماه سال ۱۳۸۹ به صورت دوفصلنامه، به وسیله پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب تفاهم‌نامه همکاری با شش دانشگاه کشور شامل دانشگاه‌های صنعتی اصفهان، تربیت مدرس، شهیدباهنر کرمان، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آزاد اسلامی واحد شیراز و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به تعداد دو شماره در سال انتشار می‌یابد. این نشریه تخصصی، نتایج تحقیقات حبوبات را در زمینه‌های مختلف پژوهشی منتشر می‌کند. منظور از حبوبات، بقولات مهم زراعی شامل نخود، عدس، انواع لوبیا، ماش، باقلا، نخودفرنگی، دال عدس و خَلَر است. زبان انتشار، فارسی با چکیده مبسوط انگلیسی است و به صورت الکترونیک منتشر می‌شود.

ب - فراخوان و شرایط پذیرش مقاله

ب-۱- مقالات باید نتیجه پژوهش‌های اصیل در زمینه حبوبات بوده و پیش‌تر در نشریه دیگری چاپ نشده و یا همزمان به نشریه دیگری ارسال نشده باشند. مقالات، می‌توانند به صورت پژوهشی (Research Article) یا مروری (Review Article) باشند. مراحل ارسال مقاله و پیگیری وضعیت آن، از طریق پایگاه اختصاصی نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران در سامانه یکپارچه مدیریت نشریه‌های علمی دانشگاه فردوسی مشهد به نشانی <http://ijpr.um.ac.ir> خواهد بود.

ب-۲- نویسنده(گان) طی «تعهدنامه‌ای»، ضمن اعلام ارسال مقاله با ذکر عنوان، رعایت اخلاق پژوهشی و نیز اصول اخلاقی نشر را ابراز می‌نمایند. فایل تعهدنامه در سایت نشریه در بخش «ارسال مقاله، لینک راهنمای نویسندگان» موجود است. تعهدنامه باید به امضای نویسنده مسئول و یکایک نویسندگان مقاله برسد. همچنین نویسنده مسئول، قلم «تعارض منافع» را از همین قسمت از سایت، در سافت و امضاء می‌نماید. قلم‌های امضاء شده، پس از اسکن، از طریق سامانه اینترنتی نشریه در بخش بارگذاری فایل‌های تکمیلی، بارگذاری گردد.

ب-۳- مسئولیت هر مقاله از نظر علمی به عهده نویسنده(گان) آن خواهد بود.

ب-۴- مقالات به وسیله گروه دبیران (هیئت تحریریه) و با همکاری هیئت داوران، ارزیابی شده و در صورت تصویب، بر اساس ضوابط خاص نشریه در نوبت چاپ قرار خواهند گرفت. نشریه در رد یا پذیرش و نیز ویراستاری و تنظیم مطالب مقالات، آزاد است.

ب-۵- زبان اصلی نشریه، فارسی است و مقالات، حاوی چکیده مبسوط به زبان انگلیسی نیز خواهند بود.

ج - راهنمای تهیه و ارسال مقاله

ج-۱- روش نگارش

متن مقاله باید در محیط نرم‌افزار MS-Office Word 2007 با ابعاد A4 با فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از لبه‌ها و فاصله ۱/۵ بین خطوط با قلم فارسی B Nazanin اندازه ۱۲ و قلم انگلیسی Times New Roman اندازه ۱۱ و به صورت یک‌ستونه تایپ شود. لازم است تمام سطرهای متن مقاله، به صورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند. همه صفحه‌های مقاله باید دارای شماره بوده و تعداد آن ترجیحاً از ۲۰ تجاوز نکند. هرگونه شکل، جدول و فرمول نیز به صورت واضح به همین نرم‌افزار انتقال یابد.

ج-۲- اجزای مقاله

هر مقاله تخصصی، حداقل باید در دو فایل جداگانه شامل فایل «صفحه مشخصات مقاله» و فایل «متن مقاله»، تهیه و ارسال شود. بخش‌های ضروری هر یک از این دو فایل و نیز اصول لازم که در تهیه آنها باید رعایت شوند، به شرح زیر است:

ج-۲-۱- در فایل صفحه مشخصات، موارد زیر باید به دقت به هردو زبان فارسی و انگلیسی، در قالب «فایل نمونه صفحه مشخصات» مندرج در بخش «ارسال مقاله، لینک راهنمای نویسندگان» قید گردند: عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی نگارنده(گان)، رتبه و درجه علمی، رشته و مقطع تحصیلی، گرایش تخصصی و عنوان شغلی، محل خدمت، نشانی دقیق پستی، پست الکترونیک، تلفن ثابت و تلفن همراه آن‌ها. نام مسئول مکاتبه یا نویسنده مسئول (Corresponding Author) با گذاشتن ستاره‌ای روی آن، مشخص شود. چنانچه مقاله، خلاصه یا بخشی از پایان‌نامه (رساله) دانشجویی باشد، لازم است موضوع در پاورقی صفحه مشخصات با قید نام استاد راهنما و دانشگاه مربوط، منعکس شود. فایل صفحه مشخصات به صورت جدا از فایل متن مقاله، در گام‌های فرآیند ارسال مقاله (بارگذاری فایل‌های تکمیلی) بارگذاری شود.

ج-۲-۲- فایل متن مقاله، باید حاوی بخش‌های عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، سپاسگزاری (در صورت لزوم)، منابع و چکیده مبسوط انگلیسی باشد. در اولین صفحه، عنوان مقاله بدون هرگونه ذکر نام و مشخصات نویسنده(گان) درج شود. عنوان باید خلاصه و روشن و بیان‌کننده موضوع پژوهش بوده و از ۲۰ کلمه تجاوز نکند. چکیده فارسی، حداکثر در ۲۵۰ کلمه نوشته شده و همه آن در یک پاراگراف تنظیم شود. چکیده با وجود اختصار باید محتوای مقاله و برجسته‌ترین نتایج آن را بدون استفاده از جدول، شکل و کلمات اختصاری تعریف‌نشده ارائه کند.

ج-۲-۳- پس از چکیده، واژه‌های کلیدی آورده شود. به این منظور تنها از واژه‌هایی استفاده شود که در عنوان و حتی‌المقدور در چکیده مقاله از آنها ذکر به میان نیامده باشد.

ج-۲-۴- در مقدمه، باید سوابق پژوهشی مربوط به موضوع تحقیق، توجیه ضرورت و نیز اهداف تحقیق، به خوبی ارائه شوند.

ج-۲-۵- مواد و روش‌ها باید کاملاً گویا و روشن بوده و در آن، مشخصات محل و نحوه اجرای آزمایش، به همراه روش گردآوری داده‌ها و پردازش و تحلیل آنها با ذکر منابع، به روشنی ارائه شود. در صورت کاربرد معادلات ریاضی، باید همه اجزای معادله به طور دقیق تعریف شده و در صورت استخراج معادله توسط نگارنده(گان)، نحوه حصول آن در پیوست آورده شود. ضمناً در هرگونه فرمول در متن، تنها با استفاده از قابلیت فرمول‌نویسی در نرم‌افزار Word انجام گیرد؛ لذا از درج فرمول به شکل «تصویر»، خودداری شود. فرمول‌های تصویری، در زمان انتشار، کیفیت مناسبی نخواهند داشت. هر فرمول در متن، باید با شماره‌گذاری مشخص شود.

ج-۲-۶- نتایج و بحث باید به صورت توأم ارائه شده و یافته‌های پژوهش (نتایج) با استناد به منابع علمی مرتبط با موضوع، مورد بحث قرار گیرند. عنوان جدول‌ها، در بالا و عنوان شکل‌ها در پایین آنها آورده شود. در زیر هر عنوان فارسی، باید ترجمه انگلیسی آن نیز درج شود. عناوین، باید گویای کامل نتایج ارائه شده در جدول یا شکل بوده و همه اطلاعات و تعاریف لازم را شامل شوند، به طوری که نیاز به مراجعه به متن مقاله نباشد. در جدول‌ها، ترجمه انگلیسی عناوین سطرها، ستون‌ها و واحدهای اندازه‌گیری، در زیر یا کنار نوشته فارسی آنها درج شود. کاربرد هرگونه علائم، اختصارات و مخفف‌ها در شکل‌ها و جدول‌ها، باید همراه با درج توضیح صورت کامل آن‌ها در زیرنویس، به فارسی و انگلیسی باشد. ساختار جداول به صورت چپ‌چین تنظیم شده و محتوای آنها (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شود. شکل‌ها کاملاً به انگلیسی تهیه شوند و هیچ کلمه فارسی در داخل شکل به کارنرفته باشد. شکل‌ها و جدول‌ها بدون کادر باشند و حروف، عناوین و علائم به کاررفته در آنها، کاملاً خوانا و تفکیک‌پذیر باشند. شکل‌ها و جدول‌ها، هر کدام به طور مستقل دارای شماره ترتیبی مستقل باشند و حتماً در داخل متن به آنها ارجاع داده شود. برای بیان اوزان، واحدها و مقادیر از سیستم متریک استفاده شود.

ج-۲-۷- در صورت لزوم، جهت تشکر از شخص یا سازمان، این مطلب با عنوان «سپاسگزاری» پس از نتیجه‌گیری آورده شود.

ج-۲-۸- در بخش منابع، یک فهرست شماره‌گذاری شده از منابع استفاده‌شده که همگی به ترتیب حروف الفبا تنظیم شده باشند، ارائه شود. تنها منابعی باید ذکر شوند که در ارتباط نزدیک با کار نویسنده بوده و مستقیماً از آنها استفاده شده باشد. همه منابعی که در متن ذکر شده‌اند، باید در فهرست منابع با مشخصات کامل نوشته شوند. در مواردی که فقط چکیده مقاله در اختیار بوده است، پس از نام منبع، کلمه (Abstract) داخل پرانتز ذکر شود. نحوه ارجاع به منابع در متن مقاله، به صورت اسم نویسنده(گان) و تاریخ انتشار منبع باشد. حتی‌الامکان از درج نام افراد در شروع جمله خودداری گردد و منابع در

انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند؛ مانند (Nezami, 2007). برای جداسازی منابع از ";" استفاده شود؛ مانند (Saxena, 2003; Singh *et al.*, 2008; Bagheri & Ganjeali, 2009). چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود، به صورت نام (سال) نوشته شود مانند Parsa (2007). اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی، برگردان شوند.

ج-۲-۹- صفحه آخر، شامل چکیده مبسوط انگلیسی است. از ذکر اسامی و آدرس نویسندگان در این صفحه خودداری شود.

ج-۲-۱۰- تهیه چکیده مبسوط انگلیسی (Extended Abstract):

با توجه به اهمیت نظام‌های رتبه‌بندی و علم‌سنجی رسمی، ضروری است «چکیده مبسوط انگلیسی» (Extended Abstract) در انتهای هر مقاله، نگارش یابد. این چکیده، باید حداقل ۷۰۰ و حداکثر ۱۰۰۰ کلمه داشته و به تفکیک، دارای بخش‌های زیر باشد:

1. Title
2. Introduction
3. Materials & Methods
4. Results & Discussion
5. Conclusion
6. Keywords

ج-۳- نحوه تنظیم فهرست منابع

کلیه منابع فارسی و انگلیسی، به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه ۱۲ در فهرست منابع نوشته شوند. لازم است منابع فارسی به زبان انگلیسی برگردان شده و در آخر هر منبع، در صورت داشتن خلاصه انگلیسی، عبارت In Persian with English Summary و در صورت نداشتن خلاصه انگلیسی، عبارت In Persian در داخل پرانتز نوشته شود. در نوشتن منابع، نام نشریات به صورت کامل درج شود. از ذکر منابع بی‌نام و خارج از دسترس، خودداری شود.

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در زیر آمده است:

ج-۳-۱- مجلات:

Anbessa, Y., Warkentin, T., Vandenberg, A., and Ball, R. 2006. Inheritance of time to flowering in chickpea in a short-season temperate environment. *Journal of Heredity* 97(1): 55-61.

ج-۳-۲- کتاب تألیف شده:

James, E.K., Sprent, J.I., and Newton, W.E. 2008. *Nitrogen-Fixing Leguminous Symbioses*. Kluwer Academic Publishers.

ج-۳-۳- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book):

Mettam, G.R., and Adams, L.B. 1999. How to prepare an electronic version of your article. In: B.S. Jones and R.Z. Smith (Eds.). *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, p. 281-304.

ج-۳-۴- مقاله در نشریه برخط (On-line):

Mantri, N.L., Ford, R., Coram, T.E., and Pang, E.C.K. 2010. Evidence of unique and shared responses to major biotic and abiotic stresses in chickpea. *Environmental and Experimental Botany* 69(3): 286-292. Available at Web site <http://www.sciencedirect.com/> (verified 1 August 2010).

ج-۳-۵- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا سازمان:

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). 2010. Crops varieties released, 1977-2007, cereal and legume varieties released by national programs: Kabuli chickpea. Available at Web site http://www.icarda.org/Crops_Varieties_KC.htm (verified 1 August 2010).

ج-۳-۶- رساله‌های تحصیلی:

Bagheri, A. 1994. Boron tolerance in grain legumes with particular reference to the genetics of boron tolerance in peas. Ph.D. Thesis. University of Adelaide, South Australia.

ج-۳-۷- کنفرانس‌های علمی:

Porsa, H., Nezami, A., Gholami, M., and Bagheri, A. 2010. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for cold tolerance at fall sowing in highland and cold areas of Iran. (abstract). In: Abstract Book of the 3rd Iranian Pulse Crops Symposium, May 19-20, 2010. Kermanshah Agricultural Jihad Organization. p. 49. (In Persian).

ج-۳-۸- نرم‌افزارهای رایانه‌ای:

SAS Institute. 1999. SAS/Stat User's Guide, Version 8.0. SAS Institute, Cary, NC.

MSTAT-C. Version 1.42. Freed, R.D. and Eisensmith, S.P. Crop and Soil Sciences Department. Michigan State University.

تکمیل اطلاعات فراداده مقاله

پس از بارگذاری فایل مقاله، ضروری است اطلاعات «فراداده مقاله» در سومین گام ارسال، به صورت «کامل، صحیح و درست»، برای همه نویسندگان، به فارسی و انگلیسی درج و تکمیل گردد. رعایت ترتیب نویسندگان و صحت و دقت داده‌های ورودی، بر عهده مسئول مکاتبات است.

برخی از پایگاه‌هایی که این نشریه در آن‌ها نمایه می‌شود:



- پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)
- پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
- بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran)
- Google Scholar
- CIVILICA
- ...

اطلاعات تماس نشریه:

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکده علوم گیاهی، دفتر نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران

کد پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴

تلفن: ۳۸۸۰۴۸۱۲ و ۳۸۸۰۴۸۰۱ (۰۵۱)، نمابر: ۳۸۸۰۷۰۲۴ (۰۵۱)

پست الکترونیک:

ijpr@um.ac.ir

تارنما:

<http://ijpr.um.ac.ir>

اثر تراکم بذر و الگوی کاشت بر خصوصیات رشدی و عملکردی ماش (*Vigna radiate* L.) در شرایط آب و هوایی باغملک

رضا جعفری^۱ و سید کیوان مرعشی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ rezataheribabadi8@gmail.com

۲- استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۳

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی اثر تراکم بذر و الگوی کاشت بر خصوصیات رشدی و عملکردی ماش در منطقه باغملک اجرا گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تراکم بذر در سه سطح ۲۰، ۲۸ و ۳۶ بذر در مترمربع و الگوی کاشت به صورت دست‌پاش (شاهد)، ردیفی با فاصله ۱۵ و ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود. نتایج آزمایش نشان داد که اثر تراکم بذر، الگوی کاشت و برهمکنش بین تراکم و الگوی کاشت بر تمامی صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، دانه در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود. در هر سه الگوی کاشت کمترین ارتفاع، تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و دانه در بوته در تراکم ۳۶ بذر در مترمربع مشاهده شد، ولی بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه در تراکم ۳۶ بذر در مترمربع و الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر با ۲۳۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار با ۱۰۲۷/۵ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و الگوی کاشت دست‌پاش تعلق گرفت که می‌توان این ترکیب الگوی کاشت و تراکم را در شرایط منطقه به منظور استفاده بهینه از شرایط محیطی و دستیابی به حداکثر عملکرد دانه پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه

مقدمه

محققان دلیل اصلی کاهش عملکرد در شرایط تغییر تراکم را به قدرت رقابتی آن‌ها در استفاده از منابع طبیعی نظیر نور، آب و عناصر غذایی نسبت داده‌اند (Nienhuis & Singh, 2004). میزان عملکرد در واقع حاصل رقابت برون و درون‌گونه‌ای برای بهره‌برداری از عوامل محیطی می‌باشد و حداکثر عملکرد در واحد سطح هنگامی حاصل می‌شود که این رقابت‌ها به حداقل رسیده و گیاه بتواند از عوامل رشد حداکثر استفاده را بنماید (Dhanjal et al., 2001).

Soleymani Sardoo et al, (2017) در بررسی اثر تراکم ۱۰، ۲۰ و ۳۰ بوته ماش در مترمربع در منطقه جیرفت بیان نمودند که اثر تراکم کاشت بر تعداد نیام در بوته، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه معنی‌دار و بیشترین عملکرد دانه به تراکم ۳۰ بوته در مترمربع تعلق داشت. Dainavizadeh & Mehranzadeh (2013) در بررسی اثر مقادیر مصرف ماش (۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را در شرایط ۲۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده نمودند. Sandha et al, (2007) چنین بیان کردند که ارقام لوبیا چشم‌بلبلی در تراکم‌های کم تا متوسط، بسته به شرایط آب و

با افزایش روزافزون جمعیت جهان افزایش تقاضا برای منابع پروتئین گیاهی در حال افزایش است. پس از غلات، حبوبات مهم‌ترین منبع غذایی بوده و در این میان ماش (*Vigna radiate* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات می‌باشد که با دارا بودن ۲۵-۳۰ درصد پروتئین، تأمین‌کننده بخش مهمی از پروتئین مورد نیاز انسان است و در این زمینه نقش مهمی را ایفا می‌کند (Samadi Firouzabadi & Farahani, 2013).

افزایش عملکرد در واحد سطح یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بالابردن تولید است. از عوامل زراعی مؤثر بر کمیت و کیفیت عملکرد گیاهان، می‌توان به الگوی کاشت و تراکم بوته در واحد سطح اشاره نمود. از آنجا که میزان دسترسی به منابع مورد استفاده یک گیاه از جمله تشعشع خورشیدی، آب قابل استفاده و مواد غذایی ارتباط زیادی با تراکم گیاهی دارند، لذا تنظیم جمعیت گیاهی بر اساس میزان موجودی این منابع جهت افزایش عملکرد حائز اهمیت خواهد بود (Fathi, 2010).

*نویسنده مسئول: marashi_47@yahoo.com

با توجه به مطالب مذکور تراکم بوته و الگوی کشت نقش مهم و کلیدی در دوره رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند و تعیین کننده فضای رشد قابل استفاده، میزان بذر مصرفی، توزیع متعادل آب، نور، مواد غذایی و استفاده بهتر از این منابع جهت افزایش عملکرد می‌باشد. لذا این آزمایش به منظور بررسی اثر الگوهای کاشت ردیفی و دست‌پاش (سنتی) و تراکم‌های مختلف بذر در جهت افزایش عملکرد دانه ماش به مورد اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان ۱۳۹۴ در شهرستان باغملک واقع در شمال شرقی استان خوزستان با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۸۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. باغملک از نظر اقلیمی جزو مناطق معتدل محسوب می‌شود. میانگین سالانه بارندگی در این منطقه ۴۷۹/۳ میلی‌متر و در عین حال بسیار نامنظم است. ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور، بدون بارندگی و ماه‌های مهر و اردیبهشت دارای باران‌های غیرمؤثر است. متوسط حداقل درجه حرارت در طول سال مربوط به دی‌ماه با متوسط ۵ درجه سانتی‌گراد و حداکثر آن مربوط به مرداد با ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Anonymous, 2016). این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تراکم کاشت در سه سطح ۲۰، ۲۸ و ۳۶ بذر در مترمربع و الگوی کاشت به صورت دست‌پاش (سنتی) (شاهد)، ردیفی با فاصله ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر بود. با توجه به اهمیت وضعیت خاک، از عمق ۳۰-۵۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

هوایی دارای تعداد غلاف و دانه در غلاف بیشتری بودند. Haj Seyed Hadi & Asadipour (2013) در ارزیابی اثر تراکم در لوبیا چشم‌بلبلی دریافتند که با افزایش تراکم، تعداد شاخه فرعی در تک بوته کاهش، ولی تعداد کل شاخه‌های فرعی در واحد سطح افزایش می‌یابد. الگوی کشت نیز بر پراکنش مناسب نور در درون جامعه گیاهی مؤثر است و نقش اصلی آرایش کاشت بر رشد و نمو گیاه به علت تفاوت در چگونگی توزیع و پراکنش نور در داخل جامعه گیاهی بوده که به دلیل افزایش در جذب تشعشع خورشیدی، موجب افزایش عملکرد می‌شود (Asadipour & Haj Seyed Hadi, 2013). الگوی کاشت و نحوه پراکندگی گیاهان از طریق دگرگون‌سازی ساختار سایه اندازه گیاهی منجر به افزایش عملکرد می‌شود. بنابراین تعیین مناسب‌ترین آرایش کاشت برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی ضروری می‌باشد (Kazemi et al., 2008). Baghestani (2009) بیان نمود که کاهش فاصله بین بوته‌ها در ماش سبب افزایش سرعت رشد محصول در دوره رشد رویشی و زایشی و جذب نور بیشتر و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد دانه ماش در فاصله کاشت ۳۰ سانتی‌متر، ۱۴۰۸ کیلوگرم در هکتار و در فاصله کاشت ۲۳ سانتی‌متر، ۱۶۸۱ کیلوگرم در هکتار بود (Sekhvat & Mirzaee & Samadi Firouzabadi, 2012). همچنین (Modhaj (2005) در بررسی اثر فاصله بین ردیف‌های کاشت (۵۰، ۶۵ و ۸۰ سانتی‌متر) و فاصله بوته روی ردیف (۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر) در گیاه ماش بیان کردند که بیشترین عملکرد در مترمربع در آرایش کاشت (۵×۵۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. این محققان همچنین اظهار داشتند که با کاهش فواصل بوته بین و روی ردیف‌های کاشت، عملکرد دانه تک‌بوته کاهش، ولی میزان عملکرد در واحد سطح افزایش می‌یابد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	شوری (دسی زیمنس بر متر) Salinity (ds/m)	pH	کربن آلی (درصد) OC (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) Phosphor (mg/kg)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) Potassium (mg/kg)
لومی رسی Clay loam	35	47	18	0.68	6.6	0.5	0.11	11.3	241

نیتروژن خالص در هکتار به صورت ۵۰ درصد قبل از کاشت، ۲۵ درصد در مرحله ساقه‌رفتن و ۲۵ درصد در مرحله گلدهی و کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین بود. پس از آماده‌سازی زمین کودهای پایه نیتروژنه و فسفره در عمق ۱۵ سانتی‌متر با خاک توسط دیسک مخلوط گردید. نیتروژن از منبع اوره (۴۶ درصد) به میزان ۸۰ کیلوگرم

در هکتار فسفر خالص (۴۸ درصد) به عنوان پایه استفاده گردید.

در کشت دست‌پاش و کشت ردیفی، بذریه در مقادیر مختلف با توجه به تیمار تراکم به صورت دستی و یکنواخت کشت گردید. فاصله بین کرت‌های آزمایشی یک متر و فواصل بین تکرارها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت انجام گردید و آبیاری‌های بعدی بر اساس وضعیت ظاهری گیاه به طور معمول و عرف منطقه انجام شد. وجین علف‌های هرز در مراحل مختلف رشد به روش دستی انجام شد. آفات و یا بیماری خاصی در طول دوره رشد مشاهده نشد. عملیات برداشت نهایی در مرحله رسیدگی کامل و پس از زرد و خشک شدن کامل گیاهان انجام شد.

اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان در هر کرت در ۱۰ بوته به طور تصادفی انجام شد. تعداد غلاف در بوته بر اساس میانگین تعداد غلاف در ۱۰ بوته تعیین گردید. تعداد دانه در غلاف بر اساس تعداد دانه در غلاف در ۱۵ غلاف و میانگین‌گیری از آن‌ها مشخص شد. تعداد دانه در بوته از حاصل ضرب تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته محاسبه گردید. به منظور محاسبه

وزن ۱۰۰۰ دانه، دو دسته ۵۰۰ تایی از بذریه جدا نموده و اگر اختلاف آن‌ها کمتر از ۶ درصد بود، مجموع وزن آن‌ها به عنوان وزن ۱۰۰۰ دانه تعیین گردید (Tajbakhsh, 1996). عملکرد بیولوژیکی و دانه به ترتیب پس از توزین کل بوته‌ها و سپس خرمن‌کوبی و بوجاری کل غلاف‌ها در دو خط میانی به مساحت دو مترمربع در هر واحد آزمایشی تعیین گردید. شاخص برداشت از طریق تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی به صورت درصد محاسبه گردید.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS 9.2 و مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر الگوی کاشت، تراکم بوته و برهمکنش آن‌ها بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر الگوی کاشت و تراکم بوته بر ارتفاع بوته و خصوصیات عملکردی ماش

Table 2. Analysis of variance for effect of plant density and planting patterns on plant height and yield characteristics of mung bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)							
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در غلاف Grain number per pod	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	401.2	8.3	5.5	177.4	32.1	178.3	226.4	39.3
الگوی کاشت Planting pattern (P)	2	119.5*	321.4**	89.2**	2988.2**	744.5**	18569**	33572.5**	643.2**
تراکم بوته Plant density (D)	2	117.3*	308.5**	76.4**	2583.5**	692.4*	15927.2**	29768.2**	31.5*
الگوی کاشت × تراکم D×P	4	747.4*	211.2**	70.5**	1693.2**	477.8**	13946.4**	25746.5**	433.8**
خطا Error	18	41.2	13.7	6.3	111.7	44.5	152.7	331.9	12.5
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		12.3	14.1	13.5	10.2	9.72	12.3	11.9	15.54

ns, *, **: به ترتیب بیانگر تفاوت غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد

ns, *, **: not significant and significant at 5% and 1%, respectively

جدول ۳- اثر الگوی کاشت و تراکم بوته بر ارتفاع بوته و اجزای عملکرد ماش

Table 3. Effect of plant density and planting patterns on plant height and yield components of mung bean

الگوی کاشت Planting pattern	اجزای عملکرد (Yield components)					
	تراکم بوته (بوته در مترمربع) Plant density (plant/m ²)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در غلاف Grain number per pod	تعداد دانه در بوته Grain number per plant	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000-grain weight(g)
فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر Row spacing with 30 cm	20	77.31 ab	23.05 a	9.7 a	223.5 a	36.8 bc
	28	80.82 a	21.1 b	8.9 a	178 b	40.2 b
	36	72.62 b	16.1 de	7.4 b	144 cd	44.7 a
فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر Row spacing with 15 cm	20	72.34 b	22.6 ab	8 ab	180.8 b	34.6 c
	28	75.80 ab	19.7 c	7 b	137.9 cd	37.5 bc
	36	67.61 c	17.4 d	6.6 c	114.8 e	41.7 ab
دست‌پاش Hand scattering of seeds	20	69.74 b	21.4 b	7 b	149.8 c	34.1 c
	28	73.33 b	19.2 c	6 cd	115.2 e	36.2 bc
	36	65.11 c	15.5 e	6.5 c	107.9 ef	39.7 b

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter in each column are not significantly different in probability level of 5% by Duncan test.

به افزایش تعداد گل، تعداد غلاف در بوته و در نهایت افزایش عملکرد تک‌بوته می‌شود. به نظر می‌رسد که افزایش تعداد غلاف در بوته در الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع در شرایط این آزمایش مربوط به رشد بهتر اندام هوایی، زیرزمینی و استفاده بهتر گیاه از شرایط محیطی نسبت به دو الگوی کاشت دیگر باشد. (Sandha *et al*, (2007) نیز گزارش کردند که ارقام ماش در تراکم‌های کم تا متوسط، بسته به شرایط آب و هوایی دارای تعداد غلاف و دانه در غلاف بیشتری بودند.

تعداد دانه در غلاف

نتایج نشان داد تعداد دانه در غلاف به طور معنی‌دار تحت تأثیر الگوی کاشت، تراکم بوته و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در غلاف با میانگین ۱۰ عدد در شرایط الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و کمترین تعداد آن با میانگین شش عدد به الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۲۸ و ۳۶ بوته در مترمربع اختصاص داشت و اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری بین این دو تراکم در الگوی دست‌پاش مشاهده نشد (جدول ۳). در این خصوص (Singh *et al*, (1991 و (William *et al*, (2002 نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. بیان شده است که دوره بحرانی تشکیل دانه در غلاف با پایان مرحله طول‌شدن غلاف و شروع دوره پرشدن دانه مصادف است، لذا هر عامل که منجر به کاهش طول این دوره گردد، منجر به کاهش تعداد دانه در غلاف می‌گردد (Karatian *et al*, 2002). لذا به نظر می‌رسد که در این آزمایش تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر فاصله، تراکم کاشت و همچنین شرایط محیطی

بیشترین ارتفاع بوته ۸۱ سانتی‌متر به الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۸ بوته در مترمربع و کمترین ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر در شرایط الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۳۶ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۳). Shapiro & Wortman (2006) در مطالعات خود بیان کردند که افزایش تراکم گیاهی تا حد مشخصی ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد، اما در تراکم‌های زیاد به دلیل ایجاد رقابت شدید بین بوته‌ها و ممانعت از رشد ریشه، جذب آب و مواد غذایی ارتفاع بوته کاهش می‌یابد. احتمالاً کاهش ارتفاع بوته در تراکم ۳۶ بوته در مترمربع نیز به دلیل رقابت شدید درون‌گونه‌ای حاصل از بوته‌های ماش و توزیع نامناسب بوته‌ها در الگوی کاشت دست‌پاش بوده است. همچنین (Fathi (2010 نیز کاهش ارتفاع ماش در شرایط افزایش تراکم را به محدودیت منابع رشدی نظیر رطوبت و مواد غذایی نسبت داده است.

تعداد غلاف در بوته

تعداد غلاف در بوته به طور معنی‌دار تحت تأثیر الگوی کاشت، تراکم بوته و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته ۲۳/۱ در شرایط الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و کمترین تعداد، ۱۵/۵ به برهمکنش الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۳۶ بوته در مترمربع تعلق گرفت (جدول ۳). در این خصوص (Nabila Zaki *et al*, (2007 بیان کرده‌اند که افزایش فاصله بین بوته‌ها از طریق کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، سایه‌اندازی، افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی از طریق گسترش اندام‌های زیرزمینی و اندام‌های هوایی و همچنین تولید مقادیر بیشتر هیدرات‌های کربن ذخیره‌ای در گیاه منجر

بوده و افزایش تراکم به دلیل افزایش رقابت منجر به کاهش تعداد دانه در غلاف شده است.

تعداد دانه در بوته

با توجه به نتایج، اثر الگوی کاشت، تراکم بوته و برهمکنش آن‌ها بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در بوته با میانگین ۲۲۳/۵ از برهمکنش الگوی کاشت ردیفی با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و کمترین تعداد دانه در بوته با میانگین ۱۰۸ از برهمکنش الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۳۶ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۳). نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج آزمایش محققانی از جمله Fernando et al, (2002) و Youe & Poehlman (2002) همخوانی داشت. در این آزمایش کاهش تراکم بوته همزمان با افزایش فاصله ردیف در گیاه ماش در الگوی کاشت ردیفی منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و به دنبال آن تعداد دانه در بوته شد. در حقیقت در تراکم‌های کم به دلیل افزایش طول دوره رشد، گیاهان فرصت بیشتری برای افزایش تولید ماده خشک خواهند داشت. لذا به نظر می‌رسد که این حالت یکی از دلایل برتری تعداد دانه در بوته در شرایط کاهش تراکم باشد. همچنین بیان شده است که ایجاد تعادل فیزیولوژیکی مطلوب بین منبع و مخزن ذخیره مواد فتوسنتزی یکی از عوامل مهم و موثر بر اجزای عملکرد نظیر تعداد دانه در گیاه می‌باشد (Fernando et al, 2002).

وزن ۱۰۰۰ دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن ۱۰۰۰ دانه به طور معنی‌دار تحت تأثیر الگوی کاشت، تراکم بوته و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه با میانگین ۴۴/۷ گرم از الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۳۶ بوته در مترمربع و کمترین وزن ۱۰۰۰ دانه با میانگین ۳۴/۱ گرم به الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع حاصل شد (جدول ۳). بیان شده است که افزایش تعداد دانه باعث کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و کاهش وزن آن می‌شود (Kocheiki & Banayan Aval, 1994). در این آزمایش به نظر می‌رسد وزن ۱۰۰۰ دانه تحت تأثیر تعداد دانه بوده و با افزایش تعداد دانه در بوته وزن ۱۰۰۰ دانه کاهش یافته است. (Asadipour & Haj Seyed Hadi (2013) نیز بیان

کردند که کاهش تراکم بوته از طریق افزایش تعداد دانه در بوته منجر به کاهش وزن ۱۰۰۰ دانه می‌گردد. همچنین بیان شده است که کاهش تراکم کاشت معمولاً از طریق افزایش تعداد گل، غلاف و همچنین افزایش تعداد دانه در بوته منجر به کاهش سهم فتوسنتزی به هر کدام از دانه‌ها و کاهش اندازه و وزن بذور و میوه‌ها می‌گردد (Kaur et al., 2004; Toker et al., 2004). به نظر می‌رسد که در فرآیند رشد زایشی اثر فتوسنتز جاری برگ و انتقال آن به دانه نقش اساسی در پُرشدن دانه و وزن دانه داشته است (Radmehr et al., 2004) به نحوی که در این آزمایش ممکن است کاهش تعداد دانه در بوته به صورت خطی باعث افزایش وزن دانه شده باشد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار الگوی کاشت، تراکم و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد دانه بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۲۳۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار از الگوی کاشت ردیفی با فاصله ردیف ۳۰ و تراکم ۳۶ بوته در مترمربع و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۱۰۲۷/۵ کیلوگرم در هکتار به الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع تعلق گرفت (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد بوته در واحد سطح عامل اصلی افزایش در عملکرد دانه بوده است. به عبارت دیگر دلیل افزایش عملکرد در تراکم‌های بیشتر را می‌توان به تعداد بیشتر گیاهان و افزایش وزن دانه‌ها نسبت داد. (Mirzaee & Modhaj (2005) در بررسی اثر فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰، ۶۵ و ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر بر عملکرد ماش بیان کردند که بیشترین عملکرد در مترمربع در آرایش کاشت ۵۰×۵ سانتی‌متر مشاهده شد. این محققان بیان کردند که با کاهش فاصله بوته‌ها و افزایش تعداد بوته در واحد سطح، میزان عملکرد دانه در تک‌بوته کاهش می‌یابد، ولی این کاهش با افزایش تعداد بوته در واحد سطح جبران شده و نهایتاً منجر به افزایش عملکرد دانه در واحد سطح می‌گردد. در مطالعه دیگری بر ماش چنین اظهار شد که با تغییر تراکم کشت از ۱۰ به ۲۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی‌دار از لحاظ تعداد غلاف بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰۰ دانه مشاهده نشد، ولی عملکرد دانه با افزایش تعداد بوته در مترمربع افزایش یافت (Alavi Fazel et al., 2015)

جدول ۴- اثر الگوی کاشت و تراکم بوته بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ماش

Table 4. Mean comparison for effect of plant density and planting patterns on grain yield, biological yield and harvest index of mung bean

الگوی کاشت Planting Pattern	تراکم بوته (بوته در مترمربع) (plant/m ²) Plant density	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر Row spacing with 30 cm	20	1645.5 c	4295.3 c	38.5 ab
	28	2003.6 b	4985.5 b	40.2 a
	36	2317.2 a	5783.7 a	40 a
فاصله ردیف ۱۵ سانتی‌متر Row spacing with 15 cm	20	1251.1 e	3659.4 de	34.1 d
	28	1447.9 d	3946.5 cd	36.5 c
	36	1436.6 d	3845.4 d	37.3 bc
دست‌پاش Hand scattering of seeds	20	1027.5 f	3174.2 f	31.5 ef
	28	1167.4 ef	3510.6 e	33.2 de
	36	1542.1 cd	4389.8 c	35.1 cd

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند.

Means followed by the same letter in each column are not significantly different in probability level of 5% by Duncan test.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای کاشت، تراکم بوته و برهمکنش بین آن‌ها بر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی با میانگین ۵۷۸۴ کیلوگرم در هکتار از الگوی کاشت ردیفی با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۳۶ بوته در مترمربع و کمترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۳۱۷۴ کیلوگرم در هکتار از الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۴). بیان شده است که عوامل محیطی، گیاهی و مدیریت زراعی روی کارایی مصرف نور تأثیر دارند. با وجود این‌که کارایی مصرف نور زیاد نشانگر استعداد بهتر گیاه در تبدیل نور به زیست توده می‌باشد، ولی عملکرد زیست‌توده بستگی به تعداد بوته در واحد سطح نیز دارد (Sarmadnia & Kochaki, 2012). لذا اتخاذ بهترین تراکم و فاصله کشت برای بهره‌وری حداکثر از زمین تأثیر زیادی بر ماده‌سازی گیاه و در نهایت در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی دارد. در بررسی اثر الگوی کاشت و تراکم بوته بیشترین عملکرد بیولوژیک از بیشترین تراکم بوته حاصل شد. افزایش عملکرد بیولوژیک در تراکم ۳۶ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ و ۲۸ بوته در مترمربع به دلیل افزایش تعداد گیاه و همچنین افزایش تولید ماده خشک در واحد سطح بود.

(Fathi (2010) نیز بیان کرد که بین تراکم‌های مختلف

کاشت ماش از نظر تولید ماده خشک اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که شاخص برداشت به طور معنی‌دار تحت تأثیر الگوهای کاشت، تراکم بوته و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت. در این آزمایش بیشترین شاخص برداشت با میانگین ۴۰ درصد به برهمکنش الگوی کاشت ردیفی با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و تراکم ۲۸ و ۳۶ بوته در مترمربع تعلق داشت و اختلافی بین آن‌ها مشاهده نشد. کمترین شاخص برداشت با میانگین ۳۱/۵ درصد از برهمکنش الگوی کاشت دست‌پاش و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۴). در این تحقیق به نظر می‌رسد که رقابت ایجادشده بین حداکثر تعداد دانه تولیدشده در تراکم پایین منجر به کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و در نتیجه کاهش اندازه و وزن دانه شده است. به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که کاهش تراکم از طریق کاهش عملکرد دانه منجر به کاهش شاخص برداشت شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که در هر سه الگوی کاشت کمترین ارتفاع، تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف و دانه در بوته در تراکم ۳۶ بذر در مترمربع، ولی بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه در تراکم ۳۶ بذر در مترمربع و الگوی کاشت ردیفی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر با ۲۳۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار با ۱۰۲۷/۵ کیلوگرم در هکتار در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و الگوی کاشت دست‌پاش به‌دست آمد. بر این اساس، می‌توان این ترکیب الگوی کاشت و تراکم را در شرایط منطقه به منظور استفاده بهینه از شرایط محیطی و دستیابی به حداکثر عملکرد دانه پیشنهاد کرد.

منابع

1. Alavi Fazel, M. , Lak, S., and Momeni Chalaki, R. 2015. Study of plant density effect on grain yield of mung bean cultivars in climate conditions of Izeh city. Journal of Crop Production Research 7(2): 145-161. (In Persian with English Summary).
2. Anonymous. 2016. Meteorological organization of Khuzestan province. Statistical Yearbook of Izeh and Baghmalkak Station.
3. Asadipour, M., and Haj Seyed Hadi, M.R. 2013. Influence of vermicompost and plant density on some morphological traits and biological yield of mung bean (*Vigna radiata*). International Research Journal of Applied and Basic Sciences 5(3): 319-323.
4. Baghestani, M.A. 2009. Competitive strength of rival varieties of different densities of noncompeting wheat in wheat and turnip. Final Report of the Research Project, Weed Research Division Research Institute, p. 131.
5. Dainavizadeh, P., and Mehranzadeh, M. 2013. Effect of seed rate on growth, yield components and yield of mung bean grown under irrigated conditions in the north of Khuzestan. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5(20): 2359-2364.
6. Dhanjal, R., Prakash, O.M. and Ahlawat, I.P.S. 2001. Response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to plant density. Indian Journal of Plant Physiology 46: 277-281.
7. Fathi, G. 2010. Effects of plant density on yield and yield components of mung bean in Khoozestan growing conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 41(1): 19-27. (In Persian with English Summary).
8. Fernando, H., Pablo Calvino, A., Cirilo, A., and Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interaction. Agronomy Journal 94: 975-980.
9. Karatian, A., Ahmadi, G.M., and Heidar Sharif Abadi, H. 2002. Effect of seed size and plant density on yield and yield components of peas. 7th National Iranian Crop Science Congress. Karaj, Iran. (In Persian).
10. Kaur, S., Gupta, A., Kuar, N. 2004. Gibberellin A3 reverses the effect of salt stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings by enhancing amylase activity and mobilization of starch cotyledons. Plant Growth Regulation 26: 85-90.
11. Kazemi, Z., Esmaeili, M., Amini, A., Bankehsaz, M., and Moarefiyan, A. 2008. Effects of planting pattern and plant density changes on yield and yield components of two cultivars of maize. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 26: 38-45.
12. Kochaki. A., and Banayan Aval, M. 1994. Physiology of Crop Yield. Jahad Daneshgahi Press. Mashhad. (In Persian).
13. Mirzaee, A. and Modhaj, A. 2005. Effects of plan spacing on grain yield and yield components of *Vigna radiata* L. (CV. Gohar) in Ilam condition. The 1th Iranian Pulse Crops Symposium. Mashhad Ferdowsi University. Mashhad. (In Persian with English Summary).
14. Nabila Zaki, M., Hassanein Karima, M.S., and Gamal EL-Din, M. 2007. Growth and yield of wheat cultivars irrigated with saline water in newly cultivated land as affected by bio fertilization. Journal of Applied Sciences Research 3(10): 1121-1126.
15. Nienhuis, J., and Singh, S.P. 2004. Effects of location and plant density on yield and architectural traits in dry bean. Crop Science 25: 579-584.
16. Radmehr, M., Lotf-Ali Aeyneh, G.A., and Naderi, A. 2004. A study on source-sink relationship of wheat genotypes under favorable and terminal heat stress conditions in Khuzestan. Iranian Journal of Crop Sciences 6(2): 101-114. (In Persian with English Summary).
17. Samadi Firouzabadi, B., and Farahani, E. 2013. Effect of planting date on seed yield and its components of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes in varamin region in Iran. Seed and Plant Production Journal 29(3): 387-401. (In Persian with English Summary).
18. Sandha, T.S., Bhllav, H. Chema, S., and Gill, A. 2007. Variability and interrelationship among grain protein yield and yield components in mung been. Indian Journal of Agricultural Research 30: 871-882.
19. Sarmadnia, G., and Kochaki, A. 2012. Crop Plant Physiology. Mashhad University. Iran. P. 400.
20. Sekhavat, R., and Samadi Firouzabadi, B. 2012. The effect of planting pattern and plant density on seeds yield and yield components of mung bean. The 5th Iranian Pulse Crops Symposium. Tehran University. Tehran, Iran. (In Persian).
21. Shapiro, C.A., and Wortman, C.S. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing and plant density in eastern Nebraska. Agronomy Journal 98: 529-535.

22. Singh, K., Bali, A., and Shah, M. 1991. Effect of spacing and seed rate on yield of green gram in Kashmir valley. *Indian Journal of Agricultural Science* 61: 326-327.
23. Soleymani Sardoo, M., Afsharmanesh, G., and Roudbari, Z. 2017. Evaluating the effects of sowing date and plant density on yield and yield components of mung bean in Jiroft County. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions* 1(1): 27-34. (In Persian with English Summary).
24. Tajbakhsh, M. 1996. Seed (study, control and certification). Ahrar Press. Tabriz. 179 p. (In Persian).
25. Toker, C., Ulger, S., Karhan, M., Canci, H., Akdesir, O., Ertoy, N., and Cagiran, M.I. 2004. Comparison of some endogenous hormone levels in different parts of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution* 52: 233-237.
26. William, D., Widdicom, B., and Kurtd, B. 2002. Row width and plant density effects on corn forage hybrids. *Agronomy Journal* 894: 326-330.
27. Youe, J.M., and Poehlman, J.M. 2002. Genetic variability in mung bean (*Vigna radiata* L.) Wilczek. *Crop Science* 12: 461-464.

Effect of plant density and planting pattern on growth and yield characteristics of mungbean (*Vigna radiata* L.) under Baghmalek weather condition

Jafari¹, R. & Marashi^{2*}, S.K.

1. MSc. Agronomy, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran;
rezataheribabadi8@gmail.com

2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received: 21 July 2018
Accepted: 4 December 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.74268

Introduction

Mung bean (*Vigna radiata* L.) as one of the most important beans, has 20-25% protein and is a protein supplier that is needed by humans and plays an important role in this regard. Increasing yield per unit area is one of the most important factors for increasing production. Planting pattern and plant density per unit area are two important factors affecting the growth and yield of plants. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of these parameters on growth and yield characteristics of mung bean under Baghmalek weather conditions.

Materials & Methods

In order to evaluate the effect of plant density and planting pattern on growth and yield characteristics of mung bean under Baghmalek weather conditions, an experiment was carried out as factorial in a randomized complete block design. The studied factors included, planting density in three levels of 20, 28 and 36 seeds per square meter, and the second factor included, hand scattering of seeds (control), between row distances of 15 cm and 30 cm. In hand scattering of seeds (control) (traditional) and row planting, the seeds were cultivated manually and uniformly in different amounts according to the plant densities. Field preparation included plowing, disks and leveling. After preparation of the field, nitrogen and phosphate fertilizers were mixed with the disk machine at a depth of 15 cm. Nitrogen from the source of urea (46%) was 80 kg nitrogen per hectare, 50% before planting, 25% in stem elongation and 25% in flowering stage and phosphorus fertilizer from the source of triple superphosphate at a rate of 100 kg/ha P (48%) was used. Statistical analysis was performed using SAS 9.2 and comparing of the means was based on Duncan method at 5% probability level.

Results & Discussion

The results showed that planting pattern with 30 cm spacing compared to hand scattering of seeds improved yield, number of seeds per plant, seeds per pod, pods per plant, 1000-grain weight and plant height. The maximum plant height as 81 cm was obtained from a row planting pattern with a spacing of 30 cm and 28 plants per square meter and the minimum height with an average of 65 cm from density 36 plants per square meter. The maximum grain yield with 2317 kg/ha was obtained from row pattern with 30 cm distance and density of 36 seed per square meter. The minimum grain yield with 1027 kg/ha belonged to hand scattering of seeds and density of 20 seed per square meter. Increasing of 1000-grain weight and number of plants per unit area was the main cause for increasing of grain yield. In other words, the reason for increasing yields in more densities can be attributed to the greater number of plants per unit area and 1000-grain weight. The highest biological yield as 5784 kg/ha was observed from the row planting pattern with a row spacing of 30 cm and a density of 36 plants per square meter, and the lowest biological yield was 3174 kg/ha and a density of 20 plants per square meter. The increase in biological yield at 36 plants per square meter was higher than the density of 20 and 28 plants per square meter due to increase in plant number and also increase in dry matter production per unit area. The maximum percentage of harvest index with an

*Corresponding Author: marashi_47@yahoo.com

average of 40% was belonged to the interaction of row planting pattern with a distance of 30 cm and density of 28 and 36 plants per square meter.

Conclusion

In general, the results of the experiment showed that in all three planting patterns, the lowest height, number of pods per plant, seeds per pod and seeds per plant were obtained at 36 plants per square meter. The maximum grain yield was obtained at 36 plant density per square meter and the row planting pattern with a distance of 30 cm by 2317.5 kg/ha and the lowest was obtained by 1027.5 kg/ha at a density of 20 plants per square meter and hand scattering of seeds (control). Therefore, this combination of planting pattern and plant density in region can be suggested for optimal use of environmental conditions and maximum grain yield.

Keywords: Biological yield, Grain yield, Number of seeds per plant, Plant height

ارزیابی شاخص‌های عملکرد و نسبت برابری زمین انواع لوبیا در کشت مخلوط ردیفی با خیار سبز

قربانعلی اسدی^{۱*}، سرور خرم‌دل^۲، محمدجواد مصطفوی^۳ و مینا هوشمند^۳

۱- دانشیار علوم علف‌های هرز، عضو هیئت علمی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، عضو هیئت علمی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجویان دکتری اکولوژی، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛

به ترتیب mj.mostafavi@mail.um.ac.ir و hooshmand.mina@mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۰۶

چکیده

کشت مخلوط از جمله راهکارهای دستیابی به کشاورزی پایدار است. به منظور مطالعه شاخص‌های عملکرد و اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین جزئی انواع مختلف لوبیا در کشت مخلوط، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت از کشت خالص چهار نوع لوبیا شامل چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*)، چیتی، قرمز و سبز (*Phaseolus vulgaris*) و کشت مخلوط هر کدام از آن‌ها با خیار سبز (*Cucumis sativus*) بود. یافته‌ها نشان داد که تعداد شاخه‌های جانبی لوبیاهای دانه‌ای از کشت مخلوط تأثیری نپذیرفت، اما سبب افزایش طول ساقه لوبیاچشم‌بلبلی شد. کشت مخلوط تعداد و وزن غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن شاخساره (ساقه و برگ بوته) و وزن کل بوته لوبیاهای را بهبود داد. وزن ۱۰۰ دانه انواع لوبیا با هم تفاوت معنی‌داری داشت، اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کشت خالص و مخلوط آن‌ها مشاهده نشد. همچنین، بیشترین عملکرد زیست‌توده و اقتصادی در تیمارهای کشت خالص ثبت شد که به جز در لوبیاقرمز (به ترتیب ۱۵۴۹ و ۸۷۷ کیلوگرم در هکتار)، اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. شاخص برابری زمین جزئی تمامی انواع لوبیا بهبود یافت که نشان‌دهنده سودمندی نسبی کشت مخلوط برای لوبیاهای مورد مطالعه بود. این شاخص در لوبیاسبز (۰/۶۹) بیشترین و در لوبیاقرمز کمترین مقدار (۰/۵۲) را داشت. مقایسه گروهی عملکردهای متعادل شده انواع لوبیا نیز حاکی از اختلاف معنی‌دار کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. بنابراین می‌توان کشت مخلوط لوبیا با خیار سبز را به عنوان راهکاری پایدار در جهت فشردن‌سازی اکولوژیک تولید این محصولات پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: تولید پایدار، رقابت درون‌گونه‌ای، فشردن‌سازی اکولوژیک، لوبیاسبز، هم‌افزایی

مقدمه

و از بین رفتن اکوسیستم‌های خاکی و آبی و انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای ناممکن ساخته است (Ghimire et al., 2017; Titttonell, 2014). بنابراین روند کنونی کشاورزی رایج برای تأمین نیازهای کنونی و آینده تغذیه‌ای بشر به هیچ عنوان پایدار نیست. توسعه فعالیت‌های کشاورزی برای افزایش عرضه غذا در شرایط چالش برانگیز محدودیت آب و زمین‌های مساعد در دسترس و قابل کشت و همچنین افزایش بی‌رویه قیمت جهانی نهاده‌ها لزوم تجدیدنظر در دیدگاه‌های غالب و همچنین حرکت به سوی کشاورزی پایدار را برجسته می‌کند (Altieri, 2018). از جمله راهکارهای مورد توجه در این زمینه، فشردن‌سازی اکولوژیک تولید غذا با استفاده از کشت مخلوط است.

کشت مخلوط گیاهان زراعی به صورت «سیستم تولید دو یا چند محصول در یک قطعه زمین در زمان‌های کمابیش همزمان (کاملاً همزمان، تأخیری و متوالی)» تعریف می‌شود

پیش‌بینی شده است که تا میانه‌های قرن کنونی، جمعیت جهان به بیش از ۹ میلیارد نفر برسد (Martin-Guay et al., 2018). افزایش تقاضا برای غذا توسط جمعیت رو به رشد جهان مخاطراتی نظیر تخریب منابع طبیعی و تغییر کاربری زمین را به وجود آورده است که توسعه کشاورزی و تولید غذای بیشتر و در نتیجه تأمین و حفظ امنیت غذایی را تهدید می‌کند (Moreira et al., 2018). تا به امروز، اگرچه فشردن‌سازی رایج تولید غذا با استفاده از تجهیزات مختلف و نهاده‌های شیمیایی توانسته است نیاز عمده تولید غذا را برطرف کند، اما مخاطراتی که بر اثر این فشردن‌سازی برای محیط زیست به وجود آورده است، ادامه روند قبلی را به خصوص در شرایط تغییر اقلیم و ازدست رفتن تنوع زیستی، آبشویی عناصر غذایی، آلودگی منابع

*نویسنده مسئول: asadi@um.ac.ir

مواجهه با علف‌های هرز توان رقابتی کمی دارند. بنابراین رقابت علف‌های هرز با آن‌ها در این مرحله می‌تواند کاهش رشد و عملکرد را در پی داشته باشد (Kamali and Edalat, 2017). از این رو کشت مخلوط حبوبات با گیاهانی مثل گیاهان خانواده کدوئیان که سطح زمین را به سرعت پوشش می‌دهند، علاوه بر اثرات مثبتی که حبوبات برای آن‌ها به همراه دارد، می‌تواند موجب بهبود شرایط رشدی حبوبات در نتیجه کاهش تراکم و رقابت علف‌های هرز و حفظ رطوبت و کاهش دمای سطحی خاک شود (Amiri et al., 2016; Kamali & Edalat, 2017; Liu et al., 2018). یافته‌های پژوهشی در زمینه ارزیابی کشت مخلوط ذرت در تراکم‌های مختلف کدوخلوایی (*Cucurbita pepo* L.) حاکی از این بود که تیمارهای کشت مخلوط کارایی استفاده از منابع بیشتری را همزمان با کاهش رشد علف‌های هرز داشتند که موجب افزایش عملکرد ذرت و بهبود نسبت برابری زمین جزئی این گیاه زراعی شد (Fujiyushi, 1998). بنابراین با توجه به فواید کشت مخلوط برای تمام گونه‌های مخلوط، هدف از اجرای این تحقیق بررسی اثر کشت مخلوط ردیفی با خیارسبز بر اجزای عملکرد و عملکرد و نسبت برابری زمین انواع مختلف رشدی لوبیا شامل چشم‌بلبلی، چیتی، قرمز و لوبیاسبز بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*)، لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L. pinto group)، لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L. kidney group)، و لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) به صورت خالص و کشت مخلوط ردیفی جایگزینی با نسبت ۱:۱ با خیارسبز بود. ارقام مورد استفاده شامل لوبیاچشم‌بلبلی رقم مشهد، لوبیاچیتی رقم تلاش، لوبیاقرمز رقم اختر، لوبیاسبز رقم سانری و خیار رقم هیبرید سوپر دومینوس سمینیس^۱ بود.

زمین مورد استفاده، به مدت یک سال تا قبل از اجرای آزمایش تحت آیش بود. در اردیبهشت ۱۳۹۵ و قبل از عملیات کشت، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری با استفاده از اگر تا عمق ۳۰ سانتی متری انجام و نمونه به آزمایشگاه خاک ارسال شد (جدول ۱).

(Lepse et al., 2018). این شیوه مدیریتی یکی از جنبه‌های مهم کشاورزی پایدار است که با افزایش تنوع اکولوژیک موجب استفاده کارآتر از منابعی همچون زمین، نور و آب، کاهش آسیب‌پذیری در برابر بیماری‌ها، ارتقای فعالیت‌های میکروبی خاک، بهبود عملکرد محصولات و افزایش ثبات نظام‌های کشاورزی می‌شود (Amiri et al., 2016; Wang et al., 2016). در پژوهشی بهره‌وری و کارایی استفاده از نهاده‌های مختلف در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و پنبه (*Gossypium hirsutum*) ارزیابی و گزارش شد که کارایی‌های جذب، مصرف و بهره‌وری نور، آب و نیتروژن در کشت مخلوط ذرت نسبت به کشت خالص گونه‌ها افزایش قابل توجه و معنی‌داری داشت و از سوی دیگر، در تمامی تیمارهای کشت مخلوط گونه‌ها، کارایی جذب و مصرف نور بیشتر از کشت خالص بود و نسبت برابری زمین نیز در تیمارهای کشت مخلوط افزایش یافت که حاکی از برتری کشت مخلوط بر کشت خالص است (Rafe'ee, 2016).

حبوبات منبع مهم پروتئین‌های گیاهی هستند. لوبیا نیز به‌عنوان گیاهی مهم از خانواده حبوبات، به دلیل دارا بودن پروتئین بالا و توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن ارزش غذایی و زراعی قابل توجهی دارد. حبوبات از طریق همزیستی با میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن قادرند نیتروژن مورد نیاز خود و گیاهان مجاور خود را تأمین کنند (Rafiiolhossaini et al., 2016; Piroozi et al., 2014). از این رو کاشت گونه‌ها و تیپ‌های مختلف رشدی این گیاه در سیستم‌های کشاورزی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. کشت مخلوط لوبیا با سایر گیاهان زراعی می‌تواند منجر به رفع و کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه شود که یکی از اهداف دستیابی به اصول کشاورزی پایدار در مدیریت سیستم‌های زراعی است. یافته‌های Ziyae et al. (2015) نشان داد که کشت مخلوط ذرت و لوبیاچیتی و همچنین ذرت و لوبیاسبز سبب افزایش ۱۳ و ۲۱ درصدی نسبت برابری زمین شد. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که نسبت برابری زمین در مخلوط ذرت و لوبیاسفید (*Phaseolus sp.*) و مخلوط لوبیا و لوبیاخنجر (*Phaseolus sp.*) ۱۱ و ۲۵ درصد کاهش یافت و توصیه کردند که در کشت مخلوط بایستی به انتخاب گونه‌های مخلوط توجه شود، تا با پرهیز از ایجاد رقابت بین گونه‌ای، هم‌افزایی گونه‌ها تظاهر یابد و بهبود استفاده از منابع و در نتیجه افزایش رشد و عملکرد گونه‌های مخلوط را در پی داشته باشد.

حبوبات به دلیل نداشتن صفات رقابتی مناسبی همچون سرعت کم رشد اولیه و ارتفاع و سطح برگ نسبتاً پایین، در

^۱ Super Dominus® Seminis™

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری) محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of field (0-30 cm depth)

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	شاخص واکنش pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (mg Kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس Available K (mg Kg ⁻¹)
لوم سیلتی Silty loam	1.71	7.68	0.68	0.068	47.3	355

رشد در واحد هکتار) بود. برداشت غلاف‌های لوبیاسبز به‌صورت مداوم در طول فصل رشد و هربار پس از توقف رشد غلاف و قبل از سفت شدن دانه‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، از کل کرت انجام شد. آخرین برداشت لوبیاسبز همزمان با برداشت لوبیاهای دانه‌ای در پایان فصل در تاریخ ۲۰ شهریور انجام شد. نسبت برابری زمین جزئی برای لوبیا (LER_{bean}) با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Esfahani et al., 2017):

$$LER_{bean} = Y_I / Y_S \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، Y_I عملکرد لوبیا در کشت مخلوط و Y_S عملکرد لوبیا در کشت خالص است. با توجه به نوع جایگزینی کشت مخلوط و نسبت ۱:۱ گونه‌های متفاوت لوبیا و خیارسبز در تیمارهای کشت مخلوط، $LER_{bean} = 0.5$ به‌عنوان حد عدم تأثیرپذیری گیاهان از تیمارهای کشت مخلوط در نظر گرفته شد. در پایان، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها (و مقایسات گروهی) و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS v.9.2 و MS Excel 2016 برای مقایسات میانگین از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. به دلیل این‌که شاخص‌های تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد اقتصادی بین هشت تیمار شامل چهار تیمار کشت خالص لوبیاهای دانه‌ای و سبز و چهار تیمار کشت مخلوط آن‌ها با خیار مشترک بود و سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده تنها به تیمارهای لوبیای دانه‌ای اختصاص داشت (شش تیمار شامل تیمار کشت خالص لوبیاهای دانه‌ای و چهار تیمار کشت مخلوط آن‌ها با خیار)، تجزیه آماری آن شاخص‌ها به‌صورت جداگانه انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که به‌جز تعداد شاخه‌های جانبی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سایر شاخص‌های مورد مطالعه شامل طول شاخه اصلی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن غلاف‌ها، وزن شاخساره، وزن کل بوته، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد زیست‌توده، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت انواع لوبیا وجود داشت (جدول ۲a و ۲b).

عملیات آماده‌سازی زمین و تهیه بستر کاشت با استفاده از گاواهن برگردان‌دار و دوبار دیسک عمودبرهم انجام شد که پس از ایجاد ردیف‌هایی ۱۲۰ سانتی‌متری توسط فاروئر، کرت‌بندی به‌صورت دستی انجام شد. کرت‌هایی با عرض شش متر و طول سه متر ایجاد و فاصله بین دو کرت مجاور و همچنین فاصله بین بلوک‌ها به‌ترتیب یک و دو متر در نظر گرفته شد. کاشت هر دو گیاه خیارسبز و انواع مختلف لوبیا پس از آماده‌سازی زمین، به صورت دستی انجام شد. تراکم کاشت برای تیمارهای خالص لوبیا ۱۸۰ بوته در مترمربع بود که در تیمارهای مخلوط جایگزینی، یکی از دو ردیف کشت روی ردیف به خیارسبز و با فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر اختصاص داده شد (تراکم ۹۰ بوته در مترمربع). اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و با هدف تسهیل در خروج گیاهچه‌ها از خاک، دومین آبیاری سه روز پس از کاشت انجام شد و پس از آن دور آبیاری به‌صورت هفت روزه بود. وجین علف‌های هرز مستمراً و تا بسته‌شدن کانوبی تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت به‌صورت دستی انجام شد. در طول فصل رشد مزرعه با هیچ آفت و بیماری مواجه نشد، بنابراین از هیچ گونه علف‌کش و یا سموم دیگری استفاده نشد.

شاخص‌های مورد مطالعه برای لوبیاهای دانه‌ای (لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و قرمز) شامل تعداد شاخه‌های جانبی، طول شاخه اصلی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن غلاف در بوته، وزن شاخساره (وزن کل اندام هوایی منهای غلاف‌ها)، وزن کل گیاه (وزن کل اندام هوایی)، وزن دانه در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه بود که در پایان فصل و پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها (زرد شدن غلاف‌ها)، از پنج بوته که به‌صورت تصادفی انتخاب شده بودند اندازه‌گیری شدند. همچنین لوبیاهای دانه‌ای پس از حذف اثر حاشیه‌ای و کف‌برنمودن کل بوته‌ها از سطح چهار مترمربع، در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون خشک شدند، سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم توزین شدند و در نهایت عملکرد بیولوژیک و اقتصادی و شاخص برداشت محاسبه شد. شاخص‌های مورد بررسی برای لوبیاسبز شامل تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد اقتصادی (مجموع وزن غلاف تازه برداشت شده در طی فصل

جدول ۲a- تجزیه واریانس صفات انواع لوبیا در کشت خالص و سری‌های جایگزینی کشت مخلوط با خیارسبز

Table 2a. ANOVA for the characteristics of different types of bean in sole culture and replacement intercropping with cucumber

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						وزن کل بوته Plant weight
		تعداد شاخه‌های جانبی Number of sub-branches	طول شاخه اصلی Stem length	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن غلاف در بوته Pods weight per plant	وزن شاخساره Shrub weight	
بلوک Block	2	0.321 ^{ns}	356.04 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.4 ^{ns}	84.01*	73.94 ^{ns}	250.53 ^{ns}
تیمار Treatment	5	0.134 ^{ns}	14639.27**	606.57**	34.58**	624.18**	322347**	344106.6**
خطا Error	10	0.229	367.64	10.1	0.66	13.22	1891.6	1832.53
CV (%)		10.1	13.57	9.97	13.24	10.35	11.76	10.57

^{ns}, * و ** به ترتیب به معنای غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

ns, * and ** means 'not significant' and significant at probability levels of 5 and 1 percent, respectively.

طول شاخه اصلی در بین تیمارهای آزمایش با هم تفاوت داشت که از میان آن‌ها بیشترین طول در تیمارهای کشت خالص و مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی (به ترتیب ۲۵۹/۵۳ و ۱۹۴/۶۷ سانتی‌متر) ثبت شد که با هم و نیز با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. طول شاخه اصلی در هیچ یک از تیمارهای کشت خالص و مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی و قرمز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت و به‌طور میانگین برابر با ۹۸/۳ سانتی‌متر بود (میانگین داده‌ها نمایش داده نشده است).

تعداد شاخه‌های جانبی و طول شاخه اصلی: اگرچه تعداد شاخه‌های جانبی در گونه‌های مختلف لوبیا متفاوت است، اما در این آزمایش اختلاف معنی‌داری بین لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز، چه در کشت خالص و چه کشت مخلوط مشاهده نشد (جدول ۳). (Koocheki et al, (2014) ضمن مطالعه بررسی شاخص‌های عملکردی سه گیاه نخود، لوبیا و سیاهدانه در کشت مخلوط جایگزینی گزارش کردند که تعداد شاخه‌های جانبی در هیچ یک از گیاهان مورد بررسی و نیز تیمارهای مختلف کشت مخلوط و خالص از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند که با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد.

جدول ۲b- تجزیه واریانس صفات انواع لوبیا در کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی با خیارسبز

Table 2b. ANOVA for the characteristics of bean ecotypes in sole culture and replacement intercropping with cucumber

منبع تغییرات SOV	میانگین مربعات Mean of squares					
	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن ۱۰۰ دانه 100-Seed weight	عملکرد زیست‌توده Biomass yield	عملکرد اقتصادی Economic yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	(2) 397.01 ^{ns}	(2) 30.48 ^{ns}	(2) 6.66 ^{ns}	(2) 639442.5 ^{ns}	(2) 36960 ^{ns}	(2) 16.92 ^{ns}
تیمار Treatment	(7) 9333.6**	(5) 376.44**	(7) 165.71**	(5) 59861724**	(7) 30583112**	(5) 15.67*
خطا Error	(14) 401	(10) 1.81	(14) 3.62	(10) 165806.2	(14) 19909.7	(10) 3.1
CV (%)	11.11	13.04	5.83	9.77	14.95	5.64

اعداد داخل پرانتز، درجه آزادی منبع تغییرات هستند.

^{ns}, * و ** به ترتیب به معنای غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.

Numbers into parentheses are df of SOV.

ns, * and ** means 'not significant' and significant at probability levels of 5% and 1%, respectively.

دریافت نور در کشت مخلوط هم مشاهده می‌شود، اما در طراحی بوم‌نظام‌های کشت مخلوط، این رقابت به نحوی

در جوامع گیاهی رقابت برای دریافت نور از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده ارتفاع گیاهان است و این رقابت برای

مدیریت می‌شود که موجب کاهش شاخص‌های رشدی و عملکرد نشود (Liu et al., 2018). یافته‌های پژوهش‌های دیگری نیز یافته‌های این مطالعه را درباره افزایش ارتفاع لوبیا در کشت مخلوط تأیید می‌کنند (Nasrollahzadeh Asl et al., 2012a; Nasrollahzadeh Asl et al., 2012b) و این امر را رقابت برای نور، استفاده لوبیا از گونه دیگر مخلوط به‌عنوان قیم برای رشد و نیز، تحریک رشد رویشی در تیمارهای کشت مخلوط می‌دانند.

تعداد دانه و وزن غلاف: مقایسه میانگین صفات نشان

داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار کشت مخلوط لوبیاقرمز با خیارسبز به‌دست آمد (۵۵/۴ عدد) که با کشت خالص آن (۳۸/۷ عدد) و همچنین کشت مخلوط لوبیاچیتی (۳۴/۳ عدد) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۵/۸ عدد) نیز به کشت خالص لوبیاچشم‌بلبلی اختصاص داشت که با تیمار کشت خالص لوبیاچشم‌بلبلی (۲۲ عدد) و همچنین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. در تمامی تیمارها، کشت مخلوط لوبیاهای مختلف تعداد بیشتر غلاف در بوته نسبت به کشت خالص آن‌ها داشت که این اختلاف‌ها نسبت به هم معنی‌دار بود. یافته‌های مشابهی در این زمینه توسط Hossein Pour et al, (2016) برای ارقام مختلف لوبیا سبز در تیمارهای کشت مخلوط با ذرت و توسط Noorbakhsh et al, (2015) برای لوبیای معمولی در کشت مخلوط با کنجد (*Sesamum indicum*) گزارش

شده است که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط برای لوبیا در تحریک تولید اندام‌های زایشی و در نتیجه بهبود اجزای عملکرد است. یافته مشابهی دیگری نیز درباره تأثیر کشت مخلوط نخود با زعفران گزارش شده است، به نحوی که کمترین تعداد غلاف بر بوته در تیمار کشت خالص نخود به‌دست آمد (Asadi et al., 2016). همچنین در پژوهش‌های دیگری از جمله پژوهش Moradi et al, (2016) نشان داده شده است که تعداد غلاف در بوته لوبیا در تیمارهای کشت مخلوط کمتر از تیمارهای کشت خالص بوده است. یافته‌های پژوهشگران مذکور به‌دلیل افزایش رقابت بین‌گونه‌ای در تیمارهای کشت مخلوط لوبیاچیتی با کدو پوست‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L. var. *Styriaca*) و ذرت بود که با تأثیر کاهنده بر تعداد گل‌های بارور لوبیاچیتی، تعداد غلاف‌های کمتری نیز ایجاد شد. بنابراین به نظر می‌رسد مدیریت تراکم گیاهی و همچنین انتخاب گونه‌های مخلوط بایستی به گونه‌ای انجام پذیرد که موجب ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای و کاهش رشد و عملکرد گونه یا گونه‌های دیگر در کشت مخلوط نگردد (Liu et al., 2018; Moradi et al, 2016; Hossein Pour et al., 2016). در آزمایشی دیگر که به بررسی شاخص‌های عملکردی عدس در کشت مخلوط پرداخته شده بود، نشان داده شد که به‌طور کلی تعداد و وزن غلاف در بوته در تیمارهای کشت مخلوط این گیاه با جو از کشت خالص بیشتر بود (Khalaf, 2015).

جدول ۳- برخی صفات انواع لوبیا در کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی با خیارسبز

Table 3. Characteristics of different types of bean in sole culture and replacement intercropping with cucumber

تیمارها Treatments	تعداد شاخه‌های جانبی Number of sub-branches	طول شاخه اصلی (سانتی‌متر) Stem length (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن دانه در بوته (گرم) Seeds weight per plant (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
لوبیاچشم‌بلبلی Black-eyed pea	SC 5.12 a	259.53 a	15.8 d	194.3 bc	42.33 c	27.97 bc
	IC 4.7 a	194.67 b	22 c	246.3 a	48.66 bc	32.3 ab
لوبیاچیتی Pinto bean	SC 4.47 a	90.2 c	24.8 c	94.4 d	40.55 c	30.71 abc
	IC 4.8 a	97.33 c	34.3 b	160.5 c	56.87 b	27.47 c
لوبیاقرمز Kidney bean	SC 4.73 a	108.67 c	38.7 b	121.1 d	45.3 bc	33.81 a
	IC 4.6 a	97 c	55.4 a	245.1 a	97.27 a	32.88 ab
لوبیا سبز Green bean	SC -	-	-	217.8 ab	-	-
	IC -	-	-	161.9 c	-	-

SC و IC به ترتیب به معنای کشت خالص و کشت مخلوط است.

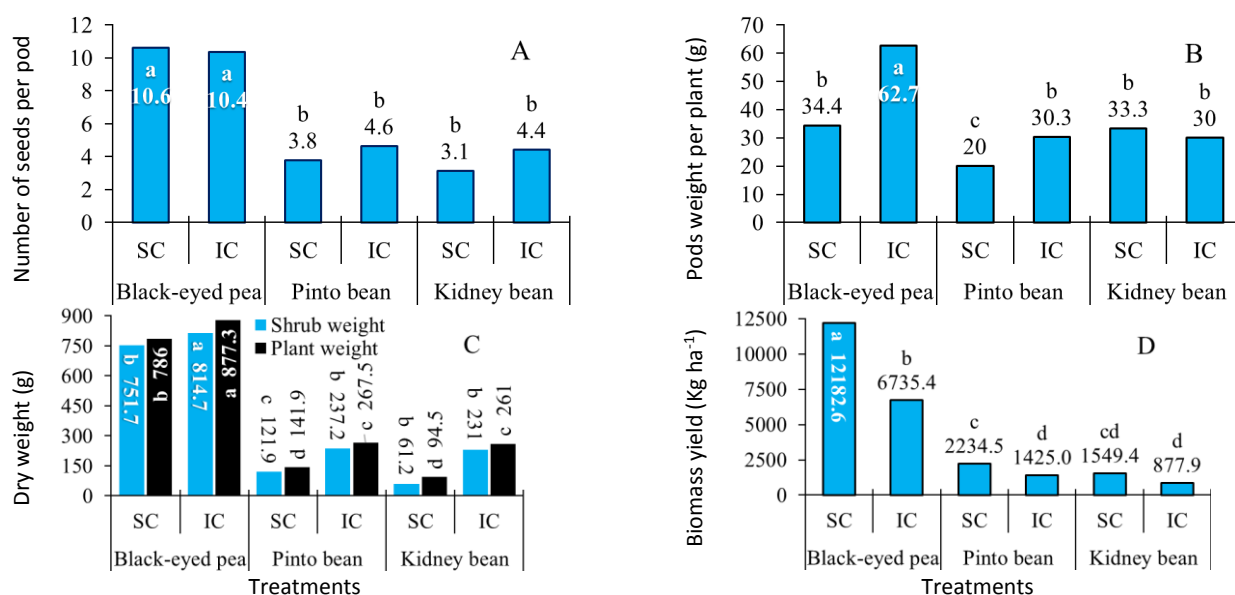
در هر ستون داده، اعداد دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند (DMRT $p \leq 0.05$).

SC and IC mean 'Sole culture' and 'Intercropping', respectively.

In every data column, the numbers that share letters, have not significant difference at probability level of five percent (DMRT $p \leq 0.05$).

Piroozi *et al*, (2014) گزارش کردند که تیمار کشت خالص لوبیای معمولی در مقایسه با تیمارهای کشت مخلوط این گیاه با ذرت بیشترین تعداد غلاف در بوته و کمترین تعداد دانه در غلاف را داشت. صفات غلاف در بوته و دانه در غلاف شاخص‌هایی مهم در عملکرد دانه حبوبات است که اگرچه صفاتی ژنتیکی هستند اما تنش‌های محیطی می‌تواند آن‌ها را کاهش دهند (Rafiiolhossaini *et al.*, 2016). کشت مخلوط می‌تواند با ایجاد تعادل اکولوژیک موجب پوشش مناسب‌تر زمین در مقایسه با تک‌کشتی شود و علاوه بر آن موجب کنترل علف‌های هرز، حفظ بهتر رطوبت و کاهش دمای کانوبی و خاک شود و از تأثیر تنش‌های محیطی بر گونه‌های مخلوط بکاهد و یا مانع از اثرگذاری آن‌ها شود (Nakhzari *et al.*, 2016; Lamei Harvani, 2013; Eskandari & Alizadeh-Amraei, 2015). بنابراین به نظر می‌رسد بهبود شرایط رشد در تیمارهای کشت مخلوط موجب بهبود شاخص‌های تعداد غلاف و دانه در بوته و یا عدم کاهش آن‌ها در این تیمارها نسبت به تیمارهای کشت خالص شود.

برخلاف شاخص تعداد غلاف در بوته، بیشترین تعداد دانه در غلاف در کشت‌های خالص و مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی (به ترتیب ۱۰/۶ و ۱۰/۴ عدد) ثبت شد که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. مقادیر این شاخص برای کشت خالص و مخلوط لوبیاچیتی به ترتیب برابر با ۳/۸ و ۴/۶ غلاف در بوته و لوبیاقرمز ۳/۱ و ۴/۴ غلاف در بوته بود که اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۱: A). نتایج پژوهش (Asadi *et al*, 2017) به بررسی تأثیر کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین و ارقام مختلف لوبیا (چشم‌بلبلی، چیتی، سفید و محلی) پرداخته بودند، نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار کشت مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی و پس از آن در کشت خالص این گیاه به دست آمد که مشابه با یافته‌های پژوهش حاضر، اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. از طرفی این محققان گزارش کردند که کمترین تعداد دانه در غلاف در تیمارهای مختلف لوبیاچیتی و سفید به دست آمد.



شکل ۱- تعداد دانه در غلاف (A)، وزن غلاف در بوته (B)، وزن شاخساره و کل بوته (C) و عملکرد زیست توده (D) لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز در کشت خالص (SC) و کشت مخلوط با خیارسبز (IC)

هر سری از میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند (DMRT $p \leq 0.05$).

Fig. 1. Number of seeds per pod (A), pods weight per plant (B), shrub and plant weight (C) and biomass yield (D) of black-eyed pea, pinto bean and kidney bean in sole culture (SC) and intercropping with cucumber (IC)

Every mean series that share letters, have not significant difference on probability level of five percent (DMRT $p \leq 0.05$).

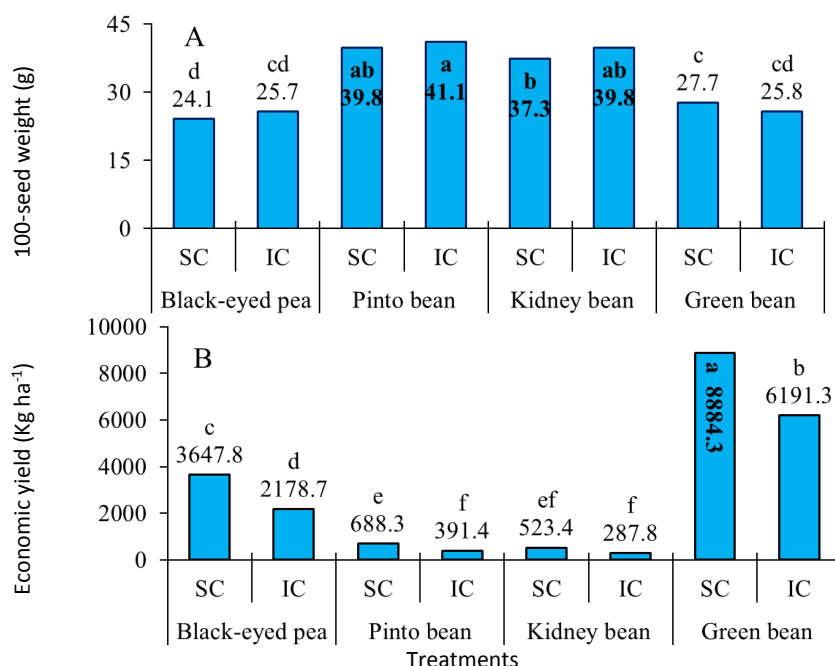
نتایج نشان داد که صفت وزن غلاف در بوته روند متفاوتی نسبت به تعداد غلاف در بوته داشت. بر این اساس، بیشترین وزن غلاف در بوته به کشت مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی با ۶۲/۷ گرم اختصاص داشت که اختلاف معنی‌داری با کشت خالص این گیاه (۳۴/۴ گرم) و همچنین کشت‌های خالص و مخلوط لوبیاچیتی و قرمز داشت (شکل ۱: B). همچنین کشت مخلوط لوبیاچیتی با خیارسبز باعث افزایش معنی‌دار ۵۱/۵ درصدی وزن غلاف در بوته نسبت به کشت خالص شد، اما اختلاف لوبیاقرمز در کشت خالص و مخلوط معنی‌دار نبود. با مقایسه نتایج تعداد غلاف در بوته و مقایسه با وزن غلاف در بوته، چنین به نظر می‌رسد که اختلاف معنی‌دار بین کشت خالص و مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی و لوبیاچیتی در هر دو شاخص مورد بررسی ظهور پیدا کرده است، اما این امر در مورد لوبیاقرمز مشاهده نشد، به گونه‌ای که تعداد بیشتر و اختلاف معنی‌دار کشت مخلوط لوبیاقرمز سبب افزایش وزن غلاف در بوته نشد (جدول ۳ و شکل ۱: B). دلیل این امر را می‌توان با توجه به مشاهدات مزرعه‌ای، به ضخامت کمتر پوشش غلاف در تیمار کشت خالص لوبیاقرمز نسبت به کشت خالص این گیاه نسبت داد.

وزن شاخساره و وزن کل بوته: وزن شاخساره (وزن اندام هوایی منهای غلاف‌ها) و وزن کل بوته (کل اندام هوایی) روند مشابهی داشتند و بیشترین مقادیر این دو شاخص به ترتیب به میزان ۸۱۴/۷ گرم و ۸۷۷/۳ گرم در تیمار کشت مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی مشاهده شد که با کشت خالص این گیاه و نیز سایر تیمارها اختلاف‌های معنی‌داری داشتند. همچنین شاخص های وزن شاخساره و وزن کل بوته در تیمارهای کشت مخلوط مربوط به هر سه گیاه لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز اختلافات معنی‌داری با کشت خالص آن گیاهان داشت (شکل ۱: C). وزن شاخساره و وزن کل بوته تشکیل‌دهنده عملکرد زیست‌توده گیاه است. بنابراین انتظار می‌رود در شرایط یکسان تراکم گیاهی، بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمارهایی به‌دست آید که بیشترین وزن شاخساره و کل بوته بیشتری را داشته‌اند. درصد افزایش وزن شاخساره و وزن کل بوته در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در لوبیاقرمز به ترتیب ۲۷۶/۲ و ۳۷۷/۴ درصد بود که بسیار قابل توجه بود. این نسبت‌ها برای لوبیاچشم‌بلبلی ۱۱۱/۶ و ۱۰۸/۳ درصد و برای لوبیاچیتی ۱۸۸/۵ و ۱۹۴/۵ درصد بود. یافته‌های Khalaf (2016) درمورد گیاه عدس نیز تأییدکننده یافته‌های حاضر است.

تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته: تعداد دانه در بوته در تیمارهای کشت مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز مقادیر بیشتر و اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با تیمارهای کشت خالص این گیاهان داشت، اما درمورد لوبیاسبز، روندی معکوس مشاهده شد، به گونه‌ای که بیشترین تعداد دانه در بوته (۲۱۷/۸ دانه در بوته) در تیمار کشت خالص ثبت شد که با تیمار کشت مخلوط این گیاه (۱۶۱/۹ دانه در بوته) اختلاف معنی‌داری داشت. از آن‌جا که لوبیاسبز مصرف تازه‌خوری دارد و در هنگام برداشت، دانه‌های آن نارس هستند، استفاده خوراکی کمتری از دانه‌های رسیده و خشک آن انجام می‌شود. شاخص وزن دانه در بوته (وزن خشک) تنها برای سه نوع دانه‌ای لوبیا شامل چشم‌بلبلی، چیتی و قرمز اندازه‌گیری شد. چنان که انتظار می‌رفت، روندی مشابه با تعداد دانه در بوته، در مورد شاخص وزن دانه در بوته نیز وجود داشت و تیمارهای کشت مخلوط هرکدام از لوبیاها به نحو معنی‌داری وزن دانه در بوته بیشتری را نسبت به کشت خالص خود داشتند. به عقیده Lak et al, (2013) از آنجا که تعداد و وزن دانه در بوته تابع تعداد و وزن غلاف در بوته و همچنین تعداد و وزن دانه در غلاف است، تغییرات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف موجب تغییرات همسویی در تعداد و وزن دانه در بوته می‌شود که دلیل روند مشابه در شاخص‌های تعداد و وزن دانه در بوته را می‌توان به این امر نسبت داد. نتایج حاصل از پژوهش Nasrollahzadeh Asl et al, (2012a) یافته‌های اخیر را تأیید می‌کند.

وزن ۱۰۰ دانه: اگرچه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف آزمایش از نظر این صفت وجود داشت که ناشی از وزن متفاوت دانه در انواع مختلف لوبیا است، اختلاف معنی‌داری بین کشت خالص و مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز مشاهده نشد (شکل ۲: A). Nasrollah Zadeh Asl et al, (2012b) در پژوهشی به مطالعه کشت مخلوط سیب‌زمینی و لوبیاچیتی پرداخته و با بیان نتایجی مشابه با یافته‌های این آزمایش، ابراز داشتند که بین هیچ یک از تیمارهای کشت خالص و مخلوط لوبیاچیتی از لحاظ وزن ۱۰۰ دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. محققان دلیل این امر را تأثیرپذیری عمده ارقام لوبیا از ژنوتیپ بیان کردند که تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نمی‌گیرد.

عملکرد زیست‌توده، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت: بالاترین عملکرد زیست‌توده به تیمار کشت خالص لوبیاچشم‌بلبلی مربوط بود (۱۲۱۸۲/۶ کیلوگرم در هکتار) که با تیمار کشت مخلوط این گیاه با خیارسبز (۶۷۳۵/۴ کیلوگرم در هکتار) و همچنین سایر تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت. از طرفی، بیشترین مقادیر این شاخص برای لوبیاچیتی و لوبیاقرمز در تیمارهای کشت خالص آن‌ها به‌دست آمد (به ترتیب ۲۲۳۴/۵ و ۱۵۴۹/۴ کیلوگرم در هکتار؛ شکل ۱: D).



شکل ۲- وزن ۱۰۰ دانه (A) و عملکرد اقتصادی (B) لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی، لوبیاقرمز و لوبیاسبز در کشت خالص (SC) و کشت مخلوط با خیارسبز (IC)

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند (DMRT $p \leq 0.05$).

Fig. 2. 100-seed weight (A) and economic yield (B) of black-eyed pea, kidney bean and green bean in sole culture (SC) and intercropping with cucumber (IC)

The means that share letters, have not significant difference on probability level of five percent (DMRT $p \leq 0.05$).

بیشترین عملکردهای اقتصادی در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط لوبیاسبز (به‌ترتیب ۸۸۸۴/۳ و ۶۱۹۱/۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با یکدیگر و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۲: B). دلیل آن را می‌توان عمدتاً به تفاوت بخش اقتصادی لوبیاسبز (که عملکرد اقتصادی آن غلاف‌های سبز گیاه است) و دیگر لوبیاهای (که دانه خشک آن‌ها به‌عنوان عملکرد اقتصادی در نظر گرفته می‌شود) ارتباط داد. از بین انواع لوبیاهای دانه‌ای، لوبیاچشم‌بلبلی در تیمار کشت خالص خود بیشترین عملکرد اقتصادی را داشت که با کشت مخلوط این گیاه با خیارسبز و همچنین دیگر تیمارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری داشت. روند مشابهی نیز برای لوبیاچیتی مشاهده شد، به گونه‌ای که بیشترین عملکرد اقتصادی به تیمار کشت خالص این گیاه (۶۸۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط بود که با تیمار کشت خالص خود (۳۹۱/۴ کیلوگرم در هکتار) در هکتار) اختلاف معنی‌داری داشت. اما درباره لوبیاقرمز، اگرچه مقادیر بیشتری از این شاخص در تیمارهای کشت خالص ثبت شد، اما اختلاف آن با کشت مخلوط معنی‌دار نبود. یافته‌های Dabbagh Mohammadi Nasab et al, (2015) نیز نشان داد که بین تیمارهای کشت خالص و مخلوط

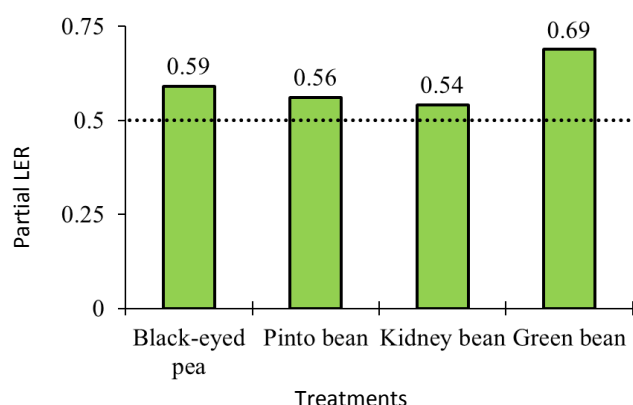
اختلاف عملکرد زیست‌توده در تیمارهای کشت خالص و مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی و لوبیاچیتی معنی‌دار بود. اگرچه به نظر می‌رسد تراکم کمتر گیاهان در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی با خیارسبز نسبت به کشت خالص سبب کسب چنین نتیجه‌ای شده است، اما با این وجود هرچند مقدار عددی عملکرد زیست‌توده در کشت خالص لوبیاقرمز بیشتر بود، اما از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت خالص خود نداشت (شکل ۲: D). با در نظر گرفتن نتایج مربوط به وزن بیشتر شاخساره و وزن بیشتر کل بوته در تیمار کشت مخلوط لوبیاقرمز نسبت به کشت خالص این گیاه، یافته اخیر می‌تواند به معنای جبران تراکم کاسته‌شده در تیمار کشت مخلوط جایگزینی لوبیاقرمز باشد که نشان می‌دهد این گیاه توانسته است ضمن بهره‌مندی بیشتر از منابع قابل دسترس، عملکرد زیست‌توده بیشتری را در واحد سطح ایجاد کند. اثبات شده است که در کشت مخلوط، به‌دلیل ایجاد تنوع در گونه‌ها و نیچ‌ها به‌دلیل ایجاد رابطه مکملی و تسهیل‌کنندگی گونه‌های کشت مخلوط نسبت به هم، تولید زیست‌توده بیشتری تولید می‌شود (Wang et al., 2017).

لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز یکسان بوده و همین عامل موجب عدم تأثیرپذیری شاخص برداشت این گیاهان در تیمارهای مختلف آزمایش شده است.

نسبت برابری زمین: نتایج محاسبه نسبت برابری زمین جزئی برای شاخص عملکرد اقتصادی برای گیاهان مختلف نشان داد که کشت مخلوط تأثیر سازنده‌ای برای تمامی انواع لوبیا شامل لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی، لوبیاقرمز و لوبیاسبز داشته است، به طوری که نسبت برابری جزئی زمین این گیاهان به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۵۶، ۰/۵۴ و ۰/۶۹ بود (شکل ۳) که به معنای سودمندی بیشتر ۱۸، ۱۲، ۸ و ۳۸ درصدی آن‌ها از زمین است (داده‌ها نمایش داده نشده‌اند). پژوهش‌های گوناگون، نتایج مشابهی با یافته‌های مربوط به لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاقرمز و لوبیاسبز را درمورد سویا (Liu et al., 2018)، لوبیاچشم‌بلبلی (Esfahani et al., 2017)، لوبیاقرمز (de Souza Pereira et al., 2015)، لوبیاسبز (Abu-Hussein et al., 2005) گزارش کرده‌اند. در پژوهشی که توسط Fotoohi Chiyaneh et al., (2011) انجام شد نیز محققان گزارش کردند که نسبت برابری زمین جزئی برای لوبیاقرمز در کشت مخلوط با ذرت در هنگام اعمال تراکم کاشت ۴۵ بوته در مترمربع برای لوبیاقرمز و ۹ بوته در مترمربع برای ذرت، کمتر از ۰/۵ بود که اگرچه با نتایج لوبیاچیتی در آزمایش حاضر همخوانی ندارد، اما یافته‌های درباره لوبیاچیتی همخوانی دارد. افزایش عملکرد در کشت مخلوط زمانی اتفاق می‌افتد که گونه‌های مخلوط، نیچ‌های اکولوژیک متفاوتی را اشغال کنند و بنابراین کمترین همپوشانی نیچ‌ها و در نتیجه کمترین رقابت بین گونه‌ای را داشته باشند (Esfahani et al., 2017).

ارقام مختلف لوبیاقرمز با ذرت از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به طوری که عملکرد دانه در تیمارهای کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود. این محققان دلیل یافته‌های خود را افزایش رقابت برون‌گونه‌ای بین دو گونه مخلوط، حساسیت لوبیا به سایه‌اندازی ذرت و تراکم کمتر لوبیاها در تیمارهای کشت مخلوط ذکر کردند. اما در پژوهش حاضر، دلیل عدم اختلاف معنی‌دار بین عملکرد اقتصادی کشت خالص و مخلوط لوبیاقرمز را می‌توان به تفاوت گونه‌های کشت مخلوط نسبت به آزمایش‌های مذکور و عدم ایجاد فشار رقابتی خیارسبز بر گونه‌های لوبیا نسبت داد. با توجه به مشاهدات مزرعه‌ای، بوته‌های خیارسبز با پوشش مناسب زمین رطوبت را به میزان قابل توجهی حفظ می‌کرد که این رطوبت می‌توانسته توسط گونه‌های لوبیا مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی شاخص برداشت برای محصولات دانه‌ای حاکی از این بود که بیشترین شاخص برداشت (۳۳/۸۱ درصد) در کشت خالص لوبیاقرمز به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کشت مخلوط این گیاه با خیارسبز (۳۲/۸۸ درصد)، کشت مخلوط لوبیاچشم‌بلبلی با خیارسبز (۳۲/۳ درصد) و کشت خالص لوبیاچیتی (۳۰/۷۱ درصد) نداشت. کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار کشت مخلوط لوبیاچیتی با خیارسبز ثبت شد (۲۷/۴۷ درصد) که اختلاف معنی‌داری با کشت خالص این گیاه نداشت (جدول ۳). یافته‌های Noorbakhsh et al., (2015) مبنی بر عدم تأثیرپذیری نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد) لوبیاقرمز با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. به نظر می‌رسد در آزمایش حاضر نسبت تغییرات عملکرد زیست‌توده و اقتصادی در همه انواع لوبیاهای دانه‌ای مورد مطالعه شامل



شکل ۳- نسبت برابری زمین جزئی لوبیاچشم‌بلبلی، لوبیاچیتی، لوبیاقرمز و لوبیاسبز تحت تأثیر کشت مخلوط با خیارسبز

خط نقطه‌چین نشان‌دهنده نسبت گیاهان در تراکم کشت مخلوط و نسبت برابری زمین جزئی است.

Fig. 3. Partial LER of black-eyed pea, pinto bean, kidney bean and green bean affected as intercropping with cucumber

Dotted line indicates the ratio of plants in its density and partial LER.

مقایسه تیمارهای کشت خالص و مخلوط: در پاسخ به این سؤال که آیا به طور کلی تیمار کشت مخلوط بهتر از کشت خالص بوده است یا خیر، پس از معادل‌سازی داده‌های عملکرد زیست‌توده و عملکرد اقتصادی کشت خالص نسبت به تراکم لوبیا در کشت مخلوط (۵۰ درصد)، مقایسه‌ای گروهی بین تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط انجام شد. از آن‌جا که علاوه بر عملکرد اقتصادی انواع مختلف رشدی لوبیا (دانه و غلاف‌های سبز)، پس از برداشت محصول از کاه و کلش این گیاهان نیز به‌عنوان علوفه دام استفاده می‌شود، علاوه بر

عملکرد اقتصادی مورد مطالعه، مقایسه گروهی برای عملکرد زیست‌توده نیز انجام شد. نتایج مقایسه گروهی (جدول ۴) نشان داد که به طور کلی، هر دو عملکردهای زیست‌توده و اقتصادی در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. بنابراین با توجه به این نتیجه و همچنین سودمندی کشت‌های مخلوط برای تمامی گیاهان مورد مطالعه، می‌توان پاسخ به سؤال اخیر را چنین داد که در این تحقیق کشت مخلوط سودمندی بیشتر و اختلاف معنی‌داری نسبت به کشت خالص داشته است.

جدول ۴- مقایسه گروهی عملکردهای زیست‌توده و اقتصادی تیمارهای کشت خالص انواع لوبیا در برابر کشت مخلوط جایگزینی آن‌ها با خیارسبز

Table 4. Orthogonal contrast of biomass and economic yields of different types of bean in sole culture versus theirs intercropping treatments with cucumber

مقایسات Comparisons	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
		عملکرد زیست‌توده Biomass yield	عملکرد اقتصادی Economic yield
کشت خالص در برابر کشت مخلوط Sole culture vs intercropping	1	24000680.1**	8265200.8**
P-value		0.001<	0.001<

** به معنای معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** : Significant at probability level of one percent.

نتیجه‌گیری

به‌کارگیری کشت مخلوط از جمله راهکارهای مؤثر استفاده پایدار و بهینه‌تر از منابع اکولوژیک است. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، اگرچه کشت مخلوط انواع مختلف لوبیاچشم‌بلیلی، لوبیاچیتی و لوبیاقرمز با خیارسبز سبب تغییری در تعداد شاخه‌های جانبی این گیاه نشد، اما با توجه به بهبود و افزایش شاخص‌های دیگر مورد مطالعه در تیمارهای کشت مخلوط از جمله تعداد و وزن غلاف و دانه در بوته که از جمله مهم‌ترین اجزای عملکرد بیولوژیک و اقتصادی لوبیا هستند، می‌توان چنین نتیجه گرفت که کشت مخلوط سبب بهبود رشد گیاهان مورد مطالعه شد و با این‌که عملکرد بیولوژیک این گیاهان و عملکرد اقتصادی لوبیاهای چشم‌بلیلی، چیتی، قرمز و سبز در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی به‌دلیل کم‌تر بودن تراکم کشت، کمتر از تیمارهای کشت خالص بود، اما با توجه به

شاخص نسبت برابری جزئی لوبیاهای و همچنین مقایسه گروهی عملکرد زیست‌توده و اقتصادی، کشت مخلوط سودمندی بیشتر و اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمارهای کشت خالص گیاهان مورد مطالعه داشت. از این رو کشت مخلوط تمامی انواع لوبیاچشم‌بلیلی، لوبیاچیتی، لوبیاقرمز و لوبیاسبز به منظور بهره‌گیری از روابط سودمند اکولوژیکی برای فشرده‌سازی پایدار تولید غذا پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل اعتبار طرح پژوهش شماره ۴۰۵۵۲ مورخ ۱۳۹۵/۲/۷ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Abou-Hussein, S.D., Salman, S.R., Abdel-Mawgoud, A.M.R., and Ghoname, A.A. 2005. Productivity, quality and profit of sole or intercropped green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. *Journal of Agronomy* 4(2): 151-155.
2. Altieri, M. A. 2018. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. CRC Press.

3. Asadi, G.A., Khorramdel, S., and Hatefi Farajian, M.H. 2016. The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. *Saffron Agronomy & Technology* 4(2): 93-104. (In Persian with English Summary).
4. Asadi, G.A., Khorramdel, S., Shahriari Ahmadi, R., Ranjbar, F., and Aghhavan Shajari, M. 2017. Effect of replacement intercropping ratios of sweet corn with bean varieties on yield and yield components. *Iranian Journal of Pulses Researches* 2: 192-204. (In Persian with English Summary).
5. Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agriculture and Forest Meteorology* 139: 74-83.
6. De Souza Pereira, F., Teixeira, I.R., Pelá, A., dos Reis, E.F., da Silva, G.C., Timossi, P.C., and da Silva, A.G. 2015. Agronomic performance of kidney bean and castor bean cultivars in intercropping and monocropping systems under weed competition. *Australian Journal of Crop Science* 9(7): 614-620.
7. Esfahani, A.R., Amir Shekari, H., Zand, B., and Fotookian, M.H. 2017. Effect of plant density and arrangement on corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) row intercropping. *Agriculture Researches in Desert Borders* 14(1): 13-22. (In Persian with English Summary).
8. Fotoohi Chiyaneh, S., Javanshir, A., Dabbagh Mohammad Nasab, A., Zand, E., Razavi, F., and Rezaee Chiyaneh, E. 2012. The effect of different swing densities of corn (*Zea mays* L.) and red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on the yield of the two crops and biomass on weed. *Journal of Agroecology* 4(2): 131-143. (In Persian with English Summary).
9. Fujiyushi, P.T. 1998. Mechanisms of weed suppression by squash intercropped in corn. Ph.D. Thesis, University of California Santa Cruz, USA.
10. Ghimire, Y.N., Rana, R.B., Ale, S., Poudel, I., and Tamang, B.B. 2017. Use of agrobiodiversity and crop management practices for climate change adaptation in high hill agriculture of Nepal. *Journal of Agriculture and Environment* 18: 6-14.
11. Hossein Pour, A., Khalili Mahalleh, J., Zeinalzadeh Tabrizi, H., and Valilue, R. 2016. Evaluation of yield and yield components in intercropping of maize and green bean. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences* 26(1): 68-78.
12. Kamali, M., and Edalat, M. 2017. The effect of weed interference, sowing date and method on phenology, growth, protein and yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Production and Processing* 7(3): 47-61. (In Persian with English Summary).
13. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Boroomand Rezazadeh, Z., Jahani, M., and Jafari, L. 2014. Evaluation of yield of blackseed (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(1): 1-8. (In Persian with English Summary).
14. Lak, M., Dorri, H., and Farahani, L. 2013. The effect of weed interference on yield and yield components of bean. *Journal of Weed Knowledge* 9: 65-78. (In Persian with English Summary).
15. Lamei Harvani, J. 2013. Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops and barley in rainfed conditions of Zanjan province in Iran. *Seed and Plant Production Journal* 29: 169-183. (In Persian with English Summary).
16. Lapse, L., Dane, S., Zeipina, S., Domínguez-Perles, R., and Rosa, E.A. 2017. Evaluation of vegetable-faba bean (*Vicia faba* L.) intercropping under Latvian agroecological conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(13): 4334-4342.
17. Liu, X., Rahman, T., Song, C., Yang, F., Su, B., Cui, L., Bu, W., and Yang, W. 2018. Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping. *Field Crops Research* 224: 91-101.
18. 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: 767-772.
19. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G.R., and Samiezadeh, H.A. 2016. Effect of sole and intercropping systems on yield and yield component of pinto bean in controlling and no-weeding of weeds. *Iranian Journal of Field Crop Science* 47(1): 99-109. (In Persian with English Summary).
20. Moreira, S.L., Pires, C.V., Marcatti, G.E., Santos, R.H., Imbuzeiro, H.M., and Fernandes, R.B. 2018. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. *Agricultural and Forest Meteorology* 256: 379-390.
21. Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpoor Incheboroon, O., and Rahemi Karizaki, A. 2016. The effect of nitrogen levels and different ratios of replacement intercropping series on forage yield and competition indices of barley and green pea. *Electronical Journal of Crop Production* 1: 199-214. (In Persian with English Summary).

22. Nasrollahzadeh Asl, A., Dabbag Mohammadi Nassab, A., Zehtab Salmasi, S., Mogaddam, M., and Javanshir, A. 2012b. Evaluation of potato and pinto bean intercropping. Journal of Crop Ecophysiology 6(2): 111-126. (In Persian with English Summary).
23. Nasrollahzadeh Asl, Chavoshgoli, A., Valizadegan, E., Valiloo, R., and Nasrollahzadeh Asl, V. 2012a. Evaluation of sunflower (*Helianthus annus* L.) and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping based on additive method. Agricultural Science and Sustainable Production 22(2): 79-90. (In Persian with English Summary).
24. Piroozi, B., Hosseini, S.M.B., Mazaheri, D., and Heidari, H. 2014. Evaluation of sowing time and intercropping on vegetative and reproductive traits of bean (*Phaseolus vulgaris*) and biological yield of forage maize (*Zea mays*). Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 104: 62-68. (In Persian with English Summary).
25. Rafe'ee, M.T. 2016. Evaluation of productivity and use efficiency of light, water and nitrogen in row intercropping patterns of corn (*Zea mays* L.), bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
26. Rafiiohossaini, M., Salehi, F., and Mazhari, M. 2016. The effect of drought stress intensity and stage on agronomic characteristics of two common bean cultivars. Engineering of Desert Ecosystem 11: 45-56. (In Persian with English Summary).
27. The Effect of different patterns of intercropping on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare*) and lentil (*Lens culinaris*). MSc. Thesis of Agronomy, Tabriz University. (In Persian with English Summary).
28. Titttonell, P. 2014. Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustainability 8: 53-61.
29. Wang, G.Z., Li, H.G., Christie, P., Zhang, F.S., Zhang, J.L., and Bever, J.D. 2017. Plant-soil feedback contributes to intercropping over yielding by reducing the negative effect of take-all on wheat and compensating the growth of faba bean. Plant and Soil 415(1-2): 1-12.
30. Ziyadee, H., Pirdashti, H., Zare, S., and Motaghiyan, A. 2015. Evaluation of seed yield and competitive indices in intercropping of grain corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 7(1): 52-61. (In Persian with English Summary).

Evaluation of yield indices and LER of different types of bean affected by row intercropping with cucumber

Asadi^{1*}, Gh., Khorramdel², S., Mostafavi³, M.J. & Hooshmand⁴, M.

1. Associate Professor (Weed Science), Member of Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2. Associate Professor (Crop Ecology), Member of Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi university of Mashhad; khorramdel@um.ac.ir
3. PhD. Student of Agroecology, Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad; mj.mostafavi@mail.um.ac.ir & hooshmand.mina@mail.um.ac.ir; respectively

Received: 2 September 2018

Accepted: 27 December 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.74732

Introduction

It has been predicted that the population of the world will reach up to 9 billion people until middle of current century so to meet the demands for food, it is necessary to supply more by developing sustainable agriculture and ecological intensification of food production to avoid disadvantages of conventional agriculture. Intercropping is one of the sustainable agriculture strategies that has been proven that causes more use of available resources by intercropped species. It is one of the key strategies of sustainable agriculture because of its efficiency in using of the resources like nitrogen, light and water and improving vulnerability of crops against diseases and pests. Pulses are very valuable for agroecosystems and human health, because of many advantages like high protein content and nutritional values and symbiotic fixation of nitrogen. So, an experiment was conducted in order to study of yield characteristics of black-eyed pea (BEP), the pinto bean (PB), kidney bean (KB) and green bean (GB) as bean ecotypes affected by intercropping with cucumber and partial land equivalent ratio (LER) of the beans.

Materials & Methods

The experiment was held during growing season 2015-16 in the experimental field of Ferdowsi University of Mashhad based on a randomized complete block design (RCBD) with six and eight treatments (for different studied indices) and three replications. Treatments included sole culture of BEP, PB, KB and GB and their 1:1 ratio in replacement intercropping with cucumber. The plots had five 120-cm sized width and 6×3 meter dimensions. The gaps between the plots and the blocks were one and two meters, respectively. The studied indices included the number of sub-branches per plant, stem length, number and weight of seeds per pod, numbers and weights of pods and seeds per plant, shrub and plant [dry] weights, 100-seed weight, biological and economic yields and harvest index for seeds of grain bean ecotypes (including BEP, PB and KB), and for GB, studied indices included the number of seeds per plant, 100-seed weight and economic yield (total weight of harvested green pods per ha). Partial LER of the studied plants was calculated and finally statistical analysis of data and drawing the figures done using SAS v.9.2 and MS Excel 2016 respectively. Duncan's multiple range test (DMRT) also used for comparing the means at probability level of %5.

Results & Discussion

The results showed that except the number of sub-branches per plant, there were significant differences between the treatments for all other studied indices. The highest stem length was recorded in sole culture of BEP that was significantly different compared with other treatments but there was no significant difference between sole culture and intercropping treatments of PB and KB. Competition for interception of light may cause this result for BEP. Number and weight of seeds per pod and numbers and weights of pods and seeds per plant were higher in intercropping treatments of the plants in comparison of their sole culture. Many other studies like results of Noorbakhsh *et al*, (2015) and Khalaf (2016) support our findings. 100-seed weight was different between the plants but no significant difference was observed between intercropping

*Corresponding Author: asadi@um.ac.ir

and sole culture of each plant. It seems that 100-seed weight is a genetic property that not be affected by intercropping. The biological and economic yield of the bean ecotypes were significantly higher in their sole culture compared with their intercropping due to lower plant density in intercropping but by considering the results of partial LER calculation, it concludes that intercropping was more useful for all studied plants. The highest value of partial LER (0.69) was calculated in GB and the lowest one was recorded to KB. The economic part of GB was its green pods, so its partial LER was higher than another studied plants in comparison of other plants that their seeds form their economic yield. Similar to 100-seed weight, the harvest index was statistically different between the bean ecotypes but it was similar between sole culture and intercropping treatments of each plant because of parallel trends of variations of biological and economic yields of the plants.

Conclusion

Based on the results, intercropping of BEP, PB, KB and GB with cucumber is benefit for ecological intensification of production of the studied pulses. So, it can be suggested as an efficient strategy for sustainable development of food production.

Keywords: Ecological intensification, Green bean, Interspecies competition, Sustainable production, Synergy

تغییرات تسهیم و انتقال مجدد مواد پرورده در ماشک دیم (*Vicia sativa*) رقم مراغه تحت تأثیر کودهای بیولوژیک و آبیاری تکمیلی در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی

سعید حیدرزاده^۱، جلال جلیلیان^{۲*}، علیرضا پیرزاد^۳ و رشید جامعی^۴

- ۱- دانشجوی سابق دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ s.heydarzadeh@urmia.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ J.Jalilian@urmia.ac.ir
۳- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران؛ a.pirzad@urmia.ac.ir
۴- دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، r.jamei@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۲

چکیده

تولید، انتقال مجدد و بهبود ویژگی‌های کیفی گیاهان زراعی به‌ویژه تحت تنش کم‌آبی از مبانی اساسی تعیین و بررسی اختلاف عملکرد در گونه‌ها و رقم‌های زراعی است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه ارومیه در دو سال زراعی (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت دیم و یک بار آبیاری تکمیلی به عنوان فاکتور اول و تیمار کاربرد کودهای زیستی در هشت سطح (شاهد، قارچ میکوریزا، ازتوباکتر، تیوباسیلوس، قارچ میکوریزا+ قارچ میکوریزا، ازتوباکتر+تیوباسیلوس و ازتوباکتر+ تیوباسیلوس+ قارچ میکوریزا) به عنوان فاکتور دوم بودند. نتایج نشان داد با انجام آبیاری تکمیلی تعداد غلاف در بوته ماشک افزایش یافت؛ اما بیشترین میزان و کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی و درصد پروتئین علوفه ماشک در شرایط دیم به‌دست آمد. همچنین تعداد غلاف در بوته و پروتئین علوفه ماشک تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی افزایش معنی‌داری یافتند؛ در حالی که بیشترین میزان و کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ماشک در تیمار بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد. گیاهان ماشک در شرایط آبیاری تکمیلی و کاربرد ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر به واسطه دارابودن حداکثر میزان کلونیزاسیون ریشه (۶۳/۴۵ درصد) و محتوای رطوبت نسبی بالا (۶۹/۵۰ درصد)، بیشترین تعداد دانه در بوته (۲۰/۹۴ عدد) و وزن ۱۰۰ دانه (۴۴/۷ گرم) را دارا بودند که در نتیجه منجر به حصول حداکثر عملکرد دانه (۱۸۷۳/۲ کیلوگرم در هکتار) گردید. لذا، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی در شرایط آبیاری تکمیلی جهت افزایش تولید ماشک در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی می‌تواند موجب بهبود خصوصیات کمی و کیفی آن شود که در راستای کشاورزی پایدار نیز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، تیوباسیلوس، کارایی انتقال مجدد، کشاورزی پایدار، میکوریزا

مقدمه

محدودکننده برای افزایش عملکرد تولیدات کشاورزی، کمبود آب است. در نتیجه تنش کم‌آبی به عنوان مهم‌ترین تنش غیرزیستی نقش مهمی در کاهش تولید گیاهان زراعی دارد (Hamzei & Syedi, 2013). بنابراین مدیریت منابع آب و اعمال آبیاری تکمیلی نقش اساسی دارد. منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش و ثبات عملکرد تامین شود (Gao et al., 2017). مقدار و زمان استفاده از آبیاری تکمیلی باید به صورتی برنامه‌ریزی شود که بتوان با کمترین مقدار آب قابل دسترس به عملکرد بهینه به جای عملکرد حداکثر دست یافت (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2017).

تنش خشکی در دوره پرشدن دانه، باعث کاهش فتوسنتز جاری و کاهش وزن نهایی دانه می‌شود و در این زمان انتقال

ماشک یکی از گیاهان خانواده بقولات است که به طور وسیع در زیست‌بوم‌های زراعی به عنوان گیاه پوششی، کشت می‌شود و در کاهش فرسایش، کنترل آفات و علف‌های هرز و بهبود حاصلخیزی خاک نقش مهمی دارد (Campiglia et al., 2010). شکل رویشی ماشک، نیمه‌رونده بوده و از هر بوته تعدادی ساقه‌ی اصلی با انشعابات فرعی خارج می‌شود که از آن می‌توان به صورت‌های مختلف از جمله علوفه، سیلو، چرا و کود سبز و از دانه آن برای تغذیه طیور استفاده نمود (Renzi et al., 2017). بخش زیادی از زمین کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود و در این نواحی مهم‌ترین منبع

*نویسنده مسئول: j.jalilian@urmia.ac.ir

خاک شده و در نتیجه سبب بهبود جذب فسفر، گوگرد و عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) می‌شود (Besharati & Malekzadeh, 2015).

نظام درخت-گیاه زراعی ترکیبی از کشت گیاهان زراعی در کنار درختان است که برای به‌حداکثر رساندن تولید و حفظ عملکرد مطلوب و به‌حداقل رساندن تخریب منابع آب و خاک به کار گرفته می‌شود (Benbi et al., 2012). کشاورزان در نظام تلفیقی درخت-گیاه زراعی در استان آذربایجان غربی عمدتاً گیاه یونجه کاشت می‌کنند که نیاز بسیار بالایی به آب دارد، لذا با توجه به محدودیت منابع آبی و کمبود نزولات، انجام مطالعه و تحقیق در راستای کاهش هر چه بیشتر مصرف آب، ضمن تولید اقتصادی محصول، بیش از پیش ضروری است. در این راستا، ماشک به عنوان گیاهی با نیاز آبی کم جهت کشت در باغات استان آذربایجان غربی مطرح می‌باشد. با توجه با این که عملکرد دانه گیاهان در شرایط دیم وابستگی زیادی به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی دارند، لذا این آزمایش به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی و آبیاری تکمیلی بر میزان انتقال مجدد ماده خشک و برخی ویژگی‌های ماشک دیم رقم مراغه در سیستم درخت-گیاه زراعی، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در دو سال زراعی (۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) در باغی در نازلوی ارومیه با موقعیت جغرافیای ۳۷ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی با ۱۳۲۰ متر ارتفاع از سطح دریا انجام شد. متوسط دما و بارندگی در طول دو سال کشت و میانگین ۳۰ ساله نشان داده شده است (جدول ۱).

تیمارها شامل عدم آبیاری در طول فصل رشد و یک بار آبیاری تکمیلی به عنوان فاکتور اول و کاربرد کودهای زیستی به هنگام کاشت در هشت سطح (۱- شاهد (عدم کاربرد کود زیستی)، ۲- قارچ میکوریزا (*Rhizophagus intraradices*), ۳- ازتوباکتر، ۴- تیوباسیلوس، ۵- ترکیب ازتوباکتر+قارچ میکوریزا، ۶- ترکیب تیوباسیلوس+قارچ میکوریزا، ۷- ترکیب ازتوباکتر+تیوباسیلوس، ۸- ترکیب ازتوباکتر+تیوباسیلوس+قارچ میکوریزا) به عنوان فاکتور دوم بودند. کودهای زیستی مذکور از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا تهیه گردید.

مجدد مواد نقش مهمی را در پُرشدن دانه‌ها بازی می‌کند. مقدار و سهم توزیع مجدد مواد به شدت تنش، اثر آن روی فتوسنتز و خصوصیات ژنتیکی گیاه بستگی دارد (Barati & Ghadiri, 2017). نتایج پژوهش‌ها در مورد گیاه گندم نشان داد هنگامی که دانه در حال پُرشدن است، هیدرات‌های کربن محلول بیشتری از بافت‌های مختلف گیاه به سمت دانه حرکت می‌کنند که این حرکت از نظر مقدار و سهم آن در وزن دانه در شرایط تنش کم‌آبی بیشتر می‌گردد (Meng et al., 2017). به دلیل سرعت بیشتر توزیع مجدد در شرایط کم‌آبی، انباشت مقدار مناسبی هیدرات‌های کربن غیرساختمانی در ساقه برای پشتیبانی تجمع مواد در دانه از طریق این فرایند ضروری به نظر می‌رسد. این مسئله در شرایط کم‌آبی اهمیت بیشتری یافته، چون در این شرایط نقصان در فتوسنتز جاری بیشتر شده و به دنبال آن وابستگی وزن دانه به توزیع مجدد افزایش می‌یابد (Wang et al., 2011). نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد کودهای زیستی در غلات، موجب بالا رفتن نقل و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌شود. دوره پُرشدن دانه مرحله اصلی تشکیل عملکرد دانه است و طولانی‌تر بودن این دوره امکان انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از مبدأ به مقصد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه را فراهم می‌سازد (Seyed Sharifi & Nazarly, 2013).

کودهای زیستی نظیر قارچ‌های میکوریزا، ازتوباکتر و تیوباسیلوس نقش مهمی در کشاورزی پایدار دارند در واقع قارچ‌های میکوریزا و همزیستی آن‌ها با گیاهان سبب تغییراتی در روابط آبی گیاه و در نتیجه بهبود مقاومت به خشکی یا تحمل در گیاه میزبان می‌شود (Habibzadeh et al., 2015). قارچ‌های میکوریزا با اثر بر جذب عناصر غذایی مثل فسفر و همچنین تعدیل اثر تنش‌های محیطی، افزایش مقاومت نسبت به عوامل بیماری‌زا، کاهش آسیب‌های ریشه‌ای و تشدید فعالیت تثبیت زیستی نیتروژن سبب بهبود رشد گیاهان و افزایش عملکرد می‌شوند (Baum et al., 2015). باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن مانند ازتوباکتر به دلیل توانایی ساخت و ترشح مواد زیستی فعال در خاک، در توسعه سامانه ریشه‌ای تأثیر مثبت و مفیدی دارند و با بهبود جذب آب و عناصر غذایی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، در افزایش عملکرد و بهبود ویژگی‌های خاک مؤثرند (Rezaei Chiyaneh et al., 2014). کود زیستی بیوسولفور حاوی باکتری‌هایی از جنس تیوباسیلوس (از فعال‌ترین و مؤثرترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد) می‌باشد که با اکسایش گوگرد سبب کاهش اسیدیته

جدول ۱- متوسط درجه حرارت ماهیانه و بارندگی سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در مقایسه با میانگین دوره‌ای بلندمدت ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ در منطقه ارومیه

Table 1. The average monthly temperature and rainfall crop year for the 2016 and 2017 growing seasons compared to the average of the period 1987 to 2017 at Urmia region

ماه Month	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Mar.	فروردین Apr.	اردیبهشت May	خرداد June	تیر Jul.	مرداد Aug.	شهریور Sep.	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.	میانگین / مجموع Average/Total
سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ Year 2015-16													
میانگین دما (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	-0.4	3.8	7.4	12.2	15.4	20.9	24	22.8	19	11.2	7.3	-5.9	11.47
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	43.9	9.2	19.3	32.9	45.1	6	0	0.1	0	9.2	62	41.8	269.5
سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ Year 2016-17													
میانگین دما (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	-5.21	-4.32	2.73	9.31	15.9	21.21	25.4	26	22.87	13.59	7.55	-1.23	11.15
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	10.6	43.4	9.3	69.8	22.3	0.8	0	0.7	0	0	28.2	55.33	240.4
درازمدت ۱۳۶۶-۹۶ Long term 1987-2017													
میانگین دما (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	-2.1	0.2	5.22	11.26	15.81	20.84	23.86	23.32	18.9	6.12	5.77	0.35	11.33
بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	25.4	28.2	46.7	54.7	37.1	10	5.6	2.8	4.3	30.5	39.4	28.1	312.8

مشخصات خاک مزرعه آزمایشی ذکر شده است. نمونه‌برداری تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت.

یک‌بار آبیاری تکمیلی به صورت غرقابی، در شروع گلدهی با نصب کنتور حجمی به میزان ۶۲۰ متر مکعب در هکتار انجام گرفت، میزان آبیاری تکمیلی، معادل ۲۰ درصد میانگین بارندگی بلندمدت سالانه منطقه در نظر گرفته شد. برای محاسبه درصد کلونیزاسیون ریشه در مرحله انتهایی رشد تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی از عمق ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متری برداشت و پس از شستن ریشه‌ها، حدود یک گرم از ریشه‌های ظریف و ریز نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل و رنگ‌آمیزی شدند. در نهایت با روش تقاطع خطوط شبکه، درصد کلونیزاسیون ریشه محاسبه شد (Philips & Hayman, 1970). محتوای نسبی آب برگ در مرحله گلدهی کامل اندازه‌گیری شد (Ritchie et al., 1990). درصد پروتئین علوفه، توسط دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد (Rossi et al., 2004). برای تعیین انتقال مجدد ماده خشک ابتدا در مرحله گلدهی کامل بعد از حذف اثرات حاشیه‌ها، بوته‌های موجود در مساحت یک مترمربع برداشت و در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس میزان ماده خشک بر حسب گرم در مترمربع محاسبه گردید. سپس در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نیز به روش مشابه بوته‌های موجود در مساحت یک

به منظور تلقیح بذور با باکتری ازتوباکتر و تیوباسیلوس، بذرها با صمغ عربی مخلوط گردیدند و به اندازه کافی به هم زده شدند تا سطح تماس صمغ عربی و باکتری با بذر ماشک افزایش یابد. تلقیح بذور با باکتری محرک رشد ازتوباکتر و تیوباسیلوس در شرایط سایه انجام شد. برای تلقیح ماشک با میکوریزا یک گرم از خاکی که حاوی حدود ۱۰۰۰ اسپور بود، در زیر بذور قرار داده شد (Raei et al., 2015). هر واحد آزمایشی به ابعاد ۳/۵ متر عرض در چهار متر طول در نظر گرفته شد. در ۱۵ اسفند ماه بذور ماشک رقم مراغه به صورت دستی در عمق ۸-۱۰ سانتی‌متر در بین ردیف‌های درخت آلوی سیاه^۱ سه‌ساله به روش درهم کشت گردید. بذور ماشک رقم مراغه از مرکز تحقیقات دیم مراغه تهیه گردید. فاصله درختان هر ردیف از هم چهار متر بود. ارتفاع و قطر کانوپی درختان به ترتیب دارای میانگین ۲۴۰ و ۱۴۰ سانتی‌متر بود. بذرها با ماشک رقم مراغه با تراکم زیاد کاشت شدند، ولی در مرحله چهار تا شش‌برگی، برای رسیدن به تراکم مطلوب (۲۰۰ بوته متر در مربع) تنک شد (Asghari & KarimiMeidany, 2013). از ماشک رقم دیم مراغه، با قوه نامیه ۹۸ و خلوص ۹۹ درصد استفاده گردید. در جدول ۲

^۱ *Prunus domestica* (Plum)

برای اندازه‌گیری عملکرد نهایی پس از رسیدگی کامل (دهه اول تیرماه)، در هر کرت از دو ردیف میانی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، مساحت یک متر مربع برداشت شد و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. تجزیه مرکب داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از روش چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

نتایج نشان داد که اعمال یک‌بار آبیاری تکمیلی تعداد غلاف در بوته را به میزان ۱۹/۵۳ درصد نسبت به شرایط دیم افزایش داد (جدول ۳).

مترمربع برداشت شده و ماده خشک هر بوته (به استثنای بذر) بر حسب گرم در مترمربع برآورد شد. سپس میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد در تولید عملکرد دانه با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Papakosta & Gayians, 1991; Mansourifar et al., 2012).

$$\text{معادله (۱)} \quad A = B - C$$

$$\text{معادله (۲)} \quad D = (A/B) \times 100$$

$$\text{معادله (۳)} \quad E = (A/F) \times 100$$

که در این معادلات، A: ماده خشک منتقل‌شده در فرایند انتقال مجدد، B: ماده خشک در زمان گلدهی کامل، C: ماده خشک در زمان رسیدگی، D: کارایی انتقال مجدد ساقه، E: سهم انتقال مجدد در پُرسدن دانه و F: عملکرد دانه می‌باشند.

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش

Table 2. Selected properties of the soil at site before experiment

بافت خاک	سیلت	رس	شن	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	اسیدیته	هدایت الکتریکی
Soil texture	Silt	Clay	Sand	K	P	N	(pH)	EC (dS/m)
		(%)		Mg/kg		(%)		
لومی رسی Clay silty	36	33	31	390	7.2	0.092	8	0.52

جدول ۳- اثر آبیاری تکمیلی و دیم بر برخی ویژگی‌های ماشک دیم رقم مراغه در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی

Table 3. Effect of supplementary irrigation and rainfed on some traits of vetch (Maragheh cultivar) under agroforestry system

آبیاری	تعداد غلاف در بوته	میزان انتقال مجدد	کارایی انتقال مجدد	درصد پروتئین علوفه
Irrigation	Number of pods per plant	(گرم در مترمربع) Amount of DMR* (g/m ²)	Efficiency of DMR*	Forage protein (%)
Rainfed دیم	4.53 b	80.0 a	17.68 a	22.94 a
Supplementary irrigation آبیاری تکمیلی	5.63 a	62.5 b	12.25 b	20.67 b

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

Means with same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

*DMR: Dry Matter Remobilization

که در نتیجه آن تولید مواد فتوسنتزی نقصان می‌یابد. کاهش سنتز مواد فتوسنتزی و افزایش رقابت درون‌بوته‌ای حاصل از آن به همراه ریزش گل‌ها در اثر تنش کمبود آب، باعث کاهش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. تعداد غلاف در بوته ماشک در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (جدول ۴)، به‌طوری که با در نظر گرفتن تفاوت میزان بارندگی در دو سال انجام آزمایش (جدول ۱)، نتایج هر دو سال نشان‌دهنده برتری معنی‌داری آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط دیم است. اما نکته قابل توجه این که در سال دوم که سالی خشک‌تر از سال اول بود، درصد افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد ۷/۵۷ درصد بیشتر

به طور کلی، تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد غلاف در بوته در نتیجه ترکیب ساختار ژنتیکی و شرایط محیطی است که نقش برجسته‌ای در عملکرد نهایی دانه بازی می‌کند. افزایش تعداد غلاف در بوته نخود در تیمار آبیاری تکمیلی می‌تواند به علت طولانی‌شدن دوره رشد رویشی و افزایش بیوماس گیاه باشد (Mousavi & Shakarami, 2010). همچنین گزارش شده است که وقوع شرایط تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی عدس سبب کاهش تعداد غلاف در بوته شد (Rashidi, 2017). به نظر می‌رسد در چنین شرایطی یکی از دلایل کاهش تعداد غلاف در بوته، کاهش دوره رشد گیاه باشد

و تعداد شاخه جانبی ماشک رقم مراغه در نتیجه سبب افزایش تعداد غلاف در بوته در سال دوم شده است.

از سال پیش که مرطوب‌تر بود، به دست آمد. این مورد گویای این مطلب است که افزایش میزان بارش در فروردین ماه سال دوم (جدول ۱) نسبت به سال اول منجر به افزایش رشد رویشی

جدول ۴- اثر سال بر برخی صفات ماشک دیم رقم مراغه در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی

Table 4. Effect of year on some traits of vetch (Maragheh cultivar) under agroforestry system

سال	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	سهم انتقال مجدد (درصد)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع)
Year	Number of pods per plant	Number of seed per plant	Contribution of DMR* (%)	Seed yield (g/m ²)
۱۳۹۵ (2016)	4.88 b	12.83 b	8.87 a	101.02 b
۱۳۹۶ (2017)	5.28 a	14.40 a	7.68 b	113.30 a

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

Means with same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

*DMR: Dry Matter Remobilization

میکوریزایی از طریق تغذیه مناسب و فراهمی رطوبت برای گیاه ماشک، موجبات تسریع در گلدهی و بهبود تعداد غلاف شد. به عبارتی بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط این موجودات و نیز فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی گردید که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی و تعداد غلاف می‌انجامد (Habibzadeh et al., 2013).

همچنین نتایج نشان داد که گیاهان تحت تیمار ترکیبی میکوریزا و ازتوباکتر بیشترین تعداد غلاف در بوته (۵/۵۳ عدد) را داشتند، به طوری که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی تأثیر یکسانی بر تعداد غلاف در بوته ماشک داشت، در حالی که کمترین تعداد غلاف در بوته (۴/۶۷ عدد) از شاهد به‌دست آمد، به طوری که کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شاهد اثر یکسانی بر تعداد غلاف در بوته ماشک داشتند (جدول ۵). از این یافته‌ها می‌توان چنین استنباط کرد که هم‌زیستی

جدول ۵- اثر کودهای زیستی بر برخی صفات ماشک دیم رقم مراغه در سیستم تلفیقی درخت-گیاه زراعی

Table 5. Effect of biofertilizers on some traits of vetch (Maragheh cultivar) under agroforestry system

کود زیستی	تعداد غلاف در بوته	میزان انتقال مجدد	کارایی انتقال مجدد	درصد پروتئین
Biofertilizer	Number of pods per plant	(گرم در مترمربع) Amount of DMR (g/m ²)	(درصد) Efficiency of DMR* (%)	علوفه Forage protein (%)
کنترل Control	4.67 c	77.22 a	17.54 a	19.48 d
میکوریزا Mycorrhiza	4.97 bc	69.92 bcd	14.61 de	22.06 abc
ازتوباکتر Azotobacter	4.71 c	73.95 ab	15.73 bc	21.25 bc
تیوباسیلوس Thiobacillus	4.70 c	73.40 abc	16.28 b	20.67 cd
Mycorrhiza + Azotobacter	5.53 a	65.71 d	12.83 f	23.48 a
میکوریزا + ازتوباکتر	5.42 a	68.22 cd	13.74 ef	22.64 ab
Mycorrhiza + Thiobacillus	5.23 ab	72.22 abc	14.88 cd	22.56 ab
میکوریزا + تیوباسیلوس	5.40 a	69.36 bcd	14.07 de	22.32 abc
Azotobacter + Thiobacillus				
ازتوباکتر + تیوباسیلوس				
Mycorrhiza + Azotobacter + Thiobacillus				
میکوریزا + ازتوباکتر + تیوباسیلوس				

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

Means with same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

*DMR: Dry Matter Remobilization

زیستی تأثیر یکسانی بر تعداد دانه در بوته ماشک داشتند (جدول ۶) و کمترین مقدار آن (۸/۳۷ عدد) در شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد، به طوری که کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شاهد اثر یکسانی بر تعداد

تعداد دانه در بوته

بر اساس نتایج، بیشترین تعداد دانه در بوته (۲۰/۲۵ عدد) در شرایط انجام آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر مشاهده شد، به طوری که کاربرد ترکیبی کودهای

کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد نظیر تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد دانه در غلاف می‌گردد و کاهش عملکرد دانه، عمدتاً از طریق کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف می‌باشد. احتمالاً کاهش آب مورد نیاز گیاه در مرحله زایشی، به دلیل اختلال در عمل گرده‌افشانی و کوتاه‌شدن زمان آن موجب کاهش تعداد دانه در بوته شده است.

دانه در بوته ماشک نشان دادند (جدول ۶). همچنین با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، تعداد دانه در بوته در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول ۴). علت افزایش تعداد دانه در بوته در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال پیش را می‌توان به بیش‌تر بودن میزان بارندگی در فروردین ماه نسبت داد. Rezaeyan Zadeh *et al.*, (2012) نیز نشان دادند که همزمانی مرحله زایشی ارقام نخود با تنش کم‌آبی، موجب

جدول ۶- برهمکنش آبیاری و کودهای زیستی در دو سال زراعی بر برخی ویژگی‌های ماشک دیم رقم مراغه در سیستم درخت تلفیقی - گیاه زراعی

Table 6. Interaction between irrigation and biofertilizer on some traits of vetch (Maragheh cultivar) under agroforestry system

کلونیزاسیون Colonization (%)	محتوای رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity content (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg/ha)	سهم انتقال مجدد (درصد) Contribution of DMR* (%)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 100 seed weight (g)
17.74 e	50.58 f	555 i	16.29 a	33.1 k
37.61 d	53.45 efd	673.6 hi	11.48 c	36.1 hi
19.37 e	51.85 f	597.6 i	14.36 b	34.5 jk
18.70 e	51.98 ef	600.5 i	13.85 b	35.1 ij
46.94 bc	56.43 cde	857.9 fg	8.76 e	37.8 efg
46.27 bc	56.43 cde	815.1 fg	9.34 de	37.3 fgh
20.34 e	53.85 efd	755.7 gh	11.03 cd	36.3 ghi
41.37 cd	53.58 efd	791.7 gh	9.78 cde	36.6 ghi
18.94 e	57.03 cd	936.8 ef	7.11 f	38.5 def
49.51 b	58.50 c	1439.4 c	4.40 hi	39.9 cd
20.94 e	57.97 cd	1304.6 d	4.97 gh	39.3 cde
19.64 e	57.90 cd	977 e	6.47 fg	38.9 cdef
63.45 a	69.50 a	1873.2 a	3.05 i	44.7 a
53.51 b	65.70 ab	1744.7 b	3.53 hi	43.1 b
24.76 e	58.77 c	1524.5 c	4.21 hi	40.3 c
52.18 b	64.90 b	1677.8 b	3.69 hi	42 b

تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	کود زیستی Biofertilizer	آبیاری Irrigation
8.37 i	کنترل Control	Rainfed
9.31 hi	میکوریزا Mycorrhiza	
8.63 i	ازتوباکتر Azotobacter	
8.54 i	تیوباسیلوس Thiobacillus	
11.31 fg	میکوریزا + ازتوباکتر Mycorrhiza + Azotobacter	
10.90 fg	میکوریزا + تیوباسیلوس Mycorrhiza + Thiobacillus	
10.36 gh	ازتوباکتر + تیوباسیلوس Azotobacter + Thiobacillus	
10.81 fg	میکوریزا + ازتوباکتر + تیوباسیلوس Mycorrhiza + Azotobacter + Thiobacillus	
12.15 ef	کنترل (کنترل) Control	Supplementary irrigation
18.06 c	میکوریزا Mycorrhiza	
16.54 d	ازتوباکتر Azotobacter	
12.81 e	تیوباسیلوس Thiobacillus	
20.94 a	میکوریزا + ازتوباکتر Mycorrhiza + Azotobacter	
20.25 ab	میکوریزا + تیوباسیلوس Mycorrhiza + Thiobacillus	
18.87 bc	ازتوباکتر + تیوباسیلوس Azotobacter + Thiobacillus	
19.97 ab	میکوریزا + ازتوباکتر + تیوباسیلوس Mycorrhiza + Azotobacter + Thiobacillus	

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

Means with same letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

*DMR: Dry Matter Remobilization

مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن، وزن هزاردانه را بهبود ببخشد (Farhadian Asgarabadi, 2017; Jalilian et al., 2016).

میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

نتایج نشان داد که میزان انتقال مجدد در شرایط دیم بیشتر از شرایط آبیاری تکمیلی بود (جدول ۳). احتمالاً به نظر می‌رسد در شرایط تنش کم‌آبی به دلیل زودرسی، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، میزان ماده خشک بیشتری به سمت دانه منتقل می‌شود. در نخود گزارش شده است که در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش فتوسنتز برای پُر کردن دانه‌ها از طریق انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای که خود به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده می‌باشد، جبران می‌شود (Mansourifar et al., 2012; Mohammadi et al., 2011). محققان با بررسی تغییرات وزن خشک و محتوی هیدرات‌های کربن محلول در آب پس از گلدهی در ساقه گیاه جو گزارش کردند که میزان ذخایر تجمع و انتقال یافته ساقه، به ژنوتیپ، شرایط محیطی و روش اندازه‌گیری بستگی دارد به طوری که کمبود رطوبت، هم بر ذخیره و هم انتقال ذخایر ساقه تأثیر می‌گذارد و گیاهان تحت تنش خشکی به واسطه کاهش فتوسنتز، ذخایر خود را بیشتر از گیاهانی که در شرایط نرمال هستند، از دست می‌دهند (Barati & Ghadiri, 2017).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ماده خشک انتقال یافته (۷۷/۲۲ گرم در متر مربع) در تیمار شاهد به دست آمد، اما کمترین مقدار آن (۶۵/۷۱ گرم در متر مربع) در تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر مشاهده شد (جدول ۵). بالابودن انتقال مجدد در تیمار شاهد احتمالاً ناشی از این است که در این شرایط میزان فتوسنتز جاری برای پُر شدن دانه کافی نبوده و انتقال مجدد برای گیاه ضروری است. گزارش شده است که در مرحله پُر شدن دانه افزایش نسبت اسید آبسزیک به سیتوکینین در برگ‌ها، کاهش دوام سطح برگ، افزایش مرگ بافت‌های گیاهی، ریزش برگ‌های پایینی بوته، افزایش میزان تنفس به علت سایه‌اندازی و زوال نوری سبب کاهش تجمع ماده خشک و افزایش انتقال مجدد در نخود شده است (Mansourifar et al., 2012; Awasthi et al., 2017). همچنین پژوهشگران گزارش کردند که با کاربرد باکترهای محرک رشد در گیاه آفتابگردان انتقال مجدد از اندام‌های هوایی به دانه به دلیل افزایش شاخص سطح برگ کاهش یافت (Seyed Sharifi & Nazarly, 2013). به نظر می‌رسد با افزایش مواد غذایی قابل دسترس و تولید تنظیم

لذا قارچ‌های میکوریزایی از طریق گسترش شبکه‌های هیفی خارج از ریشه موجب افزایش جذب و انتقال آب و مواد غذایی به ریشه‌ها می‌شوند که این امر در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر است (Habibzadeh et al., 2013). دیگر گزارش‌ها حاکی از آن می‌باشد که کاربرد همزمان ازتوباکتر و قارچ میکوریزا اثرات مثبتی روی گیاه گندم داشت که این امر امکان دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (Behl et al., 2003). احتمالاً فراهم شدن رشد سریع و تولید منابع فراوان برای فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر از طریق کاربرد ترکیبی کودهای زیستی، منجر به افزایش تجمع ماده خشک و مواد معدنی در ساقه‌ها و برگ‌های گیاه نسبت به شاهد شده و به این ترتیب در طول دوره زایشی مواد معدنی تجمع می‌یابد که می‌تواند به اندام‌های زایشی منتقل و در نهایت منجر به افزایش وزن دانه و تعداد دانه در بوته شود.

وزن ۱۰۰۰ دانه

بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه ماشک (۴۴/۷ گرم) در شرایط انجام آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی میکوریزا و ازتوباکتر مشاهده شد (جدول ۶)، اما کمترین میزان آن (۳۳/۱ گرم) در شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی به دست آمد (جدول ۶). وزن ۱۰۰۰ دانه نشان دهنده سلامتی گیاه در طول دوره پُر شدن دانه می‌باشد و ممکن است کل عملکرد را در بعضی از گیاهان تحت تأثیر قرار دهد (Heydarzadeh & Jalilian, 2014). محدودیت رطوبت در زمان غلاف بندی و پُر شدن دانه می‌تواند موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه‌ها گردد که در این شرایط، گیاه با محدودیت منبع مواجه شده و مواد کمتری به دانه‌ها منتقل می‌شود. بنابراین هر گونه تنش کم‌آبی در طی این مراحل می‌تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر منفی بگذارد. از این رو، کاهش تأمین مواد پرورده در طول این دوره سبب کاهش وزن دانه خواهد شد (Rezaeyan et al., 2012).

همچنین به نظر می‌رسد که در شرایط تلقیح با کودهای زیستی در تیمارهای ترکیبی به دلیل افزایش توانایی فتوسنتزی، راندمان انتقال مواد غذایی به دانه افزایش یافته و به تبع آن پُر شدن مخازن زایشی گیاه منجر به افزایش وزن دانه شده است (Mishra et al., 2010; Habibzadeh et al., 2013). کاربرد کودهای زیستی به خصوص در شرایط کم‌آبی با بهبود رشد ریشه و افزایش آسمیلاسیون مواد فتوسنتزی به علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی، می‌تواند در مرحله پس از گلدهی با انتقال

تیمار کاربرد کودهای زیستی افزایش یابد (Naseri et al., 2017).

سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

نتایج نشان داد که بیشترین سهم انتقال مجدد (۱۶/۲۹ درصد) مربوط به در شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی بود. کمترین سهم انتقال مجدد (۳/۰۵ درصد) نیز متعلق به شرایط انجام آبیاری تکمیلی و کاربرد ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر بود، در حالی که کاربرد ترکیبی کودهای زیستی در شرایط انجام آبیاری تکمیلی تأثیر یکسانی بر سهم انتقال مجدد داشتند (جدول ۶). همچنین با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، ماشک رقم مراغه در سال اول نسبت به سال دوم بیشترین سهم انتقال مجدد را داشت (جدول ۴). در واقع با توجه به داده‌های هواشناسی (جدول ۱) افزایش قابل توجه میزان بارندگی در فروردین ماه سال دوم سبب افزایش میزان رشد رویشی و تعداد شاخه جانبی و حفظ فعالیت فتوسنتزی جاری ماشک نسبت به سال اول می‌تواند دلیل افزایش سهم انتقال مجدد در سال اول باشد. در شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)، سهم ذخایر بخش‌های رویشی در تولید عملکرد می‌تواند به واسطه کاهش معنی‌دار فتوسنتز جاری باشد.

Hay & Waker (2004) گزارش کردند که در گیاهان تحت تنش که فتوسنتز جاری آن‌ها به‌ویژه در دوره پُرشدن دانه‌ها محدود شده باشد، وابستگی بیشتر به مواد ذخیره‌شده در بخش‌های رویشی پیش از گلدهی، نشان‌دهنده نیاز دانه‌ها به تأمین مواد خشک مکمل است. سهم نسبی بیشتر ذخایر قبل از گلدهی در عملکرد دانه تحت شرایط تنش، معمولاً با عملکرد دانه همبستگی منفی دارد (Mansourifar et al., 2012). لذا می‌توان نتیجه گرفت که گیاه در مواجهه با شرایط کم‌آبی، بیشتر از ذخایر قبل از گرده‌افشانی خود برای انتقال مواد پرورده کمک گرفته است که نشان‌دهنده اهمیت انتقال مجدد در تأمین نهایی وزن دانه بود. به نظر می‌رسد اثر تنش کم‌آبی بر کاهش فتوسنتز جاری در مرحله پُرشدن دانه‌ها در تیمار شاهد موجب القای انتقال بیشتر ذخایر ساقه و مصرف آن‌ها به‌وسیله دانه شده باشد. گزارش شده است که در شرایط تنش مانند محدودیت آبی، عدم دسترسی به عناصر غذایی ممکن است تعادل منبع و مخزن را به هم بزند و در چنین شرایطی قدرت مخزن بیشتر از منبع بوده و به دلیل روابط فیزیولوژیکی موجود بین منبع و مخزن، منبع میزان انتقال ماده خشک را افزایش می‌دهد تا شاید بتواند بخشی از نیاز شدید مخازن (دانه‌ها) را برآورده نماید (Brevedan & Egli, 2003). احتمالاً با کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد از یک طرف زمینه برقراری تعادل، جذب و انتقال

کننده‌های رشد توسط کودهای زیستی، منبع به دلیل گسترش سطح برگ و افزایش شاخص سطح برگ توانایی تولید مواد فتوسنتزی بیشتری را برای مخازن فراهم ساخته و به تبع از آن انتقال مجدد ماده خشک کاهش یافته باشد (Seyed Sharifi & Nazarly, 2013). لذا در این آزمایش اثرات مثبت کودهای زیستی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و به نظر می‌رسد این امر موجب تولید آسمیلات بیشتر و بهبود رشد گیاه شده که در نهایت موجب کاهش میزان ماده خشک انتقال یافته در مقایسه با تیمار شاهد شده باشد.

کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

با توجه به اینکه بالاتر بودن مقدار انتقال مجدد به تنهایی بیانگر کارآمدی گیاه در انتقال ذخایر آن نیست، کارایی انتقال مجدد برای مقایسه تیمارها محاسبه شد. بیشترین کارایی انتقال مجدد در شرایط دیم برابر با ۱۷/۵۳ درصد و کمترین مقدار آن در آبیاری تکمیلی برابر با ۱۲/۸۳ درصد مشاهده گردید (جدول ۳). در برخی از مطالعات صفت کارایی انتقال مجدد ماده خشک در شرایط تنش یکی از عوامل مهم در پایداری عملکرد دانه محسوب می‌گردد (Ma et al., 2013). این وضعیت بیانگر آن است که تحت شرایط تنش کم‌آبی نسبت ماده خشک منتقل‌شده به ذخیره‌شده بیشتر می‌شود تا کاهش عملکرد دانه را تا حدی جبران نماید. گزارش شده است که کارایی انتقال مجدد ذخایر کربنی از ساقه به دانه در گیاه نخود در اثر تنش‌های محیطی به دلیل تسریع پیری گیاه به بیشتر از ۱۱ درصد افزایش یافته (Mansourifar et al., 2012) و در این شرایط کارایی انتقال هیدرات‌های کربن محلول از ساقه بهبود می‌یابد.

نتایج نشان داد که بیشترین کارایی انتقال مجدد (۱۷/۵۴ درصد) در تیمار بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد، اما کمترین میزان آن (۱۲/۸۳ درصد) در تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر مشاهده شد، به‌طوری که تیمار قارچ میکوریزا + تیوباسیلوس در مقایسه با تیمار قارچ میکوریزا + ازتوباکتر تأثیر یکسانی بر کارایی انتقال مجدد داشتند (جدول ۵). احتمالاً جذب عناصر غذایی توسط سیستم ریشه گسترده در حضور باکتری ازتوباکتر و قارچ میکوریزا افزایش یافته است که همین امر توانسته میزان و دوام فتوسنتز را افزایش دهد و در نهایت منجر به افزایش فتوسنتز و دوام سطح سبز گردد که همین عامل باعث می‌گردد که کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در تیمار شاهد نسبت به

عناصر غذایی از طریق ریشه به اندام‌های هوایی بهبود یافته و مواد فتوسنتزی تولیدشده بیشتر در اندام‌های هوایی و مخازن زایشی تجمع یافته که همین امر موجب افزایش سهم فتوسنتز جاری و کاهش سهم انتقال مجدد می‌گردد (Naseri et al., 2017).

عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه (۱۸۷۳ کیلوگرم در هکتار) از آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر و کمترین میزان آن (۵۵۵ کیلوگرم در هکتار) از شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد، با این حال کاربرد جداگانه تیمار کودهای زیستی میکوریزا، ازتوباکتر و تیوباسیلوس از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در شرایط دیم نداشتند (جدول ۶). در واقع در گیاهان تحت آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا و ازتوباکتر بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ، افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و ازدیاد میزان فتوسنتز جاری منجر به بهبود عملکرد دانه در شرایط تیماری مذکور گردید. همچنین عملکرد ماشک در سال دوم ۱۰/۸۴ درصد بیشتر بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد افزایش میزان بارش در فروردین ماه سال دوم (جدول ۱) نسبت به سال اول منجر به افزایش عملکرد دانه در سال دوم شده باشد. کاهش عملکرد دانه در شرایط دیم نسبت به آبیاری تکمیلی را می‌توان به کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه تحت شرایط تنش کم‌آبی نسبت داد، چرا که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال‌یافته از برگ به دانه از پیامدهای تنش کمبود آب است که باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Jalilian et al., 2016). اختلاف در عملکرد تیمارهای مختلف کود زیستی و آبیاری به مقدار جذب آب و عناصر غذایی معدنی مربوط می‌شود (Latifinia et al, 2017; Farhadian Asgarabadi, 2017). به نظر می‌رسد در تیمارهای ترکیبی به دلیل اثرات هم‌افزایی متقابل باکتری‌ها و قارچ، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات غیرممتحرک و کاهش pH خاک و تولید انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد (نظیر سیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسید پنتوتنیک)، جذب عناصر غذایی را تحریک می‌کنند و با تأثیر روی فرایندهای فتوسنتزی سبب بهبود اجزای عملکرد دانه و در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه گیاه شده باشد.

پروتئین علوفه

میزان پروتئین علوفه ماشک در شرایط دیم بیشتر از آبیاری تکمیلی بود (جدول ۳). میزان پروتئین علوفه گیاه صفتی است که تحت تأثیر رقم، فتوسنتز گیاه، فراهمی عناصر

غذایی و شرایط اقلیمی قرار می‌گیرد. هر عامل غذایی و اقلیمی که سبب شود دوره رشد گیاه و خصوصاً دوره پُرشدن دانه‌ها کاهش یابد، میزان پروتئین دانه را افزایش می‌دهد، به‌طوری که خنک‌شدن هوا و وفور آب با افزایش دوره دانه‌بندی نسبت تولید نشاسته به پروتئین را افزایش می‌دهد، اما خشکی و گرما نسبت پروتئین به نشاسته را افزایش می‌دهد (Naseri et al., 2015). احتمالاً بالاتر بودن درصد پروتئین در شرایط دیم نسبت به شرایط آبیاری می‌تواند مرتبط با کاهش طول دوره رشد و نمو در شرایط دیم باشد که موجب کاهش نسبت هیدرات‌های کربن به پروتئین و در نتیجه افزایش درصد پروتئین شده است. بیشترین درصد پروتئین علوفه ماشک رقم مراغه (۲۳/۴۸ درصد)، در شرایط کاربرد کود زیستی میکوریزا و ازتوباکتر مشاهده گردید. کاربرد ترکیبی کودهای زیستی تأثیر یکسانی بر درصد پروتئین دانه داشتند و کمترین میزان آن (۱۹/۴۸ درصد) در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۵). با توجه به این موضوع که عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل پروتئین ضروری‌اند، باکتری‌های حل‌کننده گوگرد و تثبیت کننده نیتروژن در کنار قارچ میکوریزا از طریق فراهمی عناصر غذایی به خصوص نیتروژن، فسفر و عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) احتمالاً سبب بهبود رشد و فتوسنتز و به تبع آن افزایش درصد پروتئین علوفه ماشک شده‌اند. در تحقیقی گزارش شده است که قارچ‌های میکوریزا از طریق جذب ترکیبات آلی حاوی نیتروژن و تحویل آن به گیاه و یا از طریق افزایش سطح جذب در خاک موجب افزایش جذب نیتروژن برای گیاه می‌گردد (Zarea et al., 2013). ازتوباکتر متعلق به گروهی از باکتری‌ها است که نقش تثبیت‌کنندگی نیتروژن را دارا هستند، بنابراین افزایش محتوای نیتروژن دانه تحت هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مربوط به ویژگی ذکرشده این باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن است.

محتوای رطوبت نسبی

نتایج نشان داد بیشترین محتوای رطوبت نسبی (۶۹/۵۰ درصد) متعلق به شرایط آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا+ازتوباکتر بود که در این ارتباط تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا+تیوباسیلوس تأثیر یکسانی بر محتوای رطوبت نسبی در شرایط انجام آبیاری تکمیلی نشان دادند، اما کمترین میزان آن (۵۰/۵۸ درصد) در شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد. با این حال کاربرد جداگانه تیمار کودهای زیستی میکوریزا، ازتوباکتر و تیوباسیلوس از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در شرایط دیم نداشتند (جدول ۶). محتوای رطوبت نسبی یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی مهم

معنی‌دار درصد کلونیزاسیون شبدر سفید در شرایط تنش رطوبتی، به کاهش در تندش و رشد هیف نسبت داده شده است (Ortiz *et al.*, 2015). با توجه به این که یکی از شرایط لازم برای همزیستی بین میکوریزا و گیاه انتقال مواد آلی از گیاه به قارچ است، بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاهش رطوبت خاک، کاهش فتوسنتز و رشد رویشی گیاه را به دنبال دارد، در نتیجه منابع کربن کمتری در اختیار قارچ قرار می‌گیرد که می‌تواند باعث کاهش همزیستی آن با گیاه شود.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط دیم میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی افزایش یافت و به دنبال آن در این شرایط کارایی انتقال مجدد و همچنین سهم انتقال مجدد در پُرشدن دانه افزایش یافت که احتمالاً همین امر سبب کاهش مدت پُرشدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش سرعت پُرشدن دانه‌ها شده باشد و این افزایش می‌تواند تا حدودی کاهش مدت انتقال مواد پرورده به دانه را جبران نماید، به‌طوری که در شرایط عدم وجود تنش کم‌آبی مواد پرورده بیشتری به طرف دانه‌ها منتقل شده و وزن نهایی دانه‌ها و به دنبال آن عملکرد نهایی دانه افزایش می‌یابد. در این راستا نتایج نشان داد که در گیاهان تحت آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی کودهای زیستی به واسطه ازدیاد محتوای رطوبت نسبی برگ، افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و بهبود میزان فتوسنتز جاری نسبت به شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی (شاهد)، عملکرد دانه ماشک ۷۰/۳۷ درصد افزایش نشان داد. بنابراین انجام یک‌بار آبیاری تکمیلی همراه با کاربرد تلفیقی تیمار کودی مذکور در سیستم آگروفارستری می‌تواند سبب افزایش تولید محصول و بهبود خصوصیات کیفی علوفه ماشک شود.

است که همبستگی خوبی با مقاومت به خشکی نشان می‌دهد (Nautiyal *et al.*, 2002). به نظر می‌رسد گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین‌سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان رطوبت نسبی در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Haffani *et al.*, 2014; Habibzadeh *et al.*, 2015). میکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طول کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریشه‌های قارچ، میزان آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌گردد (Auge *et al.*, 2015).

درصد کلونیزاسیون ریشه

بیشترین کلونیزاسیون ریشه ماشک رقم مراغه (۶۳/۴۵ درصد) در شرایط آبیاری تکمیلی و تیمار ترکیبی میکوریزا + ازتوباکتر و کمترین میزان آن (۱۷/۷۴ درصد) در شرایط دیم و بدون کاربرد کود زیستی (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۶). احتمالاً دلیل همزیستی بالای ماشک در تیمار میکوریزا و ازتوباکتر در شرایط آبیاری تکمیلی، به دلیل اثرهای هم‌افزایی و تشدیدکننده‌ای بین قارچ میکوریزا در حضور باکتری باشد که سطح جذب ریشه‌ها به علت نفوذ بیشتر هیف‌های قارچ در خاک افزایش و به تبع آن کارایی گیاه ماشک به دلیل توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای در جذب آب و عناصر غذایی نیز افزایش یافته باشد. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که میزان کلونیزاسیون میکوریزا با کاهش میزان رطوبت خاک، کاهش می‌یابد. در واقع شرایط دیم اثر بازدارنده‌ای بر توسعه فعالیت میکوریزا داشت. Habibzadeh *et al.* (2015) کاهش درصد کلونیزاسیون با افزایش تنش خشکی در گیاه ماش را گزارش کرده‌اند. کاهش

منابع

- Asghari Meidany, J., and Karimi, E. 2013. Sowing depth effects on vetch yield in maragheh dry lands. Iranian Journal of Field Crops Research 11: 430-436. (In Persian with English Summary).
- Auge, R.M., Toler, H.D., and Saxton, A.M. 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza 25(1): 13-24.
- Awasthi, R., Gaur, P., Turner, N.C., Vadez, V., Siddique, K.H., and Nayyar, H. 2017. Effects of individual and combined heat and drought stress during seed filling on the oxidative metabolism and yield of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes differing in heat and drought tolerance. Crop and Pasture Science 68: 823-841.
- Barati, V., and Ghadiri, H. 2017. Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. Archives of Agronomy and Soil Science 63(6): 841-855.
- Baum, C., El-Tohamy, W., and Gruda, N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Scientia Horticulturae 187: 131-141.

6. Behl, R.K., Sharma, H., Kumar, V., and Singh, K.P. 2003. Effect of dual inoculation of VA mycorrhiza and Azotobacter chroococcum on above flag leaf characters in wheat. *Agronomy Soil Science* 44: 25-31.
7. Benbi, D.K., Brar, K., Toor, A.S., Singh, P., and Singh, H. 2012. Soil carbon pools under poplar-based agroforestry, rice-wheat and maize-wheat cropping systems in semi-arid India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 92(1): 107-118.
8. Besharati, H., and Malekzadeh, T. 2015. Effect of sulfur and thiobacillus on soybean growth and uptake of some nutrients in four calcareous soils with different buffering capacities. *Iranian Journal of Soil Research* 29(2): 131-146. (In Persian with English Summary).
9. Brevedan, R.E., and Egli, D.B. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence and yield of soybean. *Crop Science* 43: 2083-2088.
10. Campiglia, E., Caporali, F., Radicetti, E., and Mancinelli, R. 2010. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no-tillage tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production. *European Journal of Agronomy* 33: 94-102.
11. Eskandari, H., and Alizadeh-Amraie, A. 2017. Grain yield and energy efficiency of a barley dry land farming system as affected by supplemental irrigation at flowering stage. *Agricultural Crop Management* 18(4): 871-880. (In Persian with English Summary).
12. Farhadian Asgarabadi, K. 2017. Effects of mycorrhiza and superabsorbent on root morphological characteristics and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rain-fed conditions. *Journal of Crop Production* 10: 61-73. (In Persian with English Summary).
13. Gao, Z., Liang, X.G., Lin, S., Zhao, X., Zhang, L., Zhou, L.L., Shen, S., and Zhou, S.L. 2017. Supplemental irrigation at tasseling optimizes water and nitrogen distribution for high-yield production in spring maize. *Field Crops Research* 209: 120-128.
14. Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., and Eini, O. 2015. Some morpho-physiological characteristics of Mung Bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition* 38(11): 1754-1767.
15. Habibzadeh, Y., Zardashti, M.R., Pirzad, A., and Jalilian, J. 2013. Effects of arbuscular mycorrhiza on grain yield and yield component of Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczk] under water deficit stress. *Pajouhesh & Sazandegi* 100: 38-47. (In Persian with English Summary).
16. Haffani, S., Mezni, M., Slama, I., Ksontini, M., and Chaïbi, W. 2014. Plant growth, water relations and proline content of three vetch species under water-limited conditions. *Grass and Forage Science* 69: 323-333.
17. Hamzei, J., and Syedi, M. 2013. Response of yield and yield components of barley cultivars to supplementary irrigation under rainfed condition. *Science Agricultural and Sustainable Production* 25: 71-85. (In Persian with English Summary).
18. Hay, R.K.M., and Waker, N.J. 2004. *Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Wiley. 292 pp.
19. Heydarzadeh, S., and Jalilian, J. 2014. Changes in cover crops yield in safflower field under different fertilizer systems and weed infestation. *Research in Field Crops* 2(1): 38-49. (In Persian with English Summary).
20. Jalilian, J., Amirnia, R., Gholinezhad, E., and Abbas Zadeh, S. 2016. The effect of supplemental irrigation and seed priming on seed yield, yield components and some characteristics of vetch. *Agricultural Crop Management* 18(3): 625-637. (In Persian with English Summary).
21. Jalilian, J., Amirnia, R., Gholinezhad, E., and Abbas Zadeh, S. 2016. The effect of supplemental irrigation and seed priming on seed yield, yield components and some characteristics of vetch. *Journal of Crops Improvement* 18: 625-637. (In Persian with English Summary).
22. Latifinia, E., Akbari, N., Nazarian Firozabadi, F., and Heidari, S. 2017. Investigating the effect of cultivate lines direction, bio-fertilizer nitroxin and superabsorbent materials on yield and yield components of broad leaf Vetch (*Vicia narbonensis*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 15: 639-648. (In Persian with English Summary).
23. Ma, J., Huang, G.B., Yang, D.L., and Chai, Q. 2013. Dry matter remobilization and compensatory effects in various internodes of spring wheat under water stress. *Crop Science* 54: 331-339.
24. Mansourifar, C., Shaban, M., Ghobadi, M., and Sabaghpour, S.H. 2012. Study of grain filling in chickpea cultivars under drought stress and n fertilizer. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(3): 591-602. (In Persian with English Summary).
25. Meng, W., Yu, Z., Zhao, J., Zhang, Y., and Shi, Y. 2017. Effects of supplemental irrigation based on soil moisture levels on photosynthesis, dry matter accumulation, and remobilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Plant Production Science* 20 (2): 215-226.

26. Mishra, A., Prasad, K., and Rai, G. 2010. Effect of bio-fertilizer inoculations on growth and yield of dwarf field pea (*Pisum sativum* L.) in conjunction with different doses of chemical fertilizers. *Journal of Agronomy* 9: 163-168.
27. Mohammadi, A., Habibi, D., Rohami, M., and Mafakheri, S. 2011. Effect of drought stress on antioxidant enzymes activity of some chickpea cultivars. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 11: 782-785.
28. Mousavi, S.K., and Shakarami, G. 2010. Effects of supplemental irrigation on chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield in low rain condition. *Electronic Journal of Crop Production* 1(4): 99-123. (In Persian with English Summary).
29. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology* 5(1): 49-66. (In Persian with English Summary).
30. Naseri, R., Rahimi, M.J., Siyadat, S.A., and Mirzaei, A. 2015. The effects of supplementary irrigation and different plant densities on morphological traits, yield and its components and protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Sirvan region in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research* 6(1): 78-91. (In Persian with English Summary).
31. Nautiyal, P.C., Rachaputi, N.R., and Joshi, Y.C. 2002. Moisture-deficit-induced changes in leaf-water content, leaf carbon exchange rate and biomass production in groundnut cultivars differing in specific leaf area. *Field Crops Research* 74: 67-79.
32. Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A., and Azcón, R. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing *Trifolium repens* drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology* 174: 87-96.
33. Papakosta, D.K., and Gayians, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal* 83: 864-870.
34. Philips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
35. Raei, Y., Shariati, J., and Weisany, W. 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Science Agricultural and Sustainable Production* 25: 65-84. (In Persian with English Summary).
36. Rashidi, V. 2017. Effects of drought stress at flowering stage on seed yield and its components in local lentil accessions. *Dry Land Agriculture* 5(2): 171-184. (In Persian with English Summary).
37. Renzi, J.P., Chantre, G.R., and Cantamutto, M.A. 2017. Self-regeneration of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) as affected by seedling density and soil tillage method in a semi-arid agroecosystem. *Grass and Forage Science* 72(3): 524-533.
38. Rezaei Chiyaneh, I., Pirzad, A., and Farjami, A. 2014. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Science Agricultural and Sustainable Production* 24(4): 83-71. (In Persian with English Summary).
39. Rezaeyan Zadeh, E., Parsa, M., Ganjali, A., and Nezami, A. 2012. Responses of yield and yield components of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) to supplemental irrigation in different phenology stages. *Journal of Water and Soil* 25(5): 1080-1095. (In Persian with English Summary).
40. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111.
41. Rossi, A.M., Juarez, M.D., Samman, N.C., and Villarreal, M. 2004. Nitrogen contents in food: A comparison between the Kjeldahl and Hach methods. *Argentine Chemical Society* 92: 99-108.
42. Seyed Sharifi, R., and Nazarly, H. 2013. Effects of seed priming with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on grain yield, fertilizer use efficiency and dry matter remobilization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) with various levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Science Agricultural and Sustainable Production* 23(3): 27-45. (In Persian with English Summary).
43. Wang, H.G., Yu, Z.W., Zhang, Y.L., Wang, D., Shi, Y., and Xu, Z.Z. 2011. Effects of supplemental irrigation based on measuring soil water content on wheat photosynthetic characteristics and dry matter accumulation and allocation. *Chinese Journal of Applied Ecology* 22: 2495-2503.
44. Zarea, M.J., Mohammadi Goltapeh, E., Karimi, N., and Varma, A. 2013. Sustainable agriculture in saline-arid and semiarid by use potential of AM fungi on mitigates NaCl effects. *Fungi as Bioremediators, Soil Biology*: 347-369.

Changes in partitioning and remobilization of assimilate in Maragheh vetch (*Vicia sativa*) cultivar under the influence of biological fertilizers and supplementary irrigation in the integrated tree, and crop system

Heydarzadeh¹, S., Jalilian^{2*}, J., Pirzad³, A. & Jamei⁴, R.

1. Former PhD. Student of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran; s.heydarzadeh@urmia.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran;
j.jalilian@urmia.ac.ir

3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran; a.pirzad@urmia.ac.ir

4. Associate Professor, Department of Biology, Urmia University, Urmia, Iran; r.jamei@urmia.ac.ir

Received: 13 August 2018

Accepted: 11 February 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.74730

Introduction

Vetch is one of the legume family that is widely cultivated as a cover crop, reduce erosion, and increase soil fertility. Drought stress that occurs during the reproductive growth period, adversely affects yield and yield components. Supplementary irrigation can be efficient technique to cope with the limited water availability and to stabilize the crop yields. Biological fertilizers such as mycorrhizal fungi, *Azotobacter* and *Thiobacillus* spp play an important role in sustainable agriculture. The mycorrhizal symbiosis with plants causes changes in plant water relations and thus improve drought resistance or tolerance in the host plant. *Azotobacter* has the potentiality to produce different types of amino acids, plant growth hormones, antifungal antibiotics, and siderophore and has a unique ability of atmospheric nitrogen fixation in the soil. The application of sulfur coupled with *Thiobacillus* spp renders alkali soils fit for cultivation of crops. The formation of sulphuric acid by *Thiobacillus* spp in soil increases the level of soluble P, K, Ca, Mg, Al and Mn ion. Therefore, this study was conducted to determine the effect of biofertilizers treatment on yield and some quality traits of Vetch (*Vicia sativa*) under Agroforestry system.

Materials and Methods

This factorial experiment was performed as a complete randomized block design with three replications at Urmia University in two years (2016 and 2017). Experimental treatments included once supplemental irrigation and dry farming as the first factor and application of biofertilizers at eight levels {Control (non-application of fertilizer), Mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*), *Azotobacter*, *Thiobacillus* spp, *Azotobacter* + Mycorrhiza (*R. intraradices*), *Thiobacillus* spp + Mycorrhiza (*R. intraradices*), *Azotobacter* + *Thiobacillus* spp, *Azotobacter* + *Thiobacillus* spp + Mycorrhizal fungus (*R. intraradices*)} were the second factor. Supplementary irrigation treatment was applied at the flowering stage (10%) for two years. Vetch plants were harvested on 25-27th of June in two years. At harvest, from each treatment ten plants were taken randomly and plant height, pod per plant, seed per plant, 100 grain weight, were recorded. Whole plot was harvested for determination of seed yield. The analysis of variance for the two-year data was performed using GLM procedure (SAS 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) as combined over years. The effects of irrigation regimes, the application of biofertilizers and interactions of these two factors were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and means were compared using Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ($P \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that supplementary irrigation increased the number of pods per plant and forage calcium content. But the highest rate and efficiency of photosynthetic materials remobilization and forage protein content were obtained in farming condition. Also, the number of pods per plant, the percentage of calcium and protein content of forage increased significantly due to the application of biological fertilizers.

*Corresponding Author: j.jalilian@urmia.ac.ir

Thus, the combined application of mycorrhizal + *Azotobacter* treatment increased the number of pods per plant, and protein content of forage by 15.55% and 18.88%, respectively, as compared to the Control. While

the highest rate and efficiency of photosynthetic materials remobilization were obtained in non-biofertilizer treatment (control). Supplementary irrigated vetch plants under combined application of mycorrhiza and *Azotobacter*, due to the having maximum amount of root colonization (63.45%) and relative water content (69.50%), had the highest number of seeds per plant (204.94) and 100 seed weight (4.47 g), which resulted in maximum seed yield (187.32 g/m²). Generally, the results of the experiment showed that in rainfed conditions, the amount of remobilization of photosynthetic materials increased. Subsequently, in this situation, the efficiency of the remobilization and also the remobilization share in grain filling increased, which probably reduced the filling time of the seeds. Thus, increase in the filling speed of the seeds, can partly compensate for the reduction of the material's transfer time to the seed. In the absence of water stress, more material is transferred to the seeds and the final weight of the seeds increases, and consequently the final yield of the seeds increases.

Conclusion

Application of dual inoculation of mycorrhiza and *Azotobacter* could improve the uptake of yield and yield components in vetch under Agroforestry system. Therefore, according to the findings of this research, the combined use of biological fertilizers to increase yield and maintain long-term production in an agroforestry system under rain-fed conditions can be desirable for sustainable agriculture.

Keywords: *Azotobacter*, Efficiency of remobilization, Mycorrhiza, Sustainable agriculture, *Thiobacillus* spp

اثر پیش‌تیمار بذر با اکسین و جیبرلین بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

فهمیمه درکتانیان^۱ و سعید سعیدی‌پور^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، واحد آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی؛ f_darkatanian@yahoo.com

۲- دانشیار گروه زراعت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۴

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین چگونگی تأثیر غلظت‌های مختلف هورمون‌های جیبرلین و اکسین بر خصوصیات جوانه‌زنی و زراعی لوبیا رقم کامران در شرایط آزمایشگاهی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و در مزرعه به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های مختلف (۲۰، ۴۰ و ۶۰ پی‌پی‌ام) هورمون‌های جیبرلین و اکسین و آب مقطر به عنوان شاهد و مدت زمان خیساندن بذور ۶ و ۱۲ ساعت بود. نتایج نشان داد که در آزمایشگاه اختلاف معنی‌داری در رابطه با صفات وزن تر و خشک، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی خروج ریشه‌چه مشاهده شد. تیمار آب مقطر بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۹/۳۷ بذور/روز) و همچنین بیشترین طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به ترتیب با ۳۳/۹ و ۵/۴۸ میلی‌متر را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد. زمان ۶ ساعت نسبت به زمان ۱۲ ساعت موجب بهبود سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی خروج گیاهچه‌ها به ترتیب به میزان ۳۳/۷ و ۴۶/۷ درصد گردید. در مزرعه بیشترین عملکرد مربوط به تیمار آب مقطر با ۳۳۰۹/۶ کیلوگرم در هکتار بود. اثر برهمکنش تیمارهای آزمایش بر اجزای عملکرد به‌غیر از تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود. بالاترین میزان همبستگی عملکرد دانه با عملکرد زیستی ($r^2=0/93$)، شاخص برداشت ($r^2=0/85$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r^2=0/49$)، و تعداد غلاف در بوته ($r^2=0/38$)، مشاهده شد. به‌طور کلی، تیمار پیش تیمار آب مقطر به مدت ۶ ساعت در آزمایشگاه و مزرعه تیمار برتر به لحاظ غالب صفات مورد مطالعه در رقم کامران بود.

واژه‌های کلیدی: اسید جیبرلیک، اکسین، عملکرد، مدت زمان خیساندن

مقدمه

دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین می‌باشد (Majnoon Hosseini, 2008). پیش‌تیمار بذر از روش‌های مختلفی مانند ترمیم متابولیکی بذر طی دوره جذب آب (Farooq et al., 2007)، افزایش متابولیت‌های جوانه‌زنی نظیر قندها، اسیدها، آمینو اسیدها و آمین‌ها (Basra et al., 2005)، تنظیم اسمزی (Bradford, 1986) و یک کاهش در مدت زمان آبیاری برای بذوری که پس از تیمار خشک نشده‌اند (Bradford, 1986) سبب افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی می‌شود. اثرات سودمند پیش‌تیمار نیز برای بسیاری از محصولات زراعی مانند گندم، چغندر قند، ذرت، سویا و آفتابگردان نشان داده شده است (Bajehbaj, 2010). گزارش‌های بسیار زیادی حاکی از بهبود رفتار جوانه‌زنی و شاخص‌های مربوط به آن اعم از متوسط زمان جوانه‌زنی، بنیه بذر، طول ریشه، طول ساقه‌چه، نرخ جوانه‌زنی و استقرار اولیه در بذور پرایم‌شده می‌باشد (Kattimani et al., 1999). علت تسریع جوانه‌زنی در بذور پرایم‌شده می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه

پرایمینگ بذر تکنیکی است که به واسطه آن بذور پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط اکولوژیکی محیط، به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به دست می‌آورند. این امر می‌تواند سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر پرایم‌شده و گیاه حاصل از آن گردد؛ به‌طوری‌که این موارد را می‌توان در چگونگی جوانه‌زنی، استقرار اولیه نبات، بهره‌برداری از نهاده‌های محیطی، زودرسی، افزایش کمی و کیفی محصول مشاهده کرد (McDonald, 2012). لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) یکی از گیاهان خانواده حبوبات بوده که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری آفریقا، آسیا، آمریکای جنوبی، قسمتهایی از جنوب اروپا و ایالت متحده آمریکا کشت می‌گردد (Majnoon Hosseini, 2008). دانه لوبیا چشم‌بلبلی

*نویسنده مسئول: saeed79@gmail.com

محصول دانه در مقایسه با تیمار شاهد افزایش خواهد یافت (Boubaker, 1996).

کیفیت دانه به عنوان یک ابزار مهم توسعه تولید انواع بذر و اصلاح آن مدنظر است. مطالعات قبلی نیز نشان داده که پیش کاشت بذر در غلظت‌های مختلف ایندول استیک اسید (Alonso- Basra et al., 2006) و جیبرلیک اسید (Ramírez et al., 2009) ممکن است به افزایش و یا کاهش رشد گیاهچه منجر شود. با این حال اطلاعات اندکی در مورد چگونگی تأثیر هورمون‌ها بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لوبیا چشم‌بلبلی وجود دارد. بر این اساس، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ اکسین و جیبرلیک اسید بر رابطه برخی خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی و تعیین غلظتی از هورمون که می‌تواند در بهبود عملکرد مؤثر باشد، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه گروه تکنولوژی و علوم بذر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، با هدف تعیین سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لوبیا چشم‌بلبلی رقم کامران تحت تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد اجرا گردید. بذر لوبیا چشم‌بلبلی از مؤسسه بین‌المللی کشاورزی (IITA)^۱، ایستگاه تحقیقات صفی‌آباد دزفول تهیه شد. قبل از شروع آزمایش، بذر در محلول هیپوکلریت سدیم ۱٪ به مدت سه دقیقه استریل شدند و سپس با آب استریل شستشو داده و خشک شدند.

بذر در غلظت‌های مختلف (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ پی‌پی‌ام) هورمون‌های رشد اکسین و جیبرلین برای مدت ۶ و ۱۲ ساعت غوطه‌ور شدند. سپس در پتری‌دیش‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر بر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار داده شده و با محلول‌های ازپیش‌آماده‌شده تیمار شدند. به منظور کاهش تبخیر، دور پتری‌ها با پارافیلیم بسته شد. جوانه‌زنی از روز چهارم شروع شد که در این روز اولین شمارش انجام و تا ۱۰ روز ادامه داشت (Kaur et al., 2005). آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تعداد ۱۰۰ عدد بذر در دو پتری برای هر تکرار در نظر گرفته شد و به ژرمیناتور با دمای $20 \pm 1^\circ\text{C}$ منتقل شدند. شمارش بذر جوانه زده هر ۲۴ ساعت یک‌مرتبه و طول ریشه‌چه و ساقچه در پایان آزمایش از میانگین بذر جوانه زده تعیین شد. بذر با طول ریشه‌چه ۲ میلی‌متر، جوانه زده در نظر گرفته شدند (Gholami et al.,

کننده مثل آلفا آمیلاز، افزایش سطح انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقای عملکرد میتوکندری‌ها باشد (Agrawal, 2004). در بذر پرایم‌شده، عملکرد و ساختار غشای سلولی در مقایسه با بذر شاهد در وضعیت مطلوب‌تری می‌باشد. این موضوع از طریق مطالعه هدایت الکتریکی عصاره بذری قابل بررسی است، به‌طوری‌که تراوش متابولیت‌های درون سلولی از غشای بذر پرایم‌شده کمتر بوده و به تبع آن هدایت الکتریکی عصاره این بذر نیز کمتر می‌باشد. این امر در مورد بذر پرایم‌شده ذرت شیرین، چغندر قند، آلو، تربچه، گندم و جو به اثبات رسیده و می‌تواند توجیهی برای جوانه‌زنی مطلوب‌تر در بذر تیمار شده باشد (Sivritepe & Dourado, 1995).

در بذر پرایم‌شده پاره‌ای تغییرات متابولیکی و بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی تحقق می‌یابد. برای مثال در این بذر بخشی از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها در اثر آنزیم‌ها و واکنش‌های هیدرولیزکننده شکسته شده و آماده شرکت در فرآیند جوانه‌زنی می‌شوند. این مسئله می‌تواند توجیهی برای تسریع جوانه‌زنی و کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی باشد (Kheiri, 2010). بذر پرایم‌شده پس از قرار گرفتن در بستر خود زودتر جوانه‌زده و در پی این امر استقرار در گیاهان حاصل از این بذر سریع‌تر، بهتر و در عین حال یکنواخت‌تر انجام می‌پذیرد. در واقع چنین گیاهی در مقایسه با گیاهان به وجودآمده از بذر تیمارنشده در طی زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش داده و با جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید بخش‌های سبز فتوسنتزکننده به مرحله اتوتروفی می‌رسند. تحقق چنین شرایطی به لحاظ زیستی و اکولوژیکی موقعیت ویژه‌ای به گیاهان حاصل از بذر پرایم‌شده می‌دهد (Kattimani et al., 1991)، به‌طوری‌که این وضعیت امکان بهره‌برداری مناسب‌تر از نهاده‌های محیطی مثل آب، نور و غیره را به گیاه می‌دهد. همین‌طور در اثر این شرایط ممکن است توانایی ذاتی گیاه به لحاظ ویژگی‌های اکولوژیکی حاکم بر این روابط ارتقاء یابد. برآیند این موارد در نهایت می‌تواند منجر به افزایش مدت و سطح فتوسنتزکننده در این گیاهان گردد که متعاقب این امر میزان تثبیت دی اکسید کربن و طبعاً آسمیلات تولیدی و همین‌طور ذخیره هیدروکربن‌های غیرساختاری در اندام مختلف گیاه افزایش یافته و در نتیجه زیست‌توده تولیدی بیشتر خواهد شد. همین‌طور از آنجا که بین زیست‌توده و ذخایر غذایی موجود در پیکره گیاه با تخصیص و قدرت زایشی، ارتباطی تنگاتنگ برقرار است، بر این اساس در گیاهان مورد بحث به شرط عدم وجود محدودیت مخزن،

¹ The International Institute of Tropical Agriculture

2015). سرعت جوانه‌زنی و ضریب یکنواختی خروج از معادلات ۱ و ۲ (Agrawal, 2004) محاسبه شد.

$$GR = \Sigma(n/t) \quad (۱)$$

در این رابطه n تعداد بذرهایی که جدیداً در زمان t جوانه زده و t تعداد روز پس از کشت بذور می‌باشد.

$$CUE = n / \Sigma [(T - t)^2 \times n] \quad (۲)$$

در این معادله CUE : ضریب یکنواختی خروج، T : میانگین زمان جوانه‌زدن از معادله ۳، t : زمان به روز و n : تعداد بذوری که خروج آنها در روز t ام کامل شده است.

$$MGT = (\Sigma nt / \Sigma n) \quad (۳)$$

در این معادله MGT : میانگین زمان جوانه‌زدن، t : زمان به روز و n : تعداد بذوری که خروج آنها در روز t ام کامل شده است.

ارزیابی کمی تیمارها از طریق مقایسه با شاهد انجام گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها تبدیل زاویه‌ای جهت همگن کردن داده‌ها در خصوص بذور جوانه‌زده انجام گرفت.

آزمایش مزرعه‌ای در تابستان سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد واحد شوشتر، با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۵۰ متر از سطح دریا، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. ابتدا بذور لوبیا چشم‌بلبلی در غلظت‌های مختلف (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ پی‌پی‌ام) هورمون‌های رشد اکسین و جیبرلین برای مدت ۶ و ۱۲ ساعت در دمای اتاق (22 ± 2 درجه سانتی‌گراد) نگهداری و سپس از محلول خارج شده و در همان دما خشک شدند (Musa et al., 2001). بذرها ۱۴-۱۰ ساعت پس از خشک شدن در اول تیرماه کاشته شدند. عملیات تهیه زمین شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دو دیسک عمود بر هم، تسطیح، کودپاشی، دیسک مجدد برای زیر خاک کردن کود و ایجاد جوی و پشته به عرض ۵۰ سانتی‌متر توسط شیارساز بود. براساس آزمایش خاک منطقه، مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر به ترتیب به میزان ۳۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌طور همزمان و به‌عنوان کود پایه در مزرعه پخش و زیر خاک قرار گرفت. برداشت مزرعه به صورت دستی و عملکرد با رطوبت ۱۵ درصد انجام شد. اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد ساقه در بوته بر مبنای متوسط ۱۰ بوته محاسبه گردید (Goldani & Rezvani, 2006). برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS و جهت مقایسه میانگین از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

سرعت جوانه‌زنی

تأثیر پرایمینگ بذریه شامل طول دوره خیس‌اندن و نوع هورمون کاربردی و اثرات متقابل تیمارهای کاربردی بر سرعت جوانه‌زنی لوبیا چشم‌بلبلی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین سرعت جوانه‌زنی با ۱۲/۵ عدد بذریه در روز مربوط به تیمار آب مقطر پس از ۶ ساعت خیس‌اندن بود (جدول ۲). از دلایل افزایش سرعت جوانه‌زنی افزایش انتقال مواد غذایی از لپه‌ها به جنین عنوان شده است. مقایسه تیمارها نشان می‌دهد پیش تیمار آب مقطر در فرآیند جوانه‌زنی بذور بهتر عمل کرده است. علت را می‌توان به آگیری سریع‌تر و یا تفاوت در زمان و یا میزان فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرآیند جوانه‌زنی در این تیمار جستجو کرد. نتایج مشابهی مبنی بر برتری تیمار هیدرپرایمینگ بر سایر پیش تیمارهای هورمونی گزارش شده است (Azarnia & Eisvand, 2013). پس از آن غلظت‌های مختلف هورمون جیبرلین طی مدت ۶ ساعت با کاهش ۳۳/۳۶ درصدی (۸/۳۳ عدد بذریه در روز) در جایگاه بعدی نسبت به شاهد قرار گرفتند. البته غلظت ۲۰ ppm جیبرلین طی دوره ۱۲ ساعت خیس‌خوردگی نیز اثر مشابه ۶ ساعت داشت. کمترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار هورمون اکسین با غلظت ۴۰ ppm طی دوره ۶ ساعت خیس‌اندن با ۶۲/۱۶ درصد کاهش نسبت به شاهد (آب مقطر) مشاهده شد (جدول ۲). تنوع قابل توجهی در جوانه‌زنی و دیگر جنبه‌های بررسی شده در این تحقیق بین تیمارها مشاهده شد. بذور تیمار شده با جیبرلین از پتانسیل بیشتری نسبت به بذور تیمار شده با اکسین برخوردار بودند. در تحقیقی مشخص گردید که خیس‌اندن بذرها *Balanitesae gyptica* با جیبرلین موجب بهبود جوانه‌زنی و افزایش سرعت جوانه‌زنی شده است (Schlin et al., 2003).

وزن تر و خشک گیاهچه

اثر تیمارهای زمان و برهمکنش زمان و غلظت بر وزن تر گیاهچه‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن تر گیاهچه به میزان ۱۲/۶۴ میلی‌گرم در غلظت ۶۰ ppm اکسین پس از ۱۲ ساعت به‌دست آمد؛ هرچند اختلاف معنی‌داری را با شاهد و تیمارهای ۲۰ و ۶۰ ppm جیبرلین طی دوره‌های ۶ و ۱۲ ساعت خیس‌خوردگی نشان نداد (جدول ۲). در خصوص وزن خشک گیاهچه‌ها نیز نتایج مشابه وزن تر بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر پرایمینگ هورمونی

Table 1. Analysis of variance (mean square) germination and early growth of cowpea under phytohormones priming

Source of variation	منابع تغییر	درجه آزادی df	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length	یکنواختی خروج Emergence uniformity
Time	زمان	1	2.808 ^x	0.219 ^x	0.211 ^{ns}	617.17 ^{ns}	2.372 ^{ns}	1.426 ^x
Concentration	غلظت	6	0.238 ^x	3.856 ^{ns}	0.26 ^x	4937.8 ^x	38.969 ^x	0.033 ^{ns}
T×C	زمان × غلظت	6	0.333 ^x	1.274 ^x	0.13 ^x	548.83 ^x	8.25 ^x	0.054 ^x
Error	خطا	28	0.156	0.745	0.017	199.887	3.895	0.001
%CV	ضرب تغییرات (درصد)		14.59	11.58	8.75	25.78	18.99	3.74

ns و x: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح پنج درصد

ns and x: Non significant and significant at 5% probability level, respectively

(2002) Chakrabarti & Mukherji همسو است. نقش تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در غلبه بر اثرات مضر بر رشد، ممکن است به دلیل تغییر در تنظیم‌کننده‌های رشد درون‌زا باشد (Kranter *et al.*, 2010). اگرچه در جوانه‌زنی بذور و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت، اما غوطه‌ور کردن بذور با تیمارهای مختلف شاهدهی است بر این‌که غوطه‌ور ساختن می‌تواند جوانه‌زنی و استقرار بذور را بهبود بخشد. کارآیی بهتر گیاهچه‌های حاصل از بذور پیش‌تیمار شده با آب مقطر ممکن است به دلیل حفظ محتوای آب بافت، افزایش در فعالیت آنزیمی اکسیدانی و متابولیسم کربوهیدرات‌ها باشد (Kranter *et al.*, 2010). دلیل برتری پیش‌تیمار ۶ ساعت خیساندن بذور در آب مقطر احتمالاً مربوط به اثر این تیمار در رابطه با انجام سریع‌تر تغییرات بیوشیمیایی در مقایسه با سایر تیمارها بوده است.

یکنواختی خروج ریشه‌چه

اثر تیمارهای زمان و برهمکنش زمان و غلظت بر یکنواختی خروج ریشه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین درصد یکنواختی جوانه‌زنی با ۰/۹۷ درصد مربوط به تیمار آب مقطر پس از ۶ ساعت بود. سپس تیمارهای جیبرلین با غلظت ۲۰ ppm و ۴۰ ppm طی مدت ۶ ساعت به همراه تیمار جیبرلین ۲۰ ppm طی ۱۲ ساعت خیس خوردگی در جایگاه بعدی قرار گرفتند. کمترین درصد یکنواختی نیز در تیمارهای مختلف هورمون اکسین طی دوره ۶ ساعت مشاهده شد که نسبت به شاهد آب مقطر ۶ ساعت کاهش ۴۱/۱۲ درصدی را نشان داد (جدول ۲). در تحقیق (2013) Eisvand & Azarnia بیشترین یکنواختی در جوانه‌زنی بذور نخود مربوط به تیمار پرایمینگ ۱۲ ساعت هورمون ۱۰۰ ppm جیبرلین گزارش شده است.

بدین معنی که بیشترین وزن خشک از برهمکنش غلظت ۶۰ ppm اکسین طی مدت زمان ۱۲ ساعت به مقدار ۱/۸۷ میلی گرم به دست آمد که با تیمارهای شاهد طی زمان‌های ۶ و ۱۲ ساعت و همین‌طور غلظت‌های ۲۰ ppm و ۶۰ ppm جیبرلین طی دوره‌های ۶ و ۱۲ ساعت اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از دلایل افزایش وزن تر و خشک گیاهچه توسط هورمون جیبرلین افزایش در رشد و تقسیم سلولی از طریق تأثیر بر سنتز و فعالیت هورمون اکسین و سیتوکینین ذکر شده است (Ghoreyshizadeh and Mirshekari, 2015).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

اثر تیمارهای غلظت هورمون و برهمکنش زمان و غلظت بر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). کوتاه‌ترین طول ریشه‌چه در تیمار ۲۰ ppm اکسین پس از ۱۲ ساعت خیساندن به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد آب مقطر طی ۶ ساعت کاهش ۵۸/۳۱ درصدی نشان داد (جدول ۲). بیشترین طول ساقه‌چه با ۱۴/۰۷ میلی متر مربوط به تیمار آب مقطر پس از ۶ ساعت بود که با تیمار جیبرلین ۴۰ ppm پس از ۱۲ ساعت در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین طول ساقه‌چه با ۲/۵ میلی متر مربوط به تیمار ۲۰ ppm اکسین پس از ۱۲ ساعت خیساندن بود (جدول ۲). نوسانات مشاهده شده در این خصوص احتمالاً می‌تواند ناشی از تأثیر مدت زمان خیساندن در بیوسنتز هورمون‌های گیاهی و یا به دلیل نوسان و فعالیت آنزیم‌ها باشد. به لحاظ مقایسه، اسید جیبرلیک نسبت به اکسین در افزایش رشد طولی ساقه‌چه و ریشه‌چه مؤثرتر بود. این یافته با تحقیقات (2002) Chakrabarti & Mukherji مطابقت دارد. اطلاعات جدول ۲ نشان داد که اسید جیبرلیک در فعالیت‌های فیزیولوژیکی بذور از اکسین مؤثرتر است. این یافته با گزارش

جدول ۲- اثر متقابل پیش تیمار هورمونی و زمان‌های مختلف بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه لوبیا چشم‌بلبلی

Table 2. Interaction effects of phytohormone priming and soaking time on seed germination and early seedling growth traits of *Vigna unguiculata* L.

هورمون Hormone	مدت زمان (ساعت) Duration (hrs)	غلظت (میلی گرم در لیتر) Concentration (ppm)	سرعت جوانه‌زنی (بذر/روز) Germination rate (Seed/day)	وزن تر گیاهچه (میلی گرم) Seedling fresh weight (mg)	وزن خشک گیاهچه (میلی گرم) Seedling dry weight (mg)	طول ریشه‌چه (میلی متر) Radicle length (mm)	طول ساقه‌چه (میلی متر) Plumule length (mm)	یکنواختی خروج (درصد) Emergence uniformity (%)
اسید جیبرلیک GA ₃	6	20	8.33 ^b	11.46 ^{abcde}	1.75 ^{abcd}	27.17 ^e	5.7 ^{efg}	0.88 ^b
		40	8.33 ^b	10.87 ^{de}	1.6 ^{cde}	30.93 ^{cde}	6.67 ^{ef}	0.83 ^b
		60	8.33 ^b	12.52 ^{ab}	1.86 ^{ab}	20.93 ^f	3.6 ^{ghi}	0.78 ^c
	12	20	8.33 ^b	11.3 ^{abcde}	1.7 ^{abcde}	32.33 ^{cde}	9.67 ^{cd}	0.86 ^b
		40	6.86 ^c	9.42 ^f	1.48 ^e	33.7 ^{cd}	12.5 ^{ab}	0.69 ^d
		60	6.25 ^{cd}	11.98 ^{abcd}	1.76 ^{abcd}	28.37 ^{de}	7.87 ^{de}	0.63 ^d
اکسین IAA	6	20	5.83 ^d	10.27 ^{ef}	1.54 ^{de}	32.43 ^{cde}	5.9 ^{ef}	0.67 ^d
		40	4.73 ^e	11.3 ^{abcde}	1.65 ^{abcde}	19.43 ^f	3.4 ^{hi}	0.57 ^e
		60	5 ^{ef}	10.98 ^{cde}	1.6 ^{cde}	19.07 ^f	3.43 ^{hi}	0.66 ^d
	12	20	5.83 ^d	11.1 ^{bcd}	1.63 ^{bcd}	18.33 ^f	2.5 ⁱ	0.67 ^d
		40	5.83 ^d	12.37 ^{abc}	1.83 ^{abc}	41.8 ^{ab}	11.5 ^{bc}	0.68 ^d
		60	5.83 ^d	12.64 ^a	1.87 ^a	36.67 ^{bc}	8.97 ^d	0.61 ^{de}
شاهد Control	6	—	12.5 ^a	11.26 ^{abcde}	1.64 ^{abcde}	43.97 ^a	14.07 ^a	0.97 ^a
	12	—	6.25 ^{cd}	12.17 ^{abcd}	1.79 ^{abc}	35.37 ^c	5.07 ^{gh}	0.62 ^{de}
LSD=(0.05)			0.829	9.42	0.024	5.737	2.235	0.304

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

The same letters in each column indicate insignificant difference at the P≤0.05 level.

آزمایش مزرعه‌ای

تعداد ساقه و غلاف در بوته

اثر مدت زمان و همین‌طور اثر متقابل زمان در غلظت بر تعداد ساقه معنی‌دار نبود. البته این صفت در سطح آماری پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ (غلظت) قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد ساقه فرعی با ۸/۲ ساقه مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ بود که با تیمار جیبرلین ۲۰ پی‌پی‌ام با ۷/۳ ساقه در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین تعداد ساقه فرعی نیز مربوط به تیمار جیبرلین ۶۰ پی‌پی‌ام با ۴/۸ شاخه بود که با تیمار اکسین ۶۰ ppm اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در تحقیق (Azarnia & Eivand, 2013) کمترین تعداد ساقه فرعی در نخود مربوط به غلظت بالای هورمون جیبرلین (۱۵۰ ppm) و بیشترین تعداد ساقه در تیمار هیدروپرایمینگ گزارش شده است.

اثر مدت زمان و همین‌طور اثر متقابل زمان در غلظت بر تعداد غلاف معنی‌دار نبود (جدول ۳). البته تعداد غلاف در بوته در سطح آماری یک درصد تحت تأثیر تیمارهای غلظت قرار گرفت. هیدروپرایمینگ و پرایمینگ با اسیدجیبرلیک تعداد غلاف را نسبت به تیمار اکسین افزایش دادند. بالاتر بودن سرعت جوانه‌زنی و درصد یکنواختی بالا در تیمار هیدروپرایمینگ که

به‌دنبال آن استقرار سریع‌تر گیاهچه‌ها را به‌دنبال داشته است، منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته شد. برخی تحقیقات نشان داده که هیدروپرایمینگ بذور نخود، ذرت، برنج و گندم موجب خروج سریع‌تر جوانه‌ها، گلدهی زودتر و تحمل بهتر شرایط نامساعد محیطی می‌گردد. در این تحقیقات افزایش عملکرد به تشکیل تعداد غلاف بیشتر نسبت داده شده است (Musa et al., 2001). کاهش معنی‌داری بین ۲۸ تا ۴۷ درصد در اثر اعمال غلظت‌های مختلف تیمار اکسین نسبت به تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد. بین غلظت‌های مختلف تیمار جیبرلین به لحاظ تعداد غلاف اختلاف آماری وجود نداشت. بیشترین و کمترین تعداد غلاف با ۲۶/۵ و ۲۵/۳ به‌ترتیب مربوط به تیمارهای جیبرلین با غلظت ۶۰ پی‌پی‌ام و هیدروپرایمینگ بود (جدول ۴). در تحقیق (Mohtashemi et al., 2016) افزایش عملکرد باقلا در نتیجه پیش‌تیمار هورمونی ناشی از افزایش تعداد غلاف در بوته گزارش شد. در بررسی اثر جیبرلین بر خصوصیات کمی و کیفی گل مریم نیز مشخص شد که جیبرلین موجب افزایش طول ساقه گل‌دهنده، طول خوشه گل‌آذین و نیز موجب تسریع ظهور ساقه گل‌دهنده گردید (Kheiri et al., 2010).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد، اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر پرایمینگ هورمونی

Table 3. Analysis of variance (mean square) yield, component yield, biological yield and harvest index of *Vigna unguiculata* L. under phytohormones priming

شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	وزن ۱۰۰ دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	تعداد ساقه در بوته	درجه آزادی	منابع تغییر	Source of variation
Harvest Index	Biological yield	Grain yield	100 grain weight	Grain pod ⁻¹	Pod plant ⁻¹	Branch.plant ⁻¹	df		
90.02 ^{ns}	125.74 ^{ns}	90.74 ^{ns}	5.77 ^{ns}	0.06 ^{ns}	250.87 ^{ns}	3.76 ^{ns}	2	بلوک	Block
449.4 ^{ns}	395.6 ^{ns}	247.78 ^{ns}	21.05 ^{ns}	0.004 ^{ns}	53.15 ^{ns}	19.02 ^{ns}	1	زمان	Time
129.5 [*]	120.71 ^{**}	110.37 ^{**}	4.45 [*]	0.052 [*]	15.25 ^{**}	2.45 [*]	6	غلظت	Concentration
117.4 ^{ns}	41.17 ^{ns}	18.38 ^{ns}	5.43 ^{ns}	0.048 [*]	40.12 ^{ns}	3.41 ^{ns}	6	زمان × غلظت	T×C
57.6	134.83	22.98	18.2	0.018	21.8	16.4	26	خطا	Error
8.27	9.87	9.36	8.12	9.14	7.23	10.14		ضریب تغییرات (%)	%CV

ns و * و **: به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد

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

تعداد دانه در غلاف

تأثیر مدت زمان بر این صفت معنی دار نبود، اما تیمار غلظت و اثر متقابل غلظت در زمان در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در غلاف با ۱۱/۶۸ مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ بود که با تیمار جیبرلین ۲۰ پی پی ام با ۱۰/۴۸ دانه در غلاف در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). در برخی تحقیقات نشان داده شده است که اعمال غلظت بهینه جیبرلین موجب افزایش گلدهی، تسریع در رسیدگی و افزایش تعداد دانه در نخود شده است. ممکن است که کاربرد جیبرلین موجب افزایش کربوهیدرات‌های قابل دسترس انتقال یافته به دانه شده و از این رو تعداد دانه افزایش یافته است (Kaure et al., 2003; Toker et al., 2004). با افزایش غلظت اکسین تعداد دانه در غلاف کاهش بیشتری یافت، هرچند که این اختلاف معنی دار نبود. بیشترین تغییر نسبت به تیمار هیدروپرایمینگ در تیمار اکسین ۶۰ ppm با ۳۰ درصد کاهش (۸/۱۸ دانه در غلاف) مشاهده شد. اثرات متقابل زمان در غلظت هورمون بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). اثرات کاهش تعداد دانه در غلظت ۶۰ ppm اکسین طی ۱۲ ساعت به مراتب بیش از زمان ۶ ساعت بود (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). به نظر می‌رسد افزایش غلظت هورمون اکسین و یا افزایش دوره خیساندن بر تعداد دانه در غلاف اثر معکوس داشته است. در این رابطه برخی از محققان گزارش نموده‌اند که منحنی عکس‌العمل گیاه به همه هورمون‌های شناخته شده، زنگوله‌ای شکل می‌باشد؛ یعنی در غلظت‌های پایین اثر تحریک‌کنندگی داشته و به حداکثر خود

می‌رسد و در غلظت‌های بالاتر از حد بهینه، اثر بازدارندگی خواهد داشت (Arteca, 1995). علت برتری تیمار هیدروپرایمینگ در رابطه با تعداد دانه در غلاف نیز مربوط به استقرار سریع‌تر و یکنواخت‌تر گیاهچه‌ها و فراهم آمدن فرصت بیشتر جهت پر کردن دانه‌های تشکیل شده می‌باشد.

عملکرد دانه

اعمال تیمار غلظت بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، هرچند که تأثیر مدت زمان و اثر متقابل غلظت در زمان معنی دار نبود (جدول ۳). بیشترین عملکرد مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ با ۳۳۰۹/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که با تیمار ۲۰ پی پی ام جیبرلین با عملکرد ۲۸۹۹/۶ در یک گروه آماری قرار گرفت. علت عملکرد بالاتر در پیش تیمار آب مقطر را باید در شاخص‌های اولیه رشد نظیر سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی جستجو کرد. از آنجا که یکنواختی جوانه‌زنی در رسیدگی همزمان و عملکرد نهایی تأثیر به‌سزایی دارد؛ بالاتر بودن این شاخص‌ها در این تیمار منجر به افزایش عملکرد در مقایسه با سایر تیمارها شده است. افزایش عملکرد در نتیجه هیدروپرایمینگ در گیاهانی مانند ذرت، سورگوم، برنج آپلند و نخود نیز گزارش شده است (Haris et al., 2001). پیش تیمار بذر زیره سیاه با جیبرلین موجب افزایش عملکرد اقتصادی شد. افزایش عملکرد به اندوخته بیشتر مواد غذایی در ساقه‌های بلندتر (ناشی از کاربرد جیبرلین) و انتقال بیشتر آسیمیلات‌ها به دانه عنوان شده است (Babaai et al., 2011). کمترین عملکرد نیز مربوط به تیمار

۴۰ پی‌پی‌ام اکسین با عملکرد دانه ۱۲۵۸/۸ کیلوگرم بود که با تیمار ۶۰ پی‌پی‌ام آن اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). بررسی شاخص‌های اولیه رشد نظیر یکنواختی خروج و سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۴۰ پی‌پی‌ام اکسین پس از ۶ ساعت به ترتیب با ۵۷ درصد و ۴/۷۳ بذریه در روز حاکی از ضعیف‌بودن این مؤلفه‌ها در این تیمار است. استقرار ضعیف‌تر گیاهچه‌ها منجر به کاهش سایر اجزای عملکرد گردیده است، از این‌رو عملکرد در این تیمار کاهش یافته است.

عملکرد زیست‌توده

تأثیر تیمارهای آزمایش بر این صفت مشابه عملکرد دانه بود، به‌طوری‌که اثر تیمار غلظت در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین زیست‌توده با ۶۹۹۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار هیدروپرایمینگ بود که با تیمار ۲۰ و ۴۰ پی‌پی‌ام جیبرلین به ترتیب با ۶۶۴۴ و ۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). تشکیل بیشتر زیست‌توده در این تیمارها را باید به بالاتر بودن میانگین کمی صفاتی نظیر تعداد ساقه در بوته، تعداد غلاف در

بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه نسبت داد. کمترین زیست‌توده نیز در تیمارهای ۴۰ و ۶۰ پی‌پی‌ام اکسین به ترتیب با ۴۳۹۶ و ۴۰۹۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). با افزایش غلظت هورمون، عملکرد زیست‌توده کاهش یافت، البته این کاهش در تیمار اکسین شدیدتر بود. در بررسی اثر جیبرلین بر رشد گیاهچه کنار مشخص گردید که کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلین موجب افزایش وزن خشک کل گیاهچه شد (Abduallahi et al., 2013). پیازهای زعفران زراعی تیمار شده با جیبرلین نیز در مقایسه با شاهد بیشترین مقدار وزن خشک برگ را تولید کردند (Amir Shekari et al., 2007). افزایش ۸۰ درصدی در زیست‌توده بذریه پرایم شده ماش در مقایسه با بذریه پرایم نشده مشاهده شده است (Rashid et al., 2004). افزایشی در فعالیت بافت‌های منطقه مریستمی بذریه لوبیای پرایم شده در نتیجه افزایش فعالیت اسید اینورتاز گزارش شده است که موجب افزایش رشد و زیست‌توده گردید (Kaur et al., 2005).

جدول ۴- اثر اصلی پیش تیمار هورمونی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی
Table 4. Main effect of phytohormone priming on yield and yield components of cowpea

شاخص برداشت (درصد) Harvest Index (%)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg. ha ⁻¹)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg. ha ⁻¹)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100 grain weight (g)	تعداد دانه در غلاف Seed. pod ⁻¹	تعداد غلاف در بوته Pod. plant ⁻¹	تعداد ساقه در بوته Branch. plant ⁻¹	تیمار Treatment
							GA ₃ اسید جیبرلیک (ppm)
42.5 ^{ab}	6644 ^{ab}	2899.6 ^{ab}	22.6a	10.48 ^{ab}	25.2 ^a	7.3 ^{ab}	20
39.3 ^{abc}	5780 ^{abc}	2397.2 ^{abc}	21.5b	9.85 ^b	23.7 ^a	6.2 ^{bc}	40
35.3 ^{bc}	4840 ^{bc}	1732.4 ^{bc}	21b	9.25 ^{bc}	26.5 ^a	4.8 ^c	60
							IAA اکسین (ppm)
34.12 ^{bc}	4660 ^{bc}	1662.4 ^{bc}	21.06b	9.12 ^{bc}	15.5 ^b	6.8 ^{ab}	20
28.8 ^c	4096 ^c	1258.8 ^c	20.64c	8.73 ^{bc}	14.1 ^b	7 ^{ab}	40
35 ^{bc}	4396 ^c	1522 ^c	20.8 c	8.18 ^{bc}	19.3 ^{ab}	6.2 ^{abc}	60
47.2 ^a	6992 ^a	3309.6 ^a	23.5 a	11.68 ^a	25.3 ^a	8.2 ^a	Control شاهد
9.15	1468	897.6	0.9	1.2	4.24	1.32	LSD (0.05)

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

The same letters in each column indicate insignificant difference at the P≤0.05 level.

شاخص برداشت

این صفت تحت تأثیر تیمار مدت زمان و همین‌طور برهمکنش زمان و پرایمینگ قرار نگرفت. البته اثر اعمال تیمار پرایمینگ بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار هیدرو پرایمینگ با ۴۷/۲ درصد و پس از آن تیمارهای ۲۰ و ۴۰ پی‌پی‌ام جیبرلین به ترتیب با ۴۲/۵ و ۳۹/۳ درصد بود که

در یک گروه آماری قرار گرفتند. افزایش شاخص برداشت در نتیجه تیمار هیدروپرایمینگ بذریه می‌تواند ناشی از تحریک بیشتر انتقال مواد پرورده به غلاف‌ها و افزایش عملکرد دانه باشد. کمترین شاخص برداشت نیز در تیمار ۴۰ پی‌پی‌ام اکسین با ۲۸/۸ درصد مشاهده شد (جدول ۴). شاخص برداشت یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های فیزیولوژیکی منعکس‌کننده درصد انتقال

مواد پرورده از اندام‌های رویشی گیاه به دانه می‌باشد (Hussain et al., 2006).

همبستگی بین اجزای عملکرد

ضرایب همبستگی بین اجزا عملکرد در جدول ۵ آمده است. به‌طور کلی و صرف نظر از نوع تیمار اعمال شده، بیشترین میزان همبستگی عملکرد دانه به ترتیب با عملکرد زیستی ($r=0/93$)، شاخص برداشت ($r=0/85$)، وزن ۱۰۰ دانه

($r=0/49$)، و تعداد غلاف در بوته ($r=0/38$) بود. اما همبستگی بین عملکرد و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود ($r=0/25$). تولید عملکرد زیستی بالا و اختصاص درصد بالایی از این تولید به سهم عملکرد دانه (شاخص برداشت) لازمه افزایش عملکرد است. در تحقیقی دیگر، بالاترین مقدار همبستگی مشاهده شده بین صفات مربوط به همبستگی بین عملکرد و تعداد غلاف و سپس با شاخص برداشت بود (Musa et al., 2001).

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی
Table 5. Person correlation coefficient among components yield of cowpea

عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن ۱۰۰ دانه	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته
Grain yield	Biological yield	Harvest Index	100 grain weight	Grain pod ⁻¹	Pod plant ⁻¹
Pod plant ⁻¹				1	تعداد غلاف در بوته
Grain pod ⁻¹				-0.01 ^{ns}	تعداد دانه در غلاف
100 grain weight			1	-0.001 ^{ns}	وزن ۱۰۰ دانه
Harvest Index		1	0.45 ^{**}	0.18 ^{ns}	شاخص برداشت
Biological yield	1	0.59 ^{**}	0.46 ^{**}	0.27 ^{ns}	عملکرد زیستی
Grain yield	0.93 ^{**}	0.85 ^{**}	0.45 ^{**}	0.25 ^{ns}	عملکرد دانه

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که جوانه‌زنی لوبیا چشم‌بلبلی و رشد اولیه گیاهچه‌ها با تیمار قبل از کاشت آب مقطر تسریع شد. غلظت‌های کمتر هورمون جیبرلین (۲۰ پی‌پی‌ام) در القای سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک کل و یکنواختی خروج ریشه‌چه مؤثر بود. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نیز با نتایج آزمایشگاهی همسو بود. برترین تیمار به لحاظ عملکرد و سایر مؤلفه‌های عملکردی تیمار آب مقطر بود و البته این نتایج با تیمار ۲۰ و ۴۰ پی‌پی‌ام جیبرلین تفاوت معنی‌داری نداشت. ضعیف‌ترین نتایج در غلظت بالاتر جیبرلین و اکسین مشاهده شد. در کنار کاربرد هورمون‌های گیاهی، مدت تماس بذر نیز حائز اهمیت است. در بخش آزمایشگاهی بیشترین

یکنواختی و سرعت جوانه‌زنی صرف نظر از اثر غلظت هورمون مربوط به زمان ۶ ساعت بود. افزایش مدت زمان (۱۲ ساعت) احتمالاً به دلیل تجمع بیشتر و افزایش غلظت هورمون، اثر منفی داشت. البته در بخش مزرعه‌ای در خصوص صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در مدت زمان پرایمینگ مشاهده نشد. در این صورت تغییر محیط رشد از اثرات بازدارندگی غلظت بالاتر هورمون‌ها کاسته است. به‌طور کلی، تیمار پرایمینگ آب مقطر به مدت ۶ ساعت در آزمایشگاه و مزرعه تیمار برتر به لحاظ غالب صفات اندازه‌گیری شده در لوبیا چشم‌بلبلی بود؛ از این رو به‌عنوان بهترین ترکیب تیماری در مطالعه حاضر معرفی می‌شود.

منابع

1. Abdullahi, F., Jafari, L., and Gardi Takhti, S.H. 2013. Effect of gibberellin (GA₃) on the growth and chemical composition of Lotus (*Ziziphys spina-christi*) under salt stress. Journal of Process and Plant Operation 2(2): 53-64. (In Persian with English Summary).
2. Agrawal, R.L. 2004. Seed Technology. Oxford and IBH Publishing Co. LTD. New Delhi.
3. Alonso-Ramírez, A., Rodríguez, D., Reyes, D., Jiménez, J.A., Nicolás, G., López-Climent, M., Gómez-Cadenas, A., and Nicolás, C. 2009. Evidence for a role of gibberellins in salicylic acid-modulated early plant responses to abiotic stress in Arabidopsis seeds. Plant Physiology 150(3): 1335-1344.
4. Amir Shekari, H., Soroush Zadeh, A., Modarress Sani, S.A.M., and Jalali Jawaran, M. 2007. The effect of temperature at the root, onion and gibberellin on growth of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 14(5): 96-104. (In Persian with English Summary).

5. Arteca, N.R. 1995. Plant Growth Substances: Principles and Applications. Springer, 352 p.
6. Azarnia, M., and Eisvand, H.R. 2013. Effects of hydro and hormonal priming on yield and component yield of (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Plant Production 6(4): 1-18. (In Persian).
7. Babai, A.R., Rahimzada Khoi, F., and Ahari Zad, S. 2011. The effect of the hormonal treatments on seed yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). 6th National Conference New Ideas in Agriculture. Islamic Azad University of Khorasgan. (In Persian with English Summary).
8. Bajehbaj, A.A. 2010. The effects of NaCl priming on salt tolerance in sunflower germination and seedling grown under salinity conditions. African Journal of Biotechnology 9(12): 1764-1770.
9. Basra, S.M.A., Farooq, M., and Tabassum, R. 2005. Physiological and biochemical aspects of seed vigor enhancement treatments in fine 48 December 2005 rice (*Oryza sativa* L.). Seed Science Technology 3: 29-33.
10. Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Horticulture Science 21: 1105-1112.
11. Chakrabarti, N., and Mukherji, S. 2002. Effect of phytohormone pretreatment on metabolic changes in *Vigna radiata* under salt stress. Journal of Environmental Biology 23: 295-300.
12. Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H., Ahmad, N., and Saleem, B.A. 2007. Osmopriming with salicylic acid improves the germination and early seedling growth of melons (*Cucumis melo* L.). Pakistan Journal of Agricultural Science 44: 529-533.
13. Gholami, S., Salehi, A., and Moradi, A. 2015. Effects of maternal plant nutrition on the absorption of some nutritional elements and germination characteristics of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Seed Science and Technology 4(1): 119-118. (In Persian).
14. Ghoreyshizadeh, M., and Mirshekari, B. 2015 Seed priming with gibberellic acid and kinetin has a major role in speedy germination and vigorous performance of bitter vetch (*Vicia ervilia*). International Journal of Biosciences 6(5): 202-208.
15. Goldani, M., and Rezvani, V. 2006. Effects of different irrigation regimes and planting date on phenology index and growth of three varieties of peas in Mashhad. Sciences and Agriculture 14: 229-224.
16. Harris, D., Pathan, A.K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa W., and Nyamudeza, P. 2001. On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. Agricultural Systems 69: 151-164.
17. Kaur, S., Gupta, A., and Kuar, N. 2003. Gibberellin A₃ reverses the effect of salt stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings by enhancing amylase activity and mobilization of starch cotyledons. Journal of Plant Growth Regulation 26: 85-90.
18. Kaur, S., Gupta, A.K., and Kaur, N. 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science 91: 81-87.
19. Kattimani, K.N., Reddy, Y.N., and Rajeswar Rao, B. 1999. Effect of pre-sowing seed treatment on germination, seedling emergence, seedling vigour and root yield of Ashwagandha (*Withania somnifera* Daunal.). Seed Science of Technology 27: 483-488.
20. Kheiri, A.L., Khalighi, A., Mostoufi, Y., and Naderi, R.A. 2010. The effect of different concentrations of gibberellin and 6-BA on the quantitative and qualitative characteristics of tuberose filled. Journal of Crop Improvement in Agriculture 13(1): 9-20. (In Persian with English Summary).
21. Kranner, I., Roach, T., Beckett, R.P., Whitaker, C., and Minibayeva, F.V. 2010. Extracellular production of reactive oxygen species during seed germination and early growth in *Pisum sativum*. Journal of Plant Physiology 167: 805-811.
22. Majnoon Hoseini, N. 2008. Grain Legume Production. Jihad-e-Daneshgahi of Tehran Publishers. 284pp. (In Persian).
23. McDonald, M.B., 2012. Seed Priming. In: M. Black and J.D. Bewley (Eds.). Seed Technology and Biological Basis, Sheffield Academic Press. England. Chapter 9, p: 287-325.
24. Musa, A.M., Johansen, J., and Kumar, J. 2001. Short duration chickpea to replace fallow after Aman Rice: the role of on-farm seed priming in the high Briand Tract of Bangladesh. Experimental of Agriculture 37: 509-521.
25. Rashid A, Harris, D., Hollington, P.A., and Rafiq, M. 2004. Improving the yield of mung bean (*Vigna radiata*) in the North West Frontier Province of Pakistan using on-farm seed priming. Experimental Agriculture 40(2): 233-244.
26. Sivritepe, H.O., and Dourado, A.M. 1995. The effects of priming treatments on the viability and accumulation of chromosomal damage in aged pea seeds. Annual Botany 75: 165-71.

27. Schelin, M., Tigabu, M., Eriksson, I., Sawadogo, L., and Oden, P.C. 2003. Effects of scarification, gibberelic acid and dry heat treatments on the germination of *Balanite aegyptiaca* seeds from the sudanian savanna in Burkina faso. Seed Science and Technology 31: 605-617.
28. Toker, C., Ulger, S., Karhan, M., Canci, H., Akdesir, O., Ertoy, N., and Cagiran, M.I. 2004. Comparison of some endogenous hormone levels in different parts of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genetic Resources and Crop Evolution 52(3): 233-237.

Effect of seed pre-treatment with auxin and gibberellin on germination and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Darkatanian¹, F. & Saeedipour^{1*}, S.

1. MSc. Student, Science and Seed Technology, Ashtian Branch, Islamic Azad University; f_darkatanian@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

Received: 22 May 2018
Accepted: 23 February 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.72919

Introduction

Cowpea (Leguminosae: Papilionoidae) represents the main food legume and a versatile crop in tropical region. It is drought tolerant and could perform better growth in warm climates. It is most popular in the semi-arid regions of the tropics where other food legumes are available. This crop has been described as the major source of dietary protein in tropical and subtropical regions of the world especially where animal protein consumptions are low. Efforts made to maximize yield, is largely hampered by adverse effect of abiotic stress such as salinity and drought. These effects cause a huge loss due to low yield and failure of the crop to establish in some cases. Alternative approach towards efficient and cost effective means of production of cowpea in the tropical regions is very desirable. Pre-sowing hardening seed treatment is an easy, low cost and low risk technique and also an alternative approach recently used to overcome the effect of abiotic stresses in agricultural production. Increased germination rate and uniformity have been attributed to metabolic repair during imbibition, buildup of germination enhancing metabolites, osmotic adjustment, and, for seeds that are not redried after treatment, a simple reduction in imbibition lag time. The beneficial effects of priming have also been demonstrated for many field crops such as wheat, sugar beet, maize, soybean and sunflower. The main objective was to assess the physiological effect of Indole 3acetic acid (IAA) and gibberellic acid (GA3) on germination and seedling growth of cowpea.

Material and Methods

This experiment was carried out at the Seed Testing Laboratory, Department of Seed Science & Technology, at the Shoushtar University in Iran, with an objective to determine the rate of seed germination and seedling growth which influenced by various concentrations of growth regulators in cowpea (*Vigna sinensis* L.). Seeds of cowpea were obtained from the International Institute of Agriculture (IITA), Safiabad Research Station., Ahvaz, Iran. Before the start of experiment, seeds were surface sterilized in 1% sodium hypochlorite solution for 3 min, then rinsed with sterilized water and air-dried. Moisture content of seed was determined by using oven at 103 C for 12 hrs and was found 12% as recommended value. Different concentrations of the growth substances prepared in the laboratory were transferred from the reagent bottles into 50mls conical flasks which were clearly labelled according to the concentration of the growth substances to be used in the soaking treatment. The seeds were soaked in the various concentrations of 20, 40 and 60 ppm of GA3 and IAA with a separate control set. These were soaked for 6 or 12 hours in the above concentrations and only double distilled water for the control set. The seeds were sown on moist filter papers in 9cm well labelled petri dishes.

Results and Discussion

Emergence rate, root shoot lengths, seedling biomass are all important contributors of seed vigor. Higher emergence rate is the main foundation, which ensures an improvement of overall seedling performance. Seed germination rate varied significantly among the duration and hormone treatment ($P<0.05$). The results showed significant increase in the rate of germination for seeds presoaked in the distilled water when compared with various hormones concentrations. Maximum increase of up to about 25 and 71% in compare to presoaked GA₃ and IAA was observed. The soaking period of 12 hrs decreased the germination rate and uniformity emergence significantly in respect to 6 hrs treatment. Substantial variation on germination and

*Corresponding Author: saeeds79@gmail.com

other aspects were found between treatments. The seeds treated with GA₃ showed better performance, in compare with IAA treatments. In comparison, concentrations of GA₃ did not show any difference in respect

of all measured traits which meant the higher concentration was as good as the lower concentration. Germination rate under the treatments of IAA at all concentrations recorded maximum by 12 hrs soaking. It was observed that for germination enhancement, distilled water was best suited, but in case of plumule length and uniformity emergence, did not show any significant effect with GA₃. When the two hormones were compared, gibberellic acid (GA₃) was observed more effective and responsive to the regulation of radicle and plumule elongation.

Conclusion

The findings of this study revealed that cowpea germination and early seedling growth were promoted by pre-sowing hardening treatments in distilled water. The lower concentration of hormones (20 ppm) was found to be more effective in inducing germination rate, total dry weight and uniformity emergence. Generally, treatment of water priming for 6 hours in the laboratory and in the field was the superior treatment in terms of the predominant criteria measured in bean; therefore, it is presented as the best combination of treatment in this study.

Keywords: GA₃, IAA, Soaking time, Yield

تأثیر استفاده از کودهای زیستی و نانو و کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد کمی و کیفی نخود زراعی (*Cicer arietinum*) در شرایط دیم در منطقه خرم آباد

ام‌البنین حسن پور^۱، خسرو عزیزی^{۲*}، محمد فیضیان^۳ و احمد اسماعیلی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه لرستان، خرم آباد؛ omolbanin.hasanour@yahoo.com

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۳- استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد؛ feizian.m@lu.ac.ir

۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ismaili.a@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲

چکیده

این مطالعه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در شهرستان خرم‌آباد اجرا شد. هدف آزمایش بررسی اثر کود زیستی فسفات بارور ۲، نانوکلات آهن و سوپر جاذب بر عملکرد کمی کیفی نخود زراعی (*Cicer arietinum*) تحت شرایط دیم و بهبود عملکرد نخود دیم تحت تأثیر این تیمارها بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل سوپر جاذب در دو سطح عدم مصرف و مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار، عامل دوم نانوکلات آهن در سه سطح شاهد (محلول پاشی با آب مقطر)، یک و دو در هزار و عامل سوم فسفات بارور ۲ در دو سطح عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ گرم در هکتار بودند. نتایج نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد دانه، شاخص کلروفیل برگ و درصد پروتئین دانه (به استثنای شاخص برداشت و وزن ۱۰۰ دانه) با هم تفاوت معنی داری داشتند. ماده سوپر جاذب با حفظ رطوبت خاک و کمک به عدم آبشویی نیتروژن و نانوکلات آهن با تأمین آهن مورد نیاز برای متابولیسم نیتروژن و همچنین فراهمی فسفر توسط کود زیستی فسفات بارور ۲ با تأثیر بر تثبیت نیتروژن سبب افزایش پروتئین دانه و شاخص کلروفیل برگ شدند. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب متعلق به تیمار ۸۰ کیلوگرم سوپر جاذب، محلول پاشی دو در هزار نانوکلات آهن و مصرف کود زیستی فسفات-بارور ۲ با ۱۶۲۳ و تیمار شاهد (عدم مصرف سوپر جاذب، نانوکلات و کود زیستی) با ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، پلیمر، تنش، عملکرد دانه، کلروفیل برگ

مقدمه

حبوبات به دلیل داشتن پروتئین بالا (تقریباً دو برابر غلات) و توانایی تثبیت زیستی نیتروژن در کشاورزی و تغذیه بشر اهمیت قابل توجهی دارند (Aboutalebian & Elahi, 2015). در بین حبوبات نخود (*Cicer arietinum*) بیشترین سطح زیرکشت را در کشور با حدود ۴۶۳ هزار هکتار که معادل ۴/۰۷ درصد از کل سطح محصولات زراعی می‌باشد، دارد و بیشترین میزان تولید نخود کشور با ۲۷/۹ درصد به استان لرستان تعلق دارد (Anonymous, 2016). در مناطق دیم و به ویژه در نیمه غربی ایران، نخود به دلیل قرار گرفتن در تناوب با گندم و جو دیم، نقش بسیار مهمی در حفظ و بقای کشاورزی این مناطق ایفا می‌کند (Dadkhah et al., 2015). سوپر جاذب‌ها موادی هستند که چندین برابر وزن خود، آب را

جذب و در خود نگهداری می‌نمایند. بنابراین سوپر جاذب‌ها می‌توانند با جذب و نگهداری آب، باعث افزایش آب در دسترس گیاه و در نتیجه افزایش پتانسیل آب گیاه شوند (Fazeli Rostampour et al., 2013). استفاده از سوپر جاذب در حوزه نفوذ به نگهداری آب کمک شایانی می‌کند. آب قابل استفاده در خاک و عوامل مؤثر در میزان آن از نظر کشاورزی اهمیت بسیاری دارد. کمبود مواد آلی و مشکل در تغذیه گیاه یکی از مهم‌ترین مشکلات در زراعت دیم می‌باشد. نحوه تغذیه نخود به صورت مستقیم کیفیت دانه نخود را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سال‌های اخیر لزوم گنجاندن بقولات در تناوب و کاهش کود و سموم شیمیایی مورد توجه محققان و کارشناسان قرار گرفته است. گیاه نخود جهت رشد مطلوب خود نیاز به مواد غذایی ضروری و نیز عناصر کم‌مصرف به خصوص آهن، روی و منگنز دارد (Hamzei et al., 2014). نانوکود کلاته آهن به علت پایداری مناسب و توان آزادسازی کنترل‌ی، پایه کودی مطمئنی

*نویسنده مسئول: azizi.kh@lu.ac.ir

امری ضروری می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود به نظر می‌رسد ترکیب استفاده از پلیمر، کودهای زیستی و کودهای نانو بر عملکرد نخود در این منطقه بررسی نشده است. با توجه خشکسالی‌ها و کم‌آبی‌های اخیر در منطقه خرم‌آباد و همچنین با توجه به نقش پلیمرها در افزایش نگهداری آب در خاک، این پژوهش با هدف مطالعه اثر ماده سوپرجاذب و فسفات بارور ۲ و نانوکلات آهن بر نخود دیم رقم آزاد در شرایط محیطی شهرستان خرم‌آباد در استان لرستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه زراعی در روستای پل‌هرو واقع در شهرستان خرم‌آباد واقع بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی نخود دیم رقم آزاد اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از عامل اول، شامل سوپرجاذب در دو سطح عدم مصرف و مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار، عامل دوم نانوکلات آهن در سه سطح شاهد (محل‌پاشی با آب مقطر)، یک و دو در هزار و عامل سوم فسفات بارور ۲ در دو سطح عدم مصرف و مصرف ۱۰۰ گرم در هکتار بودند. زمین زراعی پیش از کاشت به صورت آیش بود و کاشت در نیمه دوم اسفند ماه انجام گردید. آماده‌سازی زمین با استفاده از دستگاه خاک‌ورز حفاظتی مرکب (شخم، دیسک و ماله) انجام گردید. همچنین قبل از کاشت یک نمونه مرکب از خاک از چند نقطه مزرعه تهیه شد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. کاشت بذرها روی خطوط در عمق ۷-۵ سانتی‌متر و با فاصله روی ردیف هفت سانتی‌متر و بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر (تراکم ۵۰ بوته در مترمربع) انجام گرفت. هر کرت آزمایشی به طول ۵ متر و دارای ۵ خط کاشت بود. فاصله بین کرت‌ها ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ مترمربع در نظر گرفته شد. کود فسفات بارور ۲ از شرکت زیست‌فناور سبز تهیه و بذرهاي نخود در داخل محلول شکر ۲۰ درصد با این کود آغشته و تلقیح شدند و سپس بذرها در سایه خشک شدند. پلیمر سوپرجاذب آکواژوب که از شرکت بشری امین تهیه شده بود نیز قبل از کاشت در عمق ۱۵ سانتی‌متری استفاده شد و روی آن‌ها با خاک پوشانده شد. محلول پاشی نانوکود کلات آهن تهیه شده از شرکت فن‌آوران سپهر پارمیس (با درصد آهن ۱۲ و درصد نیتروژن و روی به ترتیب ۴ و ۱/۵ درصد) در دو مرحله قبل از گلدهی و در زمان غلاف‌دهی صورت گرفت.

برای رهایش آهن می‌باشد. مهم‌ترین راه حفاظت از آهن در برابر افزایش تثبیت در خاک با افزایش (pH) می‌باشد (Jokar & Ronaghi, 2014). بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن و باکتری مزوریزوبیوم بر میزان عملکرد دانه نخود نشان داد که تلقیح بذر نخود با باکتری مزوریزوبیوم و محلول‌پاشی نانوکلات آهن در مرحله گلدهی و یا گلدهی + غلاف‌دهی به ترتیب با (۱۹۴ و ۱۷۱ گرم در مترمربع) توانست بیشترین میزان عملکرد را نسبت به تیمار شاهد (۷۰ گرم در مترمربع) به خود اختصاص دهد (Hamzei et al., 2014). عوارض و پیامدهای زیستی محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی به ویژه کودهای فسفاتی که کارایی جذب پائینی دارند و با اجزای خاک تولید ترکیبات با درجه حلالیت پایین می‌کنند، منجر به ترغیب تولید و مصرف کودهای زیستی شده است. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی باکتری‌های مفید حل‌کننده فسفات است که با اسیدی کردن خاک و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز باعث رهاسازی یون فسفات از ترکیبات فسفردار می‌شود که قابل جذب توسط گیاهان است (Tohidinia et al., 2014). گزارش پژوهش دیگری در مورد بررسی تأثیر مقادیر مختلف کود فسفر، آهن و روی بر نخود زراعی در لرستان نشان داد که تأثیرات اصلی سطوح فسفر، آهن و روی بر عملکرد دانه، تعداد نیام در واحد سطح و وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود (Waziri & Kateh Shouri et al., 2013). اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت خوب و صحیح، با استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد. با توجه به این‌که استان لرستان یکی از مناطق مستعد تولید نخود در سطح کشور بوده و سالانه مقادیر زیادی کود شیمیایی فسفره در این استان مصرف می‌شود، یافتن راهکاری مناسب جهت کاهش هزینه‌ها، حفظ سلامت منابع و محیط زیست و افزایش تولید برای این محصول راهبردی منطقه، امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از اصول مهم مدیریت کشاورزی در مناطق دیم، حفظ رطوبت و استفاده مطلوب از آن می‌باشد، ولی تنش رطوبتی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی در دیم‌زارها است که تولید محصولات کشاورزی را با محدودیت‌هایی روبه‌رو می‌سازد. همچنین از آنجایی که ایران کشوری با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و همواره با مشکل آب روبه‌رو است، بنابراین مشکلات ناشی از تنش خشکی و تأثیر آن بر کاهش عملکرد محصولات مختلف و ارائه راهکارهای مناسب برای تأمین نیاز آبی گیاه دارای اهمیت است. با عنایت به وجود مشکلات فراوان ناشی از مصرف کودهای معمول شیمیایی، به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی و کودهای با قابلیت رهایش کند در کشاورزی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1. Soil physical and chemical properties of experiment location

عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Ec (dS.m ⁻¹)	کربن آلی O.C (%)	آهک T.N.V (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل Total N (%)	روی Zn (mg.Kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg.Kg ⁻¹)	آهن Fe (mg.Kg ⁻¹)	مس Cu (mg.Kg ⁻¹)	بر B (mg.Kg ⁻¹)
0-30	رسی لوم Clay loam	7.84	0.582	0.839	17.5	11.2	265	0.081	0.59	11.07	5.29	0.95	1.22

در هزار در شرایط کاربرد فسفات بارور (۲) بود که با سایر سطوح تیماری تفاوت معنی‌داری داشت و کمترین عملکرد بیولوژیک برابر با ۱۹۸۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). (Allahdadi et al, (2002). گزارش کردند که کاربرد سوپرجاذب موجب افزایش معنی‌دار طول دوره گلدهی در نخود شد و همین امر سبب شد که گیاه با ایجاد تاج‌پوش بزرگ‌تر عملکرد بیولوژیک بیشتری را تولید نماید. بیشترین عملکرد بیولوژیک تیمار S₂ F₃ B₂ را می‌توان چنین استنباط کرد که پلیمرسوپرجاذب با توسعه بیشتر اندام‌های رویشی از طریق جذب رطوبت (شکل‌های ۳ و ۴) و قراردادن آن در اختیار ریشه گیاه و افزایش انتقال مواد از خاک توسط گیاه و همچنین احتمالاً افزایش کارایی فتوسنتز برگ‌ها از طریق افزایش سطح برگ و فعالیت روزنه ها و میزان فتوسنتز باعث تجمع بیشتر ماده خشک شده و از طرفی محلول‌پاشی با نانوکلات آهن از طریق افزایش رشد، تعداد شاخه در بوته و همچنین تعداد دانه در بوته موجبات تشکیل ماده خشک بیشتری را فراهم کردند و نیز افزایش عملکرد ماده خشک را می‌توان به توانایی باکتری‌های حل‌کننده فسفات نسبت داد که در نهایت موجب افزایش فعالیت متابولیکی فسفر در گیاه می‌شوند که در نهایت موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی در گیاه می‌شوند. (Babaeian et al, (2011) نیز افزایش عملکرد بیولوژیک را در اثر استفاده از ماده سوپرجاذب گزارش کردند. همچنین (Hamzei et al, (2014) گزارش کردند که عملکرد بیولوژیک نخود با مصرف محلول‌پاشی نانوکلات آهن در سطح یک درصد معنی‌دار شده است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کاربرد سوپرجاذب، محلول‌پاشی نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ در سطح پنج درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد که

قابل ذکر است که هنگام محلول‌پاشی بین کرت‌ها از یک محافظ پلاستیکی جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها استفاده گردید. عملیات داشت که شامل کنترل علف‌های هرز و مبارزه با آفات هر کدام به موقع بر طبق روش‌ها و دستورالعمل‌های فنی کشاورزی پایدار در مورد نخود صورت گرفت. در پایان فصل رشد تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری شدند. عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه بر اساس سه خط وسط هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای به مساحت ۲/۷ مترمربع تعیین گردید. شاخص برداشت و درصد پروتئین با استفاده از دستگاه NIR^۱ اندازه‌گیری شدند. برای تعیین درصد رطوبت خاک در سطح مزرعه به منظور بررسی تأثیر سوپرجاذب در میزان رطوبت مزرعه بعد از پایان بارندگی به مدت هر ۱۰ روز تا یک هفته قبل از برداشت نهایی نخود از کرت‌های دارای سوپرجاذب و بدون سوپرجاذب خاک به عمق‌های ۱۰-۱۵ و ۲۵-۳۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری شد و پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها در آون قرار داده و وزن خشک آن‌ها و میزان درصد رطوبت وزنی تعیین شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان داد که عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر سوپرجاذب، نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل سوپرجاذب و نانوکلات آهن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج اثرات سه‌گانه نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (معادل ۳۸۸۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار S₂ F₃ B₂ (کاربرد پلیمرسوپرجاذب با محلول‌پاشی نانوکلات آهن به نسبت دو

^۱ Near Infra Red

معادل ۱۶۲۳ و ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار به تیمار S2 F3 B2 (کاربرد سوپر جاذب و فسفات بارور ۲ با محلول پاشی نانوکلات آهن به میزان دو در هزار) و تیمار S1 F1 B1 (شاهد) مربوط بود (شکل ۱).

ترکیبات تیماری S2 F3 B2 هرچند که بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح نخود ایجاد نمود، ولی با ترکیبات تیماری S2 F2 B2 و S1 F3 B2 و S1 F2 B2 تفاوت معنی‌دار آماری از نظر عملکرد دانه نداشت و هر چهار سطح فوق در یک گروه آماری قرار گرفتند که حداکثر و حداقل عملکرد دانه به ترتیب

جدول ۲- میانگین مربعات اثر تیمارهای آزمایشی بر برخی صفات نخود دیم

Table 2. Mean of squares for the effect of experimental treatments on some traits of rainfed chickpea

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	تعداد غلاف در بوته	تعداد شاخه فرعی	پروتئین دانه	کلروفیل برگ
Source of variation	df	Biological yield	Grain yield	Harvest Index	Pod/plant ¹	Number of branches	Seed protein	Chlorophyll leaf
تکرار (Replication)	2	200452.7 ^{ns}	25919.4 ^{ns}	50.215 ^{ns}	7.063 ^{ns}	5.508 ^{ns}	1.980 ^{ns}	35.31*
سوپر جاذب (S)	1	4080400**	228802.7**	233.886**	72.818*	40.96**	8.056**	100.835*
نانوکلات آهن (Fe)	2	2113969**	360186.1**	4.817 ^{ns}	183.853**	13.979**	1.619 ^{ns}	181.217**
(S×Fe)	2	213658.3*	5769.4 ^{ns}	78.180 ^{ns}	22.618 ^{ns}	0.851 ^{ns}	0.170 ^{ns}	2.283 ^{ns}
فسفات بارور (P)	1	1368900**	595469.4**	76.097 ^{ns}	264.604**	18.490**	0.616 ^{ns}	26.197 ^{ns}
(S×P)	1	16900 ^{ns}	11736.1 ^{ns}	33.216 ^{ns}	55.751*	0.001 ^{ns}	0.374 ^{ns}	1.373 ^{ns}
(Fe×P)	2	45858 ^{ns}	58602.7*	40.078 ^{ns}	3.124 ^{ns}	1.226 ^{ns}	1.660 ^{ns}	3.337 ^{ns}
(S×Fe×P)	2	12758.3 ^{ns}	13052.7 ^{ns}	28.762 ^{ns}	7.098 ^{ns}	1.827 ^{ns}	0.385 ^{ns}	1.715 ^{ns}
خطا (Error)	22	61916.4	16325.5	22.995	11.994	2.036	0.849	13.278
ضریب تغییرات CV %	-	8.98	9.99	10.28	12.80	17.52	4.51	6.61

ns، **، * و غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and *: Non significant and significant at probability levels of 1% and 5%, respectively, S: Superabsorbent, Fe: Iron nano-chelate, P: phosphate Barvar-2

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش

Table 3. Mean comparison of interaction effects of measured traits in experiment

تیمار	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	تعداد غلاف در بوته	تعداد شاخه فرعی	کلروفیل برگ
Treatment	Biological yield (kg/ha)	Harvest index (%)	Pod/plant	Number of branches	Leaf chlorophyll
S ₁ F ₁ B ₁	1980h	48.20ab	21.53de	4.868d	48.35d
S ₁ F ₁ B ₂	2240gh	45.33b	23.27cde	7.4cd	49.11cd
S ₁ F ₂ B ₁	2347fgh	46.36ab	23.93cde	7.267cd	54.01abcd
S ₁ F ₂ B ₂	2727def	54.62a	29.80bc	8.067bc	55.55abc
S ₁ F ₃ B ₁	2457efg	45.75ab	27.07bcd	6.933cd	54.74ab
S ₁ F ₃ B ₂	2857cde	54.85a	28.27bc	7.933bc	58.74ab
S ₂ F ₁ B ₁	2353fgh	47.37ab	19.40e	7.133cd	52.68bcd
S ₂ F ₁ B ₂	2637defg	47.63ab	27.40bcd	8.2bc	53.18bcd
S ₂ F ₂ B ₁	3070bcd	42.06b	24.73cde	9.7abc	56.27ab
S ₂ F ₂ B ₂	3450b	44.36b	32.07ab	10.27ab	58.21ab
S ₂ F ₃ B ₁	3250bc	41.35b	29.47bc	8.667bc	59.38ab
S ₂ F ₃ B ₂	3887a	41.74b	37.87a	11.30a	60.88a

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. S₁: عدم مصرف سوپر جاذب، S₂: سوپر جاذب ۸۰ کیلوگرم در هکتار، F₁: عدم مصرف نانوکلات آهن،

F₂: محلول پاشی یک در هزار نانوکلات آهن، F₃: محلول پاشی دو در هزار نانوکلات آهن، B₁: عدم مصرف کود زیستی، B₂: مصرف کود زیستی فسفات بارور ۲

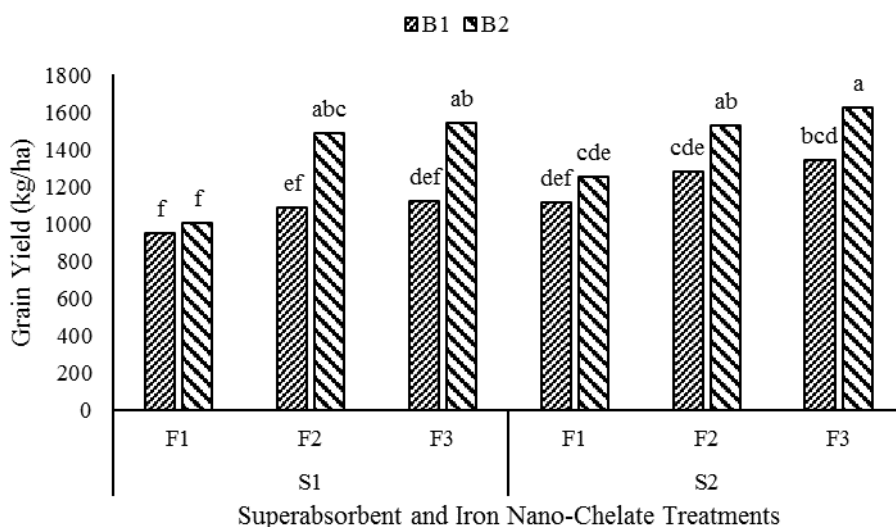
Means within each column with a letter in common are not significantly different at $\alpha=0.0$. S₁: no use of superabsorbent, S₂: superabsorbent application at 80 kg/ha, F₁: no use of iron nano-chelate, F₂: 1/1000 foliar application of iron nano-chelate, F₃: 2/1000 foliar application of iron nano-chelate, B₁: no use of biofertilizer, B₂: application of phosphate Barvar-2 biofertilizer

گیاه، از اثرات منفی خشکی شرایط دیم کاسته است که نتیجه آن افزایش عملکرد نخود دیم بود. (Bakhsh et al, 2007) اثر معنی‌دار کمبود رطوبتی بر کاهش عملکرد دانه نخود را طی مراحل پایانی رشد گزارش نمودند. همچنین میزان درصد رطوبت جذب شده توسط پلیمر سوپر جاذب در شکل‌های ۲ و ۳

بدیهی است که تأمین رطوبت کافی به منظور دستیابی به عملکرد بالاتر دانه ضروری می‌باشد و یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی تعیین‌کننده عملکرد دانه وضعیت رطوبتی خاک است. با کاربرد سوپر جاذب نیز چنین به نظر می‌رسد که هیدروژل سوپر جاذب با جذب آب و با در دسترس قرار دادن آن برای

افزایش سرعت تثبیت دی اکسیدکربن در واحد سطح برگ شده و در نتیجه باعث افزایش هیدرات‌های کربن می‌شود و از آن جایی که در نهایت ذخیره این مواد در دانه صورت می‌گیرد، باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. (Singh et al, (2004 در بررسی اثر غلظت آهن بر روی گیاه نخود دریافتند که با افزایش غلظت آهن مقدار و درصد جذب نیتروژن به صورت معنی‌داری افزایش یافته است.

آمده است که می‌توان اظهار داشت کاربرد سوپرجاذب، نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ بر نخود بدین صورت که سوپرجاذب باعث افزایش جذب آب، مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد به ریشه و کود زیستی فسفات بارور ۲ با کمک به انحلال ترکیب فسفره در خاک و تسهیل جذب آن توسط گیاه و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد گیاهی و استفاده از آهن به عنوان عنصر ریزمغذی به دلیل افزایش فتوسنتز موجب



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل استفاده از سوپرجاذب، کود زیستی و محلول‌پاشی نانوکلات آهن بر عملکرد دانه نخود دیم

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. S1: عدم مصرف سوپرجاذب، S2: سوپرجاذب ۸۰ کیلوگرم در هکتار، F1: عدم مصرف نانوکلات آهن، F2: محلول‌پاشی یک در هزار نانوکلات آهن، F3: محلول‌پاشی دو در هزار نانوکلات آهن، B1: عدم مصرف کود زیستی، B2: مصرف کود زیستی فسفات بارور ۲)

Fig. 1. Mean comparison results of the interaction effects of applicatoion of superabsorbent, biological fertilizer and foliar application of iron nano chelate on grain yield of dry land chickpea

(Means having same letter are not significantly different at $\alpha=0.05$. S1: no use of superabsorbent, S2: superabsorbent application at 80 kg/ha, F1: no use of iron nano-chelate, F2: 1/1000 foliar application of iron nano-chelate, F3: 2/1000 foliar application of iron nano-chelate, B1: no use of biofertilizer, B2: application of phosphate Barvar-2 biofertilizer)

اقتصادی و عملکرد کل می‌باشد. در واقع شاخص برداشت آن نسبت از عملکرد بیولوژیکی است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد. این شاخص معیاری از توزیع و تقسیم مواد آسمیلات در اندام‌های گیاهی به خصوص در دانه است. چنین به نظر می‌رسد که در این تحقیق اثر سه‌گانه تیمارهای سوپرجاذب و نانوکلات آهن و فسفات بارور باعث افزایش ۷۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد، اما در عملکرد بیولوژیک باعث افزایش ۹۶ درصدی نسبت به شاهد شد. از آن جا که شاخص برداشت از کسر عملکرد اقتصادی (دانه) بر عملکرد بیولوژیک حاصل می‌گردد، می‌توان گفت که سوپرجاذب‌ها با دارا بودن قابلیت بالای ظرفیت تبادل کاتیونی قادرند علاوه بر جذب زیاد آب، کاتیون‌های مؤثر و مفید در

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، صفت شاخص برداشت تنها تحت تأثیر فاکتور سوپرجاذب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد که بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمارهای $S_1F_3B_2$ ، $S_1F_2B_2$ (محلول‌پاشی نانوکلات آهن به نسبت ۱ در هزار و ۲ در هزار با کاربرد فسفات بارور ۲ و عدم کاربرد سوپرجاذب) بود و کمترین شاخص برداشت مربوط به تیمار $S_2F_3B_2$ (محلول‌پاشی نانوکلات آهن ۳ در هزار با کاربرد فسفات بارور ۲ و کاربرد سوپرجاذب) بود که البته با سایر تیمارها نیز در یک گروه آمار قرار گرفت (جدول ۲). شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد

رشد گیاه را در خود جذب و با جلوگیری از هدر رفتن آن‌ها این مواد را در موقع لزوم در اختیار گیاه قرار داده و باعث رشد گیاه و ایجاد تاج‌پوشه بزرگ شده و همچنین جذب فسفر توسط گیاه با وجود این که علاوه بر عملکرد اقتصادی بر عملکرد زیستی نیز تأثیر مثبت دارد، ولی تأثیر آن بر افزایش شاخساره و برگ‌ها بیشتر از تأثیر آن بر عملکرد دانه است. از آنجا که تیپ رشدی نخود نامحدود است، لذا این گیاهان دارای مرحله رشد رویشی مشخصی مانند آنچه که در غلات وجود دارد، نمی‌باشد؛ بنابراین در این گیاهان رشد رویشی حتی تا مرحله رشد غلاف‌ها نیز تداوم دارد. نتیجه این ویژگی، وجود رقابت بین اندام‌های رویشی و زایشی برای دریافت مواد فتوسنتزی است که این خصوصیت می‌تواند یک عامل محدودکننده عملکرد باشد. این تأثیر، بیشتر باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود که در نتیجه عملکرد بیولوژیک را نسبت به عملکرد دانه بیشتر افزایش داده و این امر باعث کاهش شاخص برداشت شده است. در واقع تیمارهای که دارای سوپرچاد هستند، عملکرد بیولوژیک بالا و شاخص برداشت پایین‌تری دارند. در دسترس بودن آب در عملکرد بیولوژیک و به دنبال آن عملکرد دانه نخود دیم تأثیر به سزایی دارد، زیرا که عملکرد بیولوژیک دربرگیرنده هر دو جنبه رشد رویشی و زایشی گیاه می‌باشد (Ghayour et al., 2005). می‌توان چنین استنباط کرد که رابطه معکوس و معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت وجود دارد. Salehi et al, (2007) نیز رابطه معکوس و معنی‌داری بین شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک گزارش کردند.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد غلاف در بوته نشان داد که اثرات اصلی نانوکلات آهن و فسفات بارور در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی سوپرچاد و اثر متقابل سوپرچاد و فسفات بارور در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته نخود به تیمار $S_2 F_3 B_2$ (تیمار کاربرد سوپرچاد و فسفات بارور ۲ در شرایط کاربرد محلول پاشی آهن به مقدار ۲ در هزار) با تعداد ۳۷/۸۷ عدد مربوط بود و کمترین تعداد غلاف بوته با تعداد ۱۹/۴۰ عدد به تیمار $S_2 F_1 B_1$ (کاربرد سوپرچاد با عدم کاربرد محلول پاشی نانوکلات و فسفات بارور) مربوط بود که با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳). تیمار $S_2 F_3 B_2$ نسبت به شاهد سبب افزایش ۷۵ درصد تعداد غلاف در بوته شد. غلاف‌ها از یک طرف دربرگیرنده تعداد دانه‌ها بوده و از طرف دیگر تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها و تعیین‌کننده

وزن آن‌ها هستند. با توجه به این که تعداد غلاف در بوته در اغلب حبوبات از جمله نخود حساس‌ترین جزء عملکرد نسبت به کمبود رطوبتی است، می‌توان بالا بودن تعداد غلاف در بوته تیمار $S_2 F_3 B_2$ را چنین استنباط کرد که کاربرد سوپرچادها علاوه بر جلوگیری از نوسانات رطوبتی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موجود در خاک با جلوگیری از شست‌وشوی سریع آن‌ها و محلول‌پاشی نانوکلات آهن در مرحله گلدهی به دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف، از طریق افزایش آسمیلات‌ها، به واسطه نقشی که این عنصر در فتوسنتز دارد و نیز مصرف کود فسفات بارور ۲ با باکتری‌های حل‌کننده فسفات، راندمان جذب عناصر غذایی خاک به‌ویژه فسفر را افزایش داده که در نتیجه باعث می‌شوند که اکثر گل‌های شکوفا بدون ریزش تبدیل به غلاف شوند و در مجموع تعداد غلاف در بوته نخود را افزایش می‌دهد. تأثیر کمبود آب بر کاهش تعداد غلاف در بوته نخود توسط Hosseini et al, (2009) گزارش شده است. شاید تفاوت تعداد غلاف در بوته در بین تیمارهای شاهد و تیمار $S_2 F_1 B_1$ و سایر تیمارهایی که در یک رده قرار دارند، مربوط به وضعیت متفاوت تغذیه‌ای و مقادیر متفاوت عناصر قابل دسترس بوته در بین تیمارهای اعمال‌شده باشد. اگر در طول مراحل رشد و نمو گیاه، آب و عناصر غذایی به مقدار کافی و در زمان مورد نیاز در اختیار گیاه قرار گیرد، گیاه با جذب آن‌ها و افزایش مقدار رشد رویشی خود، زمینه را برای رشد زایشی مناسب فراهم خواهد کرد و اجزای عملکرد مطلوبی را به‌وجود می‌آورد. همچنین برخی پژوهش‌گران کاربرد نانو کود در دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی را بهترین تیمار گزارش کردند (Mahmoudi et al., 2005).

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج نشان داد که اثرات اصلی سوپرچاد، نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ بر تعداد شاخه فرعی در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد شاخه فرعی به ترتیب معادل ۱۱/۳۰ و ۴/۸ عدد به تیمار $S_2 F_3 B_2$ (کاربرد سوپرچاد، نانوکلات آهن به همراه فسفات بارور) و تیمار $S_1 F_1 B_1$ (شاهد) مربوط بود. همچنین تیمار $S_2 F_3 B_2$ با تیمارهای $S_2 F_2 B_1$ و $S_2 F_2 B_2$ در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). تولید شاخه فرعی از طریق تأثیر بر رشد، تعداد و وضعیت ساختارهای زایشی گیاه بر عملکرد دانه اثر می‌گذارد و دارای اهمیت زیادی است (Torabi Jafroudi et al., 2006). اگر تأمین مواد غذایی خاک کم باشد، به علت اولویت ساقه اصلی جهت تغذیه، شاخه‌دهی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر

اگر مقدار زیادی مواد غذایی وجود داشته باشد، شاخه‌های جانبی بیشتر رشد می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که تیمار $S_2F_3B_2$ با کاربرد همزمان سوپرجاذب و نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ بدین صورت که سوپرجاذب با افزایش جذب آب، مواد غذایی و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موجود در خاک و جلوگیری از شست و شوی سریع آن‌ها و انتقال بهتر این مواد به ریشه و از طرفی محلول‌پاشی نانوکلات آهن، عناصر غذایی نظیر نیتروژن نقش عمده‌ای در فعالیت‌های بیوشیمیایی و بهبود فرآیندهای فتوسنتزی برگ‌ها داشته و در نتیجه ظرفیت فتواسیمیلات‌ها و انتقال آن را به حداکثر رسانده، همچنین میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات با انحلال فسفر نامحلول و افزایش مقدار فسفر در دسترس برای باکتری همزیست، باعث افزایش تثبیت نیتروژن در گره‌های ریشه‌ای و در نتیجه افزایش رشد بخش هوایی گیاه به خصوص تعداد شاخه فرعی می‌شوند. برخی محققان اظهار داشتند که صفت تعداد شاخه فرعی در بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر افزایش عملکرد دانه در شرایط دییم دارد (Kanouni & Malhotra, 2003). Ghorbani et al, (2013) گزارش نمودند که اثر پیش تیمار بذر و سوپرجاذب تعداد شاخه فرعی نخود را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. تحقیقات دیگر نشان داد که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش تعداد شاخه فرعی در گیاه زراعی عدس می‌شود (Sahu et al., 2002) که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. به عبارتی این آزمایش نشان داد که با افزایش تعداد شاخه فرعی بعضی از اجزای عملکرد دانه (تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته) افزایش و بعضی دیگر از اجزای عملکرد دانه مانند وزن ۱۰۰ دانه کاهش می‌یابد. محققان دیگر نیز وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین تعداد شاخه فرعی عملکرد دانه را گزارش کردند. به نظر می‌رسد وجود تعداد شاخه فرعی زیاد، منجر به افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته می‌شود.

پروتئین دانه

نتایج نشان داد که در بین فاکتورهای مورد استفاده، تنها اثر اصلی سوپرجاذب بر پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان داد که حداکثر میزان پروتئین دانه برابر با $21/86$ درصد مربوط به تیمار $S_2F_3B_2$ (کاربرد سوپرجاذب، محلول‌پاشی با نانوکلات آهن به نسبت دو در هزار همراه با فسفات بارور ۲) بود که با سایر تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفت و حداقل پروتئین دانه برابر با $19/36$ درصد از تیمار شاهد $S_1F_1B_1$ به‌دست آمد (شکل ۲). نقش کاربرد همزمان

تیمارهای این تحقیق در افزایش پروتئین نخود را می‌توان چنین استنباط کرد که کاربرد سوپرجاذب سبب افزایش دسترسی گیاه به آب و در نتیجه نگهداری آب بیشتر درون بافت‌ها به خصوص بافت برگ می‌شود. این امر موجب افزایش توان فتوسنتزی در گیاه و به تبع آن عملکرد دانه بالاتر می‌شود و در نهایت می‌تواند میزان عملکرد پروتئین دانه را نیز که تابعی از عملکرد دانه است، بالا ببرد. همچنین سوپرجاذب از آبشویی عناصر از جمله نیتروژن جلوگیری می‌کند و از آن جا که نیتروژن یک جزء لازم ساختمانی اسیدهای آمینه و آمیدها، پروتئین، نوکلئوتیدها و نوکلئوپروتئین‌ها می‌باشد (Shirani-Rad, 2005) می‌توان گفت که سوپرجاذب‌ها در افزایش پروتئین دانه مؤثر هستند. محلول‌پاشی با نانوکلات آهن با توجه به این که عنصر آهن یکی از مهم‌ترین عناصری است که در متابولیسم نیتروژن و در نتیجه افزایش سطح برگ گیاه نقش دارد و از آنجا که برای تثبیت نیتروژن انرژی فراوان مورد نیاز است و این انرژی با وجود فسفر کافی و ATP فراوان تأمین می‌شود (Olivera et al., 2004)، بنابراین فراهمی فسفر توسط کود زیستی فسفات بارور با تأثیر بر تثبیت نیتروژن سبب افزایش پروتئین می‌شود. همچنین گزارش شده است که آهن در سنتز پروتئین نقش دارد و از آنجایی که نقش آهن در سنتز پروتئین همراه با کلروفیل می‌باشد، کمبود آهن سبب کاهش کلروفیل و در نتیجه منجر به کاهش درصد پروتئین می‌شود (Davrynejad et al., 2010).

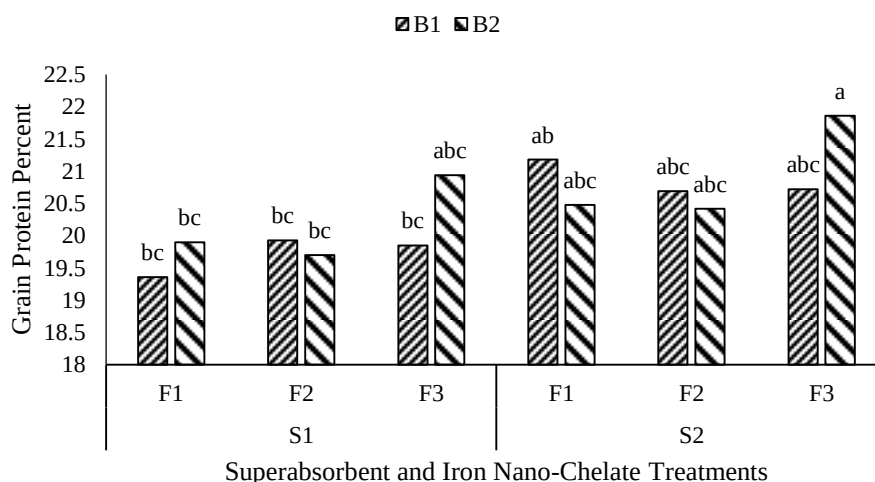
کلروفیل برگ

نتایج در خصوص صفت شاخص کلروفیل برگ نشان داد که اثر اصلی نانوکلات آهن و اثر اصلی سوپرجاذب به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج اثرات سه‌گانه نشان داد که بیشترین شاخص کلروفیل مربوط به تیمار $S_2F_3B_2$ (کاربرد سوپرجاذب، محلول‌پاشی با نانوکلات آهن به نسبت دو در هزار همراه با فسفات بارور ۲) با مقدار $60/88$ و کمترین شاخص کلروفیل مربوط به تیمار $S_1F_1B_1$ (شاهد) با مقدار $48/35$ بود (جدول ۳). Zhao et al, (2007) عنوان کردند که شاخص کلروفیل در واحد سطح برگ گیاهان ژنتیکی بوده، ولی به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی نیز قرار می‌گیرد. تخریب غشاهای تیلاکوئیدی کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از جمله دلایل کاهش کلروفیل در شرایط کمبود رطوبت گزارش

^۱ Adenosine Triphosphate

به نقش آهن در ساخت کلروفیل، محلول پاشی با نانوکلات آهن، باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده، لذا کربوهیدرات‌های بیشتری به ریشه‌ها منتقل شده، بنابراین رشد و جذب عناصر غذایی توسط ریشه زیاد می‌شود و در نتیجه غلظت عناصر در گیاه افزایش می‌یابد. (Mir (2014) نیز گزارش کرد که محدوده کمبود عنصر غذایی آهن با افزایش عنصر آهن شاخص کلروفیل برگ نیز افزایش می‌یابد که با نتایج به دست آمده از این آزمایش مطابقت دارد.

شده است (Alonso *et al.*, 2001). بنابراین با کاربرد سوپرجاذب میزان فرایندهای تخریب‌کننده کلروفیل کاهش یافته و در نتیجه میزان شاخص کلروفیل برگ با کاربرد سوپرجاذب افزایش می‌یابد. کمبود آهن منجر به کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل و کاروتنوئید در واحد سطح برگ می‌شود و به دنبال آن میزان فتوسنتز برگ به دلیل کاهش تعداد واحدهای فتوسنتزی و همچنین کاهش کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی دچار کاهش می‌شود. با توجه



شکل ۲- اثرات متقابل استفاده از سوپرجاذب، کود زیستی و محلول پاشی نانوکلات آهن بر درصد پروتئین دانه نخود دیم

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، در سطح $\alpha=0.05$ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. S1: عدم مصرف سوپرجاذب، S2: سوپرجاذب ۸۰ کیلوگرم در هکتار، F1: عدم مصرف نانوکلات آهن، F2: محلول پاشی یک در هزار نانوکلات آهن، F3: محلول پاشی دو در هزار نانوکلات آهن، B1: عدم مصرف کود زیستی، B2: مصرف کود زیستی فسفات بارور ۲

Fig. 2. The interaction effects of applicatoion of superabsorbent, biological fertilizer and foliar application of iron nano chelate on grain protein percent of dry land chickpea

Means having same letter are not significantly different at $\alpha=0.05$. S1: no use of superabsorbent, S2: superabsorbent application at 80 kg/ha, F1: no use of iron nano-chelate, F2: 1/1000 foliar application of iron nano-chelate, F3: 2/1000 foliar application of iron nano-chelate, B1: no use of biofertilizer, B2: application of phosphate Barvar-2 biofertilizer

پایداری خاکدانه‌ها و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر، کاهش نیاز آبی گیاه و کاهش میزان تبخیر آب از سطح خاک منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند. به نظر می‌رسد با افزودن پلیمرسوپرجاذب به خاک ظرفیت نگهداری آب در خاک بالا می‌رود و گیاه برای مدت طولانی‌تری به آب دسترسی دارد که نمودارهای ۱ و ۲ نیز بیانگر وجود رطوبت در عمق‌های مختلف می‌باشد. پلیمرسوپرجاذب سرعت نفوذ، تراکم، فشردگی و بافت خاک و همچنین پایداری خاک دانه‌ها و در نتیجه سرعت تبخیر را به طور موثری تحت تأثیر قرار می‌دهند (Aboutalebian & Elahi, 2015). با توجه به میزان بارندگی و همچنین ارتفاع ۱۷۴۰ متری محل آزمایش از سطح دریا و میزان رطوبتی که در ماه خرداد سال اجرای آزمایش

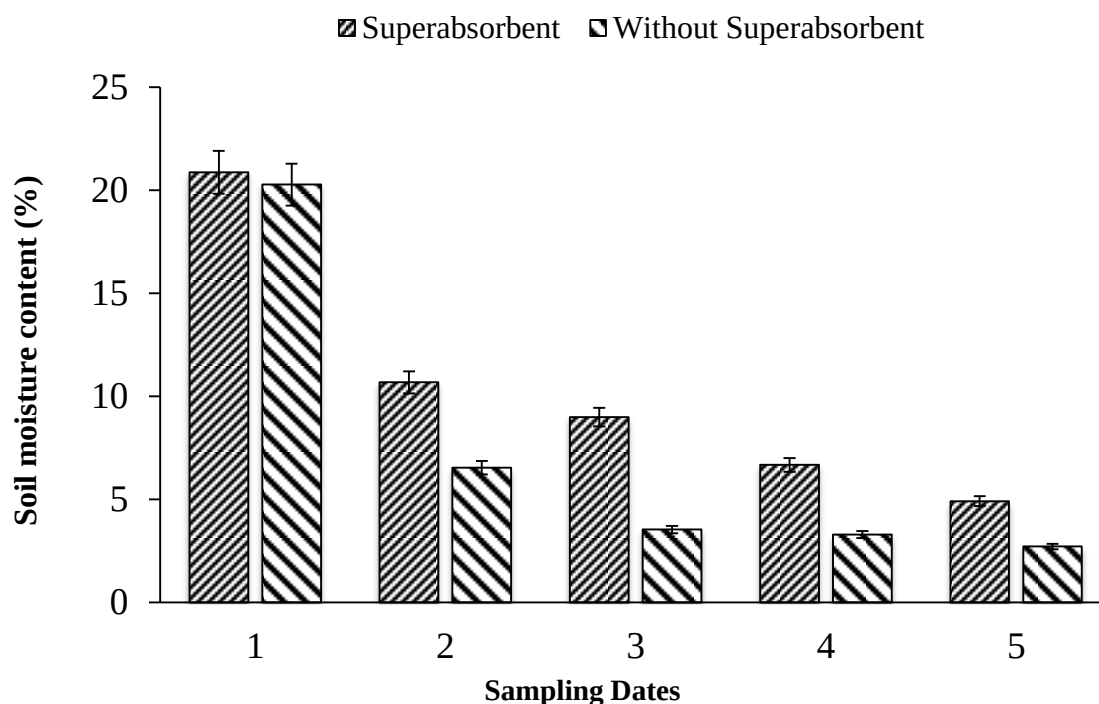
درصد رطوبت خاک

در شرایط دیم، معمولاً بخش‌های فوقانی پروفیل خاک که تراکم ریشه در آنجا بیشتر است، با خشکی مواجه می‌شود، ولی با این وجود گیاه قادر است به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه دهد. در این حالت، بخش‌های زیرین خاک که تراکم ریشه در آن‌ها کمتر ولی دارای رطوبت مناسبی هستند، رطوبت را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. در کشاورزی از پلیمرسوپرجاذب به عنوان یک ماده افزودنی به خاک به عنوان مخزن عناصر غذایی و نیز به عنوان جاذب آب در خاک استفاده می‌شود. سوپرجاذب‌ها علاوه بر نگهداری آب به علت تغییر حجم مداوم (انبساط به هنگام تورم و انقباض به هنگام از دست دادن آن) میزان هوا را نیز در خاک افزایش می‌دهند (Eubeler *et al.*, 2010) و سبب بهبود دانه‌بندی و ساختمان خاک و نیز افزایش قابلیت

بین مصرف پلیمر سوپرجاذب و افزایش آب در دسترس گیاه، نتایج نشان داد که با مصرف سوپرجاذب، آب به میزان ۱۰/۶۸ درصد بیشتر نسبت به شاهد در خاک باقی می‌ماند (Wu et al., 2007). سوپرجاذب‌ها با ذخیره کردن آب به میزان چندین برابر وزن خود و قراردادن آب بصورت تدریجی در اختیار گیاه و همچنین با افزایش پتانسیل آب خاک تنش رطوبتی را کاهش می‌دهند (Allah Dadi, 2002). سوپرجاذب‌ها در شرایط یونی و میکروبی خاک به آرامی تجزیه می‌شوند و سرانجام به آب، دی اکسید کربن و ترکیبات نیتروژن دار غیرسمی از جمله آمونیاک تبدیل شده و در آخر به ماده آلی خاک اضافه می‌شوند (Eubeler et al., 2010).

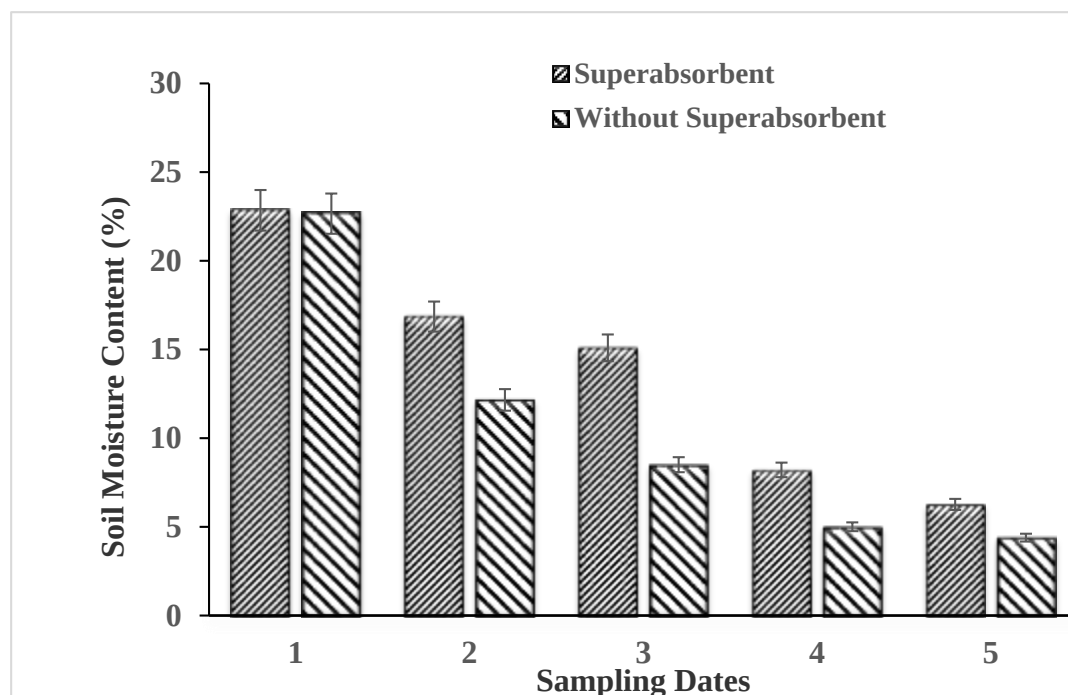
وجود داشت، درصد رطوبت در عمق ۱۵ سانتی متری (شکل ۳) نشان داد که خاک‌هایی که حاوی سوپرجاذب هستند، درصد رطوبت بیشتری نسبت به عدم کاربرد سوپرجاذب داشتند. در عمق ۲۵ سانتی متری نیز با توجه به این که میزان رطوبت در اعماق پایین تر بیشتر است، پلیمر سوپرجاذب نیز رطوبت بیشتری نسبت به خاک‌های بدون کاربرد سوپرجاذب داشتند (شکل ۴).

Ghayour et al (2005) طی بررسی تأثیر پنج نوع ماده سوپرجاذب بر ظرفیت نگهداری آب در بافت های مختلف خاک بیان نمودند که مصرف ۴ و ۸ گرم پلیمر PR3005A به ترتیب منجر به افزایش دو و چهاربرابری مقدار رطوبت قابل دسترس گیاه در یک خاک لوم گردید. در تحقیق دیگری در مورد رابطه



شکل ۳- مقایسه کاربرد و عدم کاربرد سوپرجاذب در میزان درصد رطوبت خاک در عمق ۱۵ سانتی متری خاک (۱: اول خرداد، ۲: نهم خرداد، ۳: نوزدهم خرداد، ۴: سی و یک خرداد و ۵: دوازدهم تیر سال ۱۳۹۵).

Fig. 3. Comparison of application and non-application of superabsorbent in soil moisture content at 15 cm depth (1: 21st May, 2: 29th May, 3: 08 June, 4: 20 June, 5: 02 July 2016)



شکل ۴- مقایسه کاربرد و عدم کاربرد سوپرجاذب در میزان درصد رطوبت خاک در عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک

(۱: اول خرداد، ۲: نهم خرداد، ۳: نوزدهم خرداد، ۴: سی و یک خرداد و ۵: دوازدهم تیر سال ۱۳۹۵)

Fig. 4. Comparison of application and non-application of superabsorbent in soil moisture content at 25 cm depth (1: 21st May, 2: 29th May, 3: 08 June, 4: 20 June, 5: 02 July 2016)

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد اثرات سه‌گانه تیمارها بر برخی صفات کمی و کیفی نخود تأثیر مثبت دارند، به‌طوری‌که از نظر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه فرعی، کلروفیل برگ و پروتئین دانه تیمار $S_2F_3B_2$ نسبت به سایر تیمارها برتری داشت. البته کاربرد سوپرجاذب و نانوکلات آهن و فسفات بارور ۲ بر میزان شاخص برداشت تأثیر چندانی نداشت و می‌توان گفت که پلیمرسوپرجاذب با افزایش قابلیت نگهداری رطوبت خاک و با تقلیل اثرات تنش خشکی و محلول‌پاشی با نانوکلات آهن در مرحله گلدهی و غلاف‌دهی به

منابع

1. Aboutalebian, M.A., and Elahi, M. 2015. Replacement of phosphate fertilizer application by bio-fertilizers in chickpea production under on-farm seed priming conditions. Iranian Journal of Filed Crop Science 46(3): 11-21. (In Persian with English Summary).
2. Allah Dadi, A. 2002. Effect of application of superabsorbent hydrogels on reducing drought stress in plants. Proceedings of the Second Specialized Course-Application of Agricultural and Industrial Applications of Super Deposits Hydrogels, Iran Polymer and Petrochemical Research Institute.

3. Alonso, R., Elvira, S., Castillo, F.J., and Gimeno, B.S. 2001. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant, Cell and Environment* 24: 905-916.
4. Anonymous. 2016. Agriculture Agricultural Census, 2015-16. First Edition.
5. Babaeian, M., Tavassoli, A., Ghanbari, A., Esmaeilian, Y., and Fahimifard, M. 2011. Effect of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield components in sunflower (Alstar cultivar) under water stress at three stages. *African Journal of Agricultural Research* 6(5):1204-1208.
6. Bakhsh, A., Malik, S.R., Mohammad, A., Umer, I., and Haqqani, A.M. 2007. Response of chickpea genotypes to irrigated and rainfed conditions. *International Journal of Agricultural Biology* 9: 590-593.
7. Dadkhah, N., Ebadi, A., Parmoon, G.H., Ghilpoori, A., and Jahanbakhsh, S. 2015. Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation. Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation. *Iranian Journal of Crop Production* 2(2): 201-141.
8. Davrynejad, G.H., Azizi, M., and Akheratey, M. 2010. Effect of foliar nutrition on quality, quantity alternate bearing of Pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Horticultural Sciences* 23(2): 1-10. (In Persian with English Summary).
9. Eubeler, J.P., Bernhard, M., and Knepper, T.P. 2010. Environmental biodegradation of synthetic polymers II. Biodegradation of different polymer groups. *TrAC Trends in Anal. Chemistry* 29: 84-100.
10. Fazeli Rostampour, M. 2013. The effect of irrigation regimes and polymer on several physiological traits of Fovage Sovghum. *Asian Journal of Agriculture and Food Science* 1(5): 274-280.
11. Ghayour, F.A., Eskandari, Z., and Sherbaaff, A.H. 2005. Comparison of several moisture absorbent materials on storage capacity and soil water potential. 9th Iranian Soil Science Congress, Soil and Water Conservation Research Center of Tehran, Tehran, Iran.
12. Ghorbani, A., Jalilian, J., and Amirnia, R. 2013. The Effects of seed priming and superabsorbent on some quantity and quality characteristics of Kaboli chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Crop Research* 1(1): 53-44.
13. Hamzei, J., Tejjari, S., Sadeghi, F., and Seyedi, M. 2014. Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. *Journal of Iranian Bean Studies* 5(2): 18-29.
14. Hosseini, N.M., Palta, J.A., Berger, J.D., and Siddique, K.H. 2009. Sowing soil water content effect on chickpea (*Cicer arietinum* L.): Seed ling emergence and early growth interaction with genotype and seed Size. *Agricultural Water Manay* 96: 1732-1736.
15. Jokar, L., and Ronaghi, A. 2016. Effect of spraying various iron levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. *Journal of Greenhouse Science and Technology* 6(22): 173-163.
16. Kanouni, H., and Malhotra, R.S. 2003. Genetic variation and relationships between traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under dryland conditions. *Iranian Journal of Crop Science* 5(3): 185-191. (In Persian with English Summary).
17. Mahmoudi, A., Labidi, S., Lcsouri, N., Gharasli, M., and Abdelly, R. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of chickpea varieties and Fe resupply effects. *Comptes Rendus Biologies* 330: 237- 246.
18. Sahu, J.P., Singh, N.P., Kaushik, M.K., Sharma, B.B., and Singh, V.K. 2002. Effect of Rhizobium, phosphorus and potash application on the productivity of lentil. *Indian Journal of Pulse Research* 15 (1): 39-42.
19. Mir, Y. 2014. Effect of solubility of various amounts of iron nano-chelate fertilizer (Khazra) on quantitative and qualitative yield of chickpea cultivars. Master's Degree of Lorestan University. 88 p.
20. Olivera, M., Tejera, N., Iribarne, C., and Liunch, C. 2004. Growth, nitrogen fixation and ammonium assimilation in common bean (*Phaseolus vulgaris*): effect of phosphorus. *Physiologia Plantarum* 121(3): 498-505.
21. Salehi, M., Haghazari, A., Shekari, F., and Balsini, H. 2007. Evaluation of relationship between different traits in lentils (*Lens culinaris* Medik). *Journal of Water and Soil Science* 11(41):205-216.
22. Shirani Rad, A.H. 2005. Plant Physiology. Institute of Cultural and Artistic Studies, Tehran, Tehran. 358p.
23. Singh, M., Chaudhary, Sharma, S.R., and Rather, M.S. 2004. Effect of same micronutrients on content and uptake by chickpea (*Cicer arietinum*). *Agricultural Science Digest* 24(4): 268-2700.
24. Tohidinia, M.A., Mazaheri, D.S., Bagher-Hosseini, M., and Madani, H. 2014. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield and yield components of maize (*Zea mays* cv. SC704). *Journal of Agricultural Sciences of Iran* (4): 295-307. (In Persian with English Summary).

25. Torabi Jafrodi, A., Hasanzadeh, A., and Fayaz Moghaddam, A. 2006. Effect of plant population on some of morphophysiological charactersitics of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Pajuhsh and Sazandegi 74: 63-71. (In Persian with English Summary).
26. Waziri Kate Shouri, S.M., Daneshvar, A., and Nazarian Firouzabadi, F. 2013. Effect of different P and P and Zn spraying on grain yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agronomy and Agriculture 15(17): 2-30.
27. Wu, L., Liu, M., and Liang, R. 2007. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and wáter-retention. Bioresource Technology 99: 547-554.
28. Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll flurescence, and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Science 47: 123-131.

Study the effect of Phosphate Barvar-2 Biofertilizer, Iron Nano-Chelate and Superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions

Hasanpour¹, O., Azizi^{2*}, Kh., Feizian³, M. & Ismaeili⁴, A.

1. MSc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad; omolbanin.hasanour@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad
3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad; feizian.m@lu.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad; ismaili.a@lu.ac.ir

Received: 3 July 2018
Accepted: 3 March 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.70978

Introduction

Pulses have great contribution in human nutrition and agriculture due to having high protein content (nearly 2-fold more than cereals) and ability to biological nitrogen fixation. Pulses cultivation in dry lands requires some management issues like using superabsorbent and best nutrition managements in dry farming conditions. Superabsorbent are materials that absorb and hold water several times more than their weight, therefore they could increase plant available water and consequently could increase plant water potential. Due to importance of polymers in improving soil water holding capacity, present study was conducted with the aim of study the effect of phosphate Barvar-2 biofertilizer, iron nano-chelate and superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions.

Material and Methods

Present study was conducted during 2015-2016 cropping year in a land located in Pole-Hero village, Khorram Abad town. The aim of this study was to evaluate the effect of phosphate Barvar-2 biofertilizer, iron nano-chelate and superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions. The study was conducted as factorial based on completely randomized design with three factors and three replications. The first factor was superabsorbent at two levels including S1 (without application) and S2 (80 kg/ha), the second factor was iron nano-chelate in three levels including F1 (foliar application of distilled water), F2 (1/1000) and F3 (2/1000) and third factor was phosphate Barvar-2 in two levels including B1 (non-application) and B2 (100 g/ha). At the end of growth season traits including sheath per plant, grain per plant, 100-grain weight were measured. Biological yield and grain yield, harvest index and grain protein percent (using NIR device) were measured, as well. Data were analyzed using MSTAT-C and mean comparisons were conducted via Duncan multiple range test and graphs were plotted using Excel software.

Results and Discussion

Results of mean comparisons of the triple effects of treatments showed that there were significant differences between treatments in terms of grain yield and yield components, leaf chlorophyll index, grain protein yield (excluding harvest index and 100-grain weight). Superabsorbent via maintaining soil moisture and preventing nitrogen leaching, iron nano-chelate via providing iron required for nitrogen metabolism and phosphate Barvar-2 through affecting nitrogen fixation caused increase in grain protein and chickpea chlorophyll index. It can also be stated that co-application of superabsorbent and foliar application of iron nano-chelate and phosphate Barvar-2 through alleviating the decrease in soil moisture and keeping soil water and providing sufficient nutrients by increasing secondary branches and spikes number per plant and grain

*Corresponding Author: azizi.kh@lu.ac.ir

number per plant could increase grain yield. The highest and lowest grain yield obtained in S2F3B2 and S1F1B1 treatments by 1623 and 950 kg/ha, respectively. According to the results, S2F2B2, S2F3B2, S1F3B2 and S1F2B2 had no significant difference in terms of grain yield and the highest and lowest grain yield by 1623 and 950 kg/ha obtained in S2F3B2 (superabsorbent, iron nano-chelate foliar application 2/1000 and phosphate Barvar-2) and S1F1B1 (control), respectively. Results showed that highest grain protein content by 21.86 percent was related to S2F3B2 (superabsorbent, iron nano-chelate foliar application 2/1000 and phosphate Barvar-2) and the lowest content was in S1F1B1 by 19.36 percent. The role of combined application of treatments in the study could be attributed to increase in water availability in soil and consequently higher water holding capacity in plant tissues, especially leaf tissues. This causes increase in plant photosynthetic ability and consequently grain protein yield which is a function of grain yield.

Conclusion

Foliar application of iron nano-chelate and also phosphate Barvar-2 biofertilizer and superabsorbent significantly affected qualitative and quantitative traits of chickpea such as grain yield, biological yield, leaf chlorophyll and grain protein content and highest levels of studied treatments (S2F2B2) resulted to highest amounts of studied traits. It could be said that application of treatments, in addition to alleviating drought stress and reducing application of chemical phosphorous fertilizers, resulted to increase in qualitative and quantitative traits and decreasing environmental pollution and increase in some nutrients concentration in soil.

Keywords: Chickpea, Grain yield, Polymer, Pulses, Water stress

بررسی تأثیر محلول پاشی اپی براسینولید بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدان، نیترات ردوکتاز و رنگدانه‌های فتوسنتزی لوبیا تحت تنش خشکی

مهسا محمدی^{۱*}، مجید پوریوسف^۲، افشین توکلی^۲ و احسان محسنی فرد^۳

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(به ترتیب tavakoli@znu.ac.ir و pouryousef@znu.ac.ir)

۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران؛ mohsenifard.ehsan@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲

چکیده

به منظور بررسی واکنش برخی پارامترهای فیزیولوژیکی لوبیا و امکان افزایش عملکرد دانه این گیاه با کاربرد اپی براسینولید تحت تنش خشکی، پژوهشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. در این پژوهش، شرایط آبیاری در دو سطح شامل آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی به عنوان عامل اصلی و دو ژنوتیپ لوبیا شامل رقم کوشا و ژنوتیپ COS16 و چهار غلظت براسینواستروئید شامل عدم مصرف (شاهد)، دو، چهار و شش میکرومولار به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در مرحله گلدهی، تنش خشکی اعمال شد و همزمان با اعمال تنش خشکی، بوته‌های لوبیا با براسینواستروئید (اپی براسینولید) محلول پاشی شد. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان تحت تنش خشکی به طور معنی داری در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب افزایش پیدا کرد، به طوری که اعمال تنش خشکی به ترتیب باعث افزایش ۳۸/۸۹، ۸۴/۰۹، ۴۰/۴۶ و ۲۷/۳۷ درصد در فعالیت کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز نسبت به آبیاری مطلوب شد. همچنین بالاترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز با کاربرد غلظت‌های مختلف اپی براسینولید در شرایط اعمال تنش خشکی حاصل شد. کاربرد اپی براسینولید با افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها باعث افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های لوبیا در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شد. بالاترین عملکرد دانه با کاربرد غلظت ۲ میکرومولار اپی براسینولید با میانگین ۲۰۶۸/۲ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۳۰۲۵/۴۵ کیلوگرم بر هکتار بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ COS16 در شرایط تنش خشکی با میانگین ۹۸۰/۸۹ کیلوگرم بر هکتار کمترین عملکرد دانه را نشان دادند. بنابراین کاربرد اپی براسینولید را به عنوان راهکاری جهت افزایش مقاومت به تنش خشکی و افزایش عملکرد دانه لوبیا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی می‌توان پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسمیوتاز، عملکرد دانه، کاروتنوئید، محتوای کلروفیل

مقدمه

آن‌ها می‌باشد و به طور معمول همراه با دیگر تنش‌های محیطی از جمله شوری و گرما بهره‌وری گیاهان را کاهش می‌دهد (Abedi & Pakniyat, 2010).

یکی از دلایلی که تنش‌های محیطی مانند خشکی، رشد و توانایی فتوسنتزی گیاه را کاهش می‌دهند، اختلال در تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم‌های دفاعی برطرف کننده این رادیکال‌هاست که به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، القای تنش اکسیداتیو، خسارت به پروتئین‌ها، لیپیدهای غشاء و سایر اجزای سلولی منجر می‌گردد (Mittler, 2002). گونه‌های فعال اکسیژن شامل رادیکال‌های آزاد مانند

گیاهان دامنه وسیعی از شرایط نامساعد محیطی به خصوص خشکی، شوری و کاهش یا افزایش دما را در طی دوران زندگی‌شان تحمل می‌کنند و تعدادی از پاسخ‌ها که شامل سازگاری متابولیکی برای مقابله با این شرایط است را ارائه می‌دهند (Hasanuzzaman et al., 2012; Kosova et al., 2013). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی و از رایج‌ترین عوامل کاهش دهنده رشد گیاهان و تولید عملکرد

*نویسنده مسئول: mohammadi.mahsa@znu.ac.ir

ژن‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده کنند (Kang & Guo, 2011). تأثیر براسینوآستروئیدها بر افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در سلول‌های گیاهی و فعال شدن مقاومت گیاه در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از شرایط محیطی مانند تنش‌های خشکی، شوری، فلزات سنگین و دماهای بالا و پایین در برخی از گیاهان گزارش شده است (Bajguz & Hayat, 2009; Ding et al., 2012; Li et al., 2012).

در برخی مطالعات مشخص شده است که براسینوآستروئیدها مقاومت گیاه در برابر تنش و آسیب‌های گیاهی را افزایش می‌دهند و موجب افزایش سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند. برای مثال، با بررسی کاربرد خارجی اپی‌براسینولید و هموبراسینولید با غلظت‌های یک و پنج میکرومولار قبل از اعمال تنش خشکی و در مرحله گل‌دهی در لوبیا مشخص شد که کاربرد این هورمون‌ها باعث بهبود اثرات منفی تنش در ریشه‌ها گردید و به‌طور کلی محققان دریافتند که هم در گیاهان تنش‌دیده و هم در گیاهان با آبیاری مطلوب با کاربرد پنج میکرومولار براسینوآستروئید عملکرد غلاف لوبیا افزایش یافت (Upreti & Murti, 2004). در مطالعه دیگری با کاربرد براسینولید بر سویا گزارش شد که کاربرد براسینولید باعث به‌حداقل‌رساندن کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی می‌شود. بنابراین می‌توان از این هورمون جهت افزایش مقاومت به تنش خشکی استفاده نمود (Zhang et al., 2008). مطالعات نشان داده است که کاربرد خارجی براسینولید با تأثیر بر محتوای پروتئین‌ها، فعالیت آنزیم نیتрат ردوکتاز، تولید اتیلن، ذخیره پلی‌آمین‌ها و محتوای نسبی آب، باعث افزایش تحمل گیاه به خشکی می‌شود (Behnamnia et al., 2009; Yuan et al., 2010; Anjum et al., 2011; Talaat & Shawky, 2016).

در سال‌های اخیر، به علت تغییرات در شرایط آب و هوایی و نیز افزایش سطح دی‌اکسیدکربن اتمسفری، تنش خشکی بسیار شدیدتر شده است. به این ترتیب، بررسی مکانیسم‌هایی که گیاهان را قادر می‌سازد تا با تنش خشکی سازش پیدا کنند و رشدشان را تحت آن شرایط حفظ نمایند، می‌تواند در انتخاب گیاهان مقاوم به تنش برای کشت در مناطق خشک و نیمه خشک کمک کند. هدف از این پژوهش بررسی امکان افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نیترات ردوکتاز، رنگدانه‌های فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه لوبیا تحت تنش خشکی با کاربرد اپی‌براسینولید بود.

رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$)، رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\cdot}$)، رادیکال پرهیدروکسی ($HO_2^{\cdot}$) و رادیکال آلوکسی ($RO^{\cdot}$) و عوامل غیررادیکالی یا مولکولی مانند هیدروژن پراکسید (H_2O_2) و اکسیژن منفرد (O_2) می‌باشند (Singh-Gill & Tuteja, 2010).

در شرایط نامطلوب محیطی، نقش سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان جهت حفاظت در برابر آسیب‌های اکسیداتیو به غشاء سلولی و سایر اندامک‌های گیاهی در حال رشد بسیار مهم به نظر می‌رسد (AL-Ghamdi, 2009). گیاهان در مقابله با تنش اکسیداتیو از دو روش آنزیمی و غیرآنزیمی استفاده می‌کنند (Gupta et al., 2005). سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان آنزیمی شامل آنزیم‌های سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوتاتیون ردوکتاز (GR) است که آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کلیدی در مبارزه با گونه‌های فعال اکسیژن به‌شمار می‌روند و مهم‌ترین ترکیبات سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی شامل بتاکاروتن، آسکوربیک اسید، آلفاتوکوفرول، گلوتاتیون، زازانتین و آنترازانتین می‌باشند (Xu et al., 2008; Abedi & Pakniyat, 2010). گزارش شده است که تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، با افزایش محتوای آنتی‌اکسیدان‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد (Malik et al., 2010). بدین ترتیب، آگاهی از تغییرات پروتئین‌ها و آنزیم‌ها تحت شرایط تنش خشکی ممکن است برای شناسایی صفات فیزیولوژیکی مؤثر در برنامه‌های اصلاحی و تولید ارقام متحمل مفید باشد.

براسینوآستروئیدها (BRs) گروهی از پلی‌هیدروکسی استروئیدهای گیاهی‌اند که در طیف وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی و عکس‌العمل‌های مورفولوژیکی نظیر طویل‌شدن ساقه و ریشه، پیچش و اپیناستی برگ‌ها، القای بیوسنتز اتیلن، فعال‌سازی پمپ‌های پروتونی، سنتز نوکلئیک اسید و پروتئین‌ها، تنظیم اسیمیلاسیون و تخصیص کربن، فعال‌سازی فتوسنتز، فتومورفوزنز، تمایز بافت‌های آوندی، آغازش گل‌ها و نمو گل‌ها و میوه‌ها مشارکت می‌نمایند (Talaat & Shawky, 2012). به علاوه، براسینوآستروئیدها می‌توانند از طریق فعال نمودن مکانیسم‌های مختلف در گیاهان و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسمیوتاز، پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز، در مقابل صدمات ناشی از تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری و دمای بالا محافظت کنند (Ali et al., 2008; Zhang et al., 2008). براسینوآستروئیدها می‌توانند از برخی از گونه‌های فعال اکسیژن مانند H_2O_2 به عنوان واسطه‌ای برای القای نسخه‌برداری از

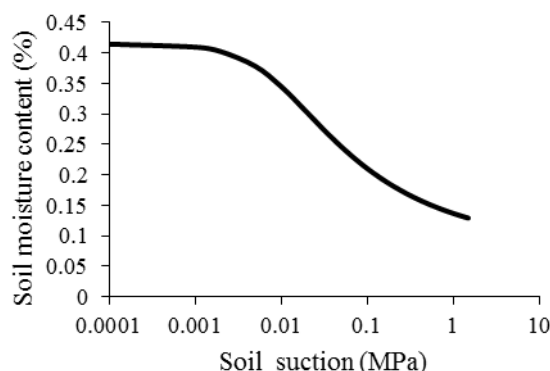
مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه غربی و ارتفاع ۱۵۹۴ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد که در آن شرایط آبیاری (در دو سطح آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی) در کرت‌های اصلی قرار گرفت و ژنوتیپ‌های لوبیا (در دو سطح رقم کوشا با تیپ رشد ایستاده و رشد نامحدود و ژنوتیپ COS16 با تیپ رشد ایستاده و رشد محدود) و غلظت‌های مختلف براسینواسترئوئید (در چهار سطح ۰، ۲، ۴ و ۶ میکرومولار) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

به‌منظور آماده‌سازی زمین، در پاییز سال ۱۳۹۴ شخم عمیق زده شده و در فصل بهار جهت یکنواخت‌شدن وضعیت خاک مزرعه از دیسک و ماله استفاده شد. کشت در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف به طول سه متر بود. کاشت به صورت مسطح، فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها بر روی ردیف پنج سانتی‌متر و تراکم ۴۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود و اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا زمان اعمال تیمارها بر اساس شرایط محیطی هفته‌ای یک‌بار صورت گرفت. در مراحل مختلف رشد گیاه، علف‌های هرز از طریق وجین دستی کنترل شدند. در

طول دوره رشد گیاه، آفت یا بیماری که جهت کنترل آن نیاز به سمپاشی باشد، مشاهده نگردید. در مرحله گلدهی (به‌گل رفتن ۵۰ درصد واحدهای آزمایشی)، به‌طور همزمان برای هر دو ژنوتیپ، تنش خشکی اعمال شد و همزمان با اعمال تنش خشکی، بوته‌های لوبیا با براسینواسترئوئید (اپی‌براسینولید) با غلظت‌های ذکرشده محلول‌پاشی شد. جهت اطمینان از جذب کافی هورمون توسط گیاه عمل محلول‌پاشی سه بار و به‌فاصله هر چهار روز یکبار بر روی کل بوته انجام گردید.

برای اعمال تنش خشکی، در مرحله گلدهی آبیاری حذف شد و تا رسیدن پتانسیل آب خاک به $-1/5$ مگاپاسکال ادامه یافت (Contour-Ansel et al., 2010) و سپس آبیاری مجدد انجام شد. برای تعیین درصدی از رطوبت خاک که در آن پتانسیل آب خاک به $-1/5$ مگاپاسکال می‌رسید از منحنی رطوبتی خاک استفاده شد (شکل ۱). به این منظور، بعد از حذف آبیاری هر دو روز یکبار نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد و آبیاری تیمار تنش وقتی صورت گرفت که درصد رطوبت خاک به ۱۲ درصد (نقطه پژمردگی دائم) رسید. برای ترسیم منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌برداری صورت گرفت و پتانسیل آب خاک در رطوبت‌های مختلف در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان تعیین شد. سپس منحنی رطوبتی که ارتباط بین درصد رطوبت وزنی و مکش خاک را نشان می‌داد، ترسیم شد (شکل ۱). همچنین، تیمار شاهد نیز بر اساس شرایط محیطی هر هفته یکبار آبیاری شد.



شکل ۱- منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش
Fig. 1. Soil moisture curve of the place of research

آب خاک به $-1/5$ مگاپاسکال رسیده بود) اندازه‌گیری شد. جهت استخراج آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز برگ‌های تازه در ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH = ۷) حاوی ۱ درصد (جرم/حجم) پلی وینیل

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز (CAT)، گایاکول پراکسیداز (POD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD) در زمان اوج تنش خشکی زمانی که تمامی مراحل هورمون‌پاشی صورت گرفته و پتانسیل

پیرولیدون (PVP) همگن شده و سپس در $10000 \times g$ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. جهت استخراج آنزیم آسکوربات پراکسیداز، ۲ میلی‌مولار آسکوربات نیز به بافر همگن شده‌ی بالا اضافه شد. سپس مایع رویی برای سنجش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مورد استفاده قرار گرفت.

محلول واکنش کاتالاز شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات ($pH = 7$)، ۱۰ میلی‌مولار هیدروژن پراکسید و عصاره‌ی آنزیم بود. واکنش با افزودن محلول رویی از عصاره‌ی آنزیم آغاز شده و فعالیت این آنزیم بر اساس کاهش جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر (ناشی از تجزیه هیدروژن پراکسید) به مدت ۶۰ ثانیه توسط اسپکتروفتومتر (PerkinElmer Lambda 25) قرائت شد. فعالیت ویژه آنزیم بر حسب میکرومولار H_2O_2 در دقیقه در هر میلی‌گرم پروتئین محلول و ضریب خاموشی $mm^{-1}cm^{-1}$ ۳۹/۴ گزارش شد (Chance & Maehly, 1955).

محلول واکنش گایاکول پراکسیداز شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات ($pH = 7$)، ۰/۲۵ درصد (حجم/حجم) گایاکول، ۰/۷۵ درصد (حجم/حجم) هیدروژن پراکسید و عصاره آنزیم بود. واکنش با افزودن هیدروژن پراکسید آغاز شده و فعالیت این آنزیم در طول موج ۴۷۰ نانومتر بر اساس توانایی آن برای تبدیل گایاکول به تتراگایاکول به صورت افزایش در جذب به مدت ۲ دقیقه توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. فعالیت ویژه آنزیم بر حسب میکرومولار تتراگایاکول در دقیقه در هر میلی‌گرم پروتئین محلول با ضریب خاموشی $mm^{-1}cm^{-1}$ ۲۶/۶ محاسبه شد (Chance & Maehly, 1955).

محلول واکنش سوپراکسید دیسمیوتاز شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات ($pH = 7/8$)، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میلی‌مولار نیتروبول تترازولیوم کلراید (NBT)، ۳۰۰ میکرومولار EDTA، ۲ میلی‌مولار ریپوفلاوین و صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرولیتر عصاره‌ی آنزیم بود. با قراردادن نمونه‌ها تحت روشنایی لامپ فلورسنت ($40^\circ W$) بلافاصله واکنش آغاز گردید و پس از ۱۰ دقیقه، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. یک واحد آنزیمی سوپراکسید دیسمیوتاز، مقدار آنزیمی است که موجب مهار تبدیل ۵۰ درصد NBT به فورمازان می‌گردد. فعالیت ویژه آنزیم بر حسب واحد آنزیم در مقدار میلی‌گرم پروتئین محلول بیان گردید (Beauchamp & Fridovich, 1971).

فعالیت آسکوربات پراکسیداز با مشاهده کاهش ناشی از اکسید شدن آسکوربیک اسید توسط هیدروژن پراکسید مورد سنجش قرار گرفت. محلول واکنش آسکوربات پراکسیداز شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات ($pH = 7$)، ۱ میلی‌مولار آسکوربات،

۱ میلی‌مولار هیدروژن پراکسید و عصاره آنزیم بود. واکنش با افزودن هیدروژن پراکسید آغاز شده و فعالیت این آنزیم به صورت کاهش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۳۰ ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. فعالیت ویژه آنزیم بر حسب تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محلول با استفاده از ضریب خاموشی $mm^{-1}cm^{-1}$ ۲/۸ محاسبه گردید (Nakano & Asada, 1981).

فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز نیز در زمان اوج تنش خشکی اندازه‌گیری شد. در ابتدا ۰/۲ گرم از نمونه برگ‌ی در ۲ میلی‌لیتر بافر A (حاوی ۵۰ میلی‌مولار HEPES-KOH ($pH = 7/5$))، ۵ درصد (حجم/حجم) گلیسرول، ۱۰ میلی‌مولار $MgCl_2$ ، ۱ میلی‌مولار دیتیوتترول (DTT)، ۱ میلی‌مولار فنیل متیل سولفونیل فلورید (PMSF)، ۱ میلی‌مولار بنزآمیدین و ۱۰ میکرومولار FAD) همگن شده و سپس در $15000 \times g$ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. سپس ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی به ۱ میلی‌لیتر بافر B (حاوی ۵۰ میلی‌مولار HEPES-KOH ($pH = 7/5$))، ۱۰ میلی‌مولار $MgCl_2$ ، ۱ میلی‌مولار دیتیوتترول (DTT)، ۲ میلی‌مولار پتاسیم نیترات (KNO_3) و ۲۰۰ میکرومولار NADH) اضافه شد و سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار گرفتند. واکنش با افزودن ۲۰۰ میکرولیتر روی استات ۰/۵ مولار، ۶۰۰ میکرولیتر سولفانیل آمید ۱ درصد (جرم/حجم) و ۶۰۰ میکرولیتر نفتیل اتیلن دی آمین دی هیدروکلرید ۰/۰۲ درصد (جرم/حجم) خاتمه یافت. محتوای نیتريت در طول موج ۵۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. فعالیت ویژه آنزیم بر حسب میکرومول نیتريت در ساعت به ازای هر میلی‌گرم پروتئین محلول محاسبه گردید (Mackintosh et al., 1995).

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول در عصاره‌های استخراج شده، مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج شده به ۲۹۵۰ میکرولیتر محلول برادفورد اضافه شده و کاملاً به هم زده شد و پس از ۱۰ دقیقه میزان جذب مخلوط در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای تعیین غلظت پروتئین از سرم آلبومین گاوی (BSA) به عنوان استاندارد استفاده شد (Bradford, 1976).

محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها نیز در زمان اوج تنش خشکی با کمک روابط زیر محاسبه گردید (Arnon, 1949). اندازه‌گیری این صفات در جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته صورت گرفت.

سوپراکسید دیسمیوتاز یک آنتی اکسیدان قوی است که اولین ماده تولیدشده از احیای یک ظرفیتی اکسیژن، یعنی رادیکال سوپراکسید را از بین می‌برد و تبدیل به اکسیژن و هیدروژن پراکسید می‌کند و در نتیجه باعث پایداری غشای سلول‌های گیاهی در خشکی می‌شود، بنابراین سوپراکسید دیسمیوتاز به عنوان دفاع اولیه در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن در نظر گرفته می‌شود (Nazari et al., 2012; Sharma et al., 2012). هیدروژن پراکسید حاصل در مرحله بعدی توسط آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز پاکسازی می‌شود (Zeid & Shedeed, 2006). کاتالاز، مستقیماً سبب تجزیه هیدروژن پراکسید شده و با تبدیل آن به آب و اکسیژن، سلول‌ها را از اثرات هیدروژن پراکسید محافظت می‌کند (Yong et al., 2008; Gaber, 2010). تنش خشکی در این مطالعه موجب افزایش فعالیت کاتالاز شد که این افزایش، نشان‌دهنده مهار کارآمد هیدروژن پراکسید می‌باشد. گزارش شده است که کاتالاز با زدودن گونه‌های فعال اکسیژن و جلوگیری از تخریب غشاء سلولی به بقای گیاه کمک می‌کند (Jiang & Zhang, 2001). پراکسیداز به عنوان آنزیم تنش شناخته شده است و با استفاده از ترکیبات فنولیک دهنده الکترون، سبب تجزیه هیدروژن پراکسید می‌گردد (Gaber, 2010) و نیز نقش کلیدی در حذف مالون دی آلدئید دارد که باعث پراکسیداسیون غشاء می‌شود و حفظ ثبات و پایداری دیواره سلولی ایفا می‌کند (Hojati et al., 2011). پراکسیداز در سنتز لیگنین و دیگر پلیمرهای فنولیکی نیز دخالت دارد و افزایش در فعالیت این آنزیم می‌تواند از سلول‌ها در برابر غلظت‌های مضر هیدروژن پراکسید محافظت کند (Verma et al., 2012). آسکوربات پراکسیداز نیز نقش کلیدی در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن و حفاظت سلول‌ها در مقابل اثرهای مخرب آن در گیاهان دارد (Mishra & Jha, 2011). این آنزیم، یک آنزیم کلیدی در سامانه مهار آنزیمی ROS است که می‌تواند هیدروژن پراکسید تولیدشده در کلروپلاست‌ها را از بین ببرد (Yong et al., 2008). در حقیقت آسکوربات پراکسیداز با قدرت چسبندگی زیادی که با هیدروژن پراکسید دارد، می‌تواند در رفع مسمومیت به گیاه کمک کند، در حالی که دیگر آنزیم‌های آنتی اکسیدان می‌توانند سرعت این واکنش را بالا ببرند، اما قدرت چسبندگی کمی با هیدروژن پراکسید دارند و نمی‌توانند به خوبی آن را مهار کنند. پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم APX به شدت به بیان ژن APX وابسته است و می‌تواند بعد از تیمار با عوامل تنش‌زا از قبیل خشکی (Koussevitzky et al., 2008) و شوری (Wang et al., 2009; Liu et al., 2013)

رابطه ۱: $V/(1000 \times W) \times ((\text{جذب در طول موج } 645 \text{ نانومتر}) - 2/79) = \text{کلروفیل } a$ (میلی گرم بر گرم وزن تر)

رابطه ۲: $V/(1000 \times W) \times ((\text{جذب در طول موج } 663 \text{ نانومتر}) - 5/1) = \text{کلروفیل } b$ (میلی گرم بر گرم وزن تر)

رابطه ۳: $V/(1000 \times W) \times ((\text{جذب در طول موج } 663 \text{ نانومتر}) + 7/15) = \text{کلروفیل کل}$ (میلی گرم بر گرم وزن تر)

رابطه ۴: $V/(1000 \times W) \times (198/1000) = \text{محتوای کلروفیل } (b) - 85/0.2$ (محتوای کلروفیل (a) $1/82 -$ (جذب در طول موج $470 \text{ نانومتر})$ (میلی گرم بر گرم وزن تر)

در روابط فوق V حجم نهایی نمونه استخراج شده (میلی لیتر) و W وزن تر نمونه (گرم) است.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل مزرعه، مساحت دو مترمربع از سطح مزرعه برداشت شده و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

پس از انجام اندازه‌گیری‌ها و محاسبات لازم، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (2013) استفاده گردید.

نتایج و بحث

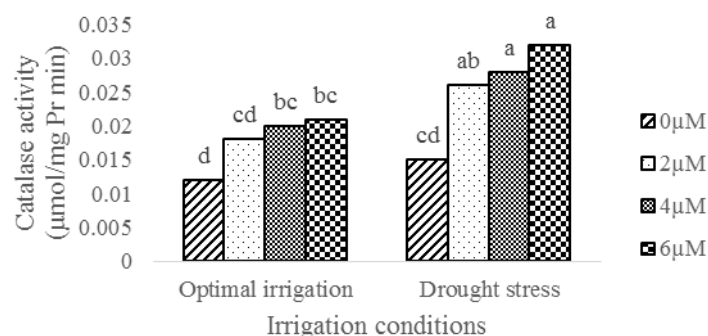
فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان

اثر شرایط آبیاری ($p \leq 0.01$) و هورمون‌پاشی ($p \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم کاتالاز، اثر شرایط آبیاری ($p \leq 0.05$)، ژنوتیپ‌ها ($p \leq 0.01$) و هورمون‌پاشی ($p \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز، اثر شرایط آبیاری ($p \leq 0.05$) و هورمون‌پاشی ($p \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و اثر شرایط آبیاری ($p \leq 0.05$) و هورمون‌پاشی ($p \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسمیوتاز معنی‌دار بود (جدول ۱). فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز تحت تنش خشکی به طور معنی‌داری در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب افزایش پیدا کرد، به‌طوری که اعمال تنش خشکی باعث افزایش ۳۸/۸۹ درصدی در فعالیت کاتالاز، افزایش ۸۴/۰۹ درصدی در فعالیت گایاکول پراکسیداز، افزایش ۴۰/۴۶ درصدی در فعالیت آسکوربات پراکسیداز و افزایش ۲۷/۳۷ درصدی در فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲).

افزایش یابد. تحقیقات نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (Mittler, 2002). به طور کلی، گیاهان برای مقابله با خشکی و از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن و مبارزه با تنش اکسیداتیو ایجادشده، سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان خود را افزایش می‌دهند. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز با اعمال تنش خشکی توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Zeid & Shedeed, 2006; Amjad et al., 2011; Ahmadizadeh et al., 2011; Habibi, 2013) که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد. فعالیت گایاکول پراکسیداز در ژنوتیپ COS16 نسبت به رقم کوشا بالاتر بود که نشان دهنده ظرفیت بالاتر این ژنوتیپ برای به دام انداختن گونه‌های فعال اکسیژن است و بنابراین، آسیب به لیپیدهای غشای پلاسمایی در این ژنوتیپ کمتر می‌باشد (جدول ۲). نتایج حاصل از مطالعه ارقام مقاوم و حساس برنج به تنش شوری نیز نشان داده است که تحت تنش شوری سطح فعالیت پراکسیداز در رقم مقاوم به شوری نسبت به رقم حساس به شوری به میزان بیشتری افزایش نشان می‌دهد (Khan & Panda, 2008). آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز در بین دو ژنوتیپ مورد مطالعه، از فعالیت یکسانی برخوردار بود و اختلاف معنی‌داری در مورد فعالیت این آنزیم‌ها بین دو ژنوتیپ وجود نداشت (جدول ۱ و ۲). به عبارت دیگر با توجه به نوع فعالیت این آنزیم‌ها نمی‌توان ژنوتیپ‌ها را از یکدیگر تفکیک نموده و هیچ یک از ژنوتیپ‌ها را نسبت به دیگری از نظر میزان فعالیت این آنزیم‌ها برتری داد.

کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش فعالیت کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسمیوتاز با کاربرد غلظت ۶ میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). کاربرد غلظت ۶ میکرومولار اپی‌براسینولید، باعث افزایش ۸۵/۷۱ درصدی در فعالیت کاتالاز و ۶۴/۳۶ درصدی در فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (جدول ۲). بالاترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با کاربرد غلظت ۴ میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد

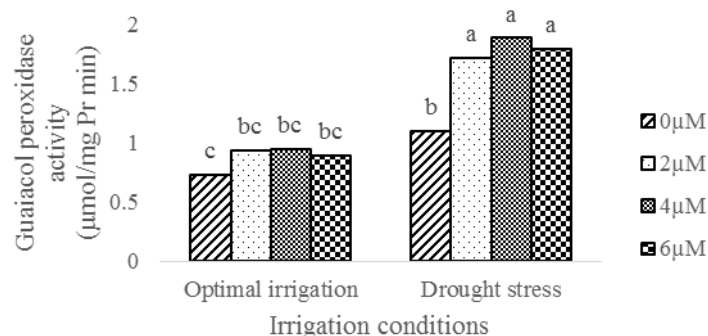
سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). کاربرد غلظت ۴ میکرومولار اپی‌براسینولید، باعث افزایش ۵۴/۳۵ درصدی در فعالیت گایاکول پراکسیداز نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (جدول ۲). همچنین، بالاترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز با کاربرد غلظت ۴ میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد، به طوری که کاربرد این غلظت، باعث افزایش ۵۵/۲۸ درصدی در فعالیت آسکوربات پراکسیداز نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (جدول ۲). مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن، نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی نشان داد که بالاترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز با کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید در شرایط اعمال تنش خشکی حاصل شد (شکل‌های ۲ تا ۵). کاربرد غلظت‌های ۲، ۴ و ۶ میکرومولار اپی‌براسینولید در شرایط اعمال تنش خشکی، باعث افزایش ۷۳/۳۳، ۸۶/۶۷ و ۱۱۳/۳۳ درصد در فعالیت کاتالاز، افزایش ۵۶/۳۶، ۷۱/۸۲ و ۶۲/۷۳ درصد در فعالیت گایاکول پراکسیداز، افزایش ۱۲/۸۲، ۴۶/۱۵ و ۱۳/۴۶ درصد در فعالیت آسکوربات پراکسیداز و افزایش ۲۹/۱۵، ۴۱/۴۹ و ۴۷/۱۱ درصد در فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (شکل‌های ۲ تا ۵). کاربرد براسینواستروئیدها به طور قابل توجهی مقاومت به خشکی گیاه را بهبود می‌بخشند و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاهش می‌دهند (Talaat et al., 2015). اثر براسینواستروئیدها بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ممکن است به علت اثر آن‌ها بر رونویسی و یا ترجمه ژن‌ها باشد (Khrupach et al., 1999; Bajguz, 2000). گزارش شده است که براسینواستروئیدها از طریق تأثیر بر بیان ژن و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، متابولیسم ترکیبات فنولیک و سیستم دفاعی گیاهان را تنظیم می‌کنند (Bajguz & Hayat, 2009; Ahammed et al., 2013). افزایش در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز پس از کاربرد براسینواستروئید در ذرت (Bhardwaj et al., 2007)، گوجه‌فرنگی (Behnamnia et al., 2009; Yuan et al., 2010; Sharma et al., 2007; Fariduddin et al., 2009; Sirhindi et al., 2009; Arora et al., 2010)، سویا (Zhang et al., 2008) و جو (Kartal et al., 2009) نیز گزارش شده است که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.



شکل ۲- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون پاشی بر فعالیت کاتالاز

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

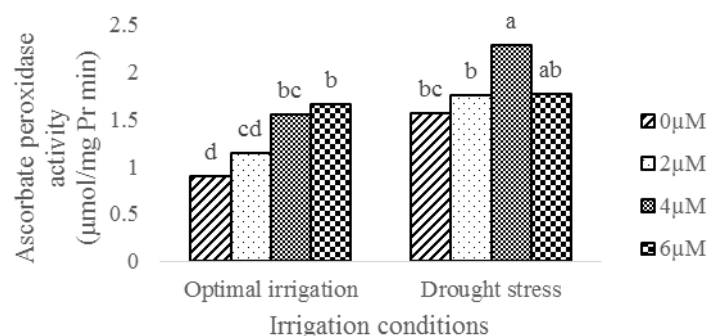
Fig. 2. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the catalase activity
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.



شکل ۳- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون پاشی بر فعالیت گایاکول پراکسیداز

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 3. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the guaiacol peroxidase activity
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.



شکل ۴- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون پاشی بر فعالیت آسکوربات پراکسیداز

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 4. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the ascorbate peroxidase activity
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

جدول ۱- تجزیه واریانس پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا با اعمال غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance of physiological parameters and seed yield in bean by application of different concentrations of Epibrassinolide under optimal irrigation and drought stress conditions

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	میانگین مربعات MS									عملکرد دانه Seed yield
		کاتالاز Catalase	گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	سوپراکسید دیسمیوتاز Superoxide dismutase	نیترات ردوکتاز Nitrate reductase	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content	محتوای کلروفیل کل Total content of chlorophyll	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content	
تکرار Replication	2	0.00002 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.21 ^{ns}	403066.52 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1.16 ^{ns}	0.06 ^{ns}	384286.77 ^{ns}
آبیاری Irrigation	1	0.0006 ^{**}	6.73 [*]	3.38 [*]	1186463.81 [*]	24.91 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.02 ^{ns}	29224641.05 [*]
خطای اصلی Error1	2	0.000003	0.11	0.17	57423.56	5.88	0.15	0.009	0.21	0.04	522929.00
ژنوتیپ Genotype	1	0.00003 ^{ns}	2.40 ^{**}	0.04 ^{ns}	2438.32 ^{ns}	0.80 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.004 ^{ns}	2810849.76 ^{**}
هورمون Hormone	3	0.0004 ^{**}	0.62 ^{**}	1.08 ^{**}	832400.19 ^{**}	17.02 ^{**}	0.46 ^{**}	0.05 ^{**}	0.80 ^{**}	0.09 ^{**}	1111848.91 ^{**}
آبیاری × ژنوتیپ Irrigation*Genotype	1	0.00002 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.39 ^{ns}	102164.98 ^{ns}	0.32 ^{ns}	1.49 ^{**}	0.11 ^{**}	2.42 ^{**}	0.19 ^{**}	854880.42 [*]
آبیاری × هورمون Irrigation*Hormone	3	0.00004 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.24 ^{ns}	13462.63 ^{ns}	2.43 ^{ns}	0.30 [*]	0.03 [*]	0.49 [*]	0.03 ^{ns}	103955.50 ^{ns}
ژنوتیپ × هورمون Genotype*Hormone	3	0.00005 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.04 ^{ns}	126869.39 ^{ns}	0.62 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.04 ^{ns}	112591.72 ^{ns}
آبیاری × ژنوتیپ × هورمون Irrigation*Genotype* Hormone	3	0.000008 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.08 ^{ns}	88290.73 ^{ns}	1.74 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.006 ^{ns}	43080.59 ^{ns}
خطای کل Error2	28	0.00003	0.09	0.19	126419.05	3.15	0.09	0.009	0.13	0.01	139151.25
ضریب تغییرات (درصد) (%) CV		24.93	24.62	27.72	27.22	25.37	28.07	29.33	26.18	25.15	19.95

ns, * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.
ns, * and ** indicate no significant difference and significant difference at the probability level of 5% and 1%, respectively.

جدول ۲- مقایسات میانگین پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا با اعمال غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

Table 2. Mean comparisons of physiological parameters and seed yield in bean by application of different concentrations of Epibrassinolide under optimal irrigation and drought stress conditions

نیتрат ردوکتاز (میکرومول نیتريت در ساعت به ازای هر میلی گرم پروتئین محلول) Nitrate reductase ($\mu\text{mol NO}_2/\text{mg Pr hr}$)	محتوای کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a content (mg/g FW)	محتوای کلروفیل b (میلی گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b content (mg/g FW)	محتوای کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم وزن تر) Total content of chlorophyll (mg/g FW)	محتوای کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر) Carotenoid content (mg/g FW)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg/h)
شرایط آبیاری Irrigation conditions					
7.72a	1.10a	0.321a	1.42a	0.49a	2650.0a
6.28a	1.02a	0.316a	1.33a	0.44a	1089.4b
ژنوتیپ‌ها Genotypes					
6.87a	1.10a	0.320a	1.42a	0.45a	1627.7b
7.13a	1.02a	0.317a	1.33a	0.47a	2111.7a
غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید (میکرومولار) Different concentrations of Epibrassinolide (μM)					
5.36b	0.77b	0.23b	1.00b	0.34b	1415.9b
6.88a	1.19a	0.37a	1.56a	0.52a	2068.2a
7.95a	1.17a	0.35a	1.52a	0.50a	2001.7a
7.82a	1.10a	0.32a	1.42a	0.49a	1993.0a
سوپراکسید دیسمیوتاز (واحد آنزیم در مقدار میلی گرم پروتئین محلول) Superoxide dismutase (U/mg Pr)					
آسکوربات پراکسیداز (میکرومولار در دقیقه در هر میلی گرم پروتئین محلول) Ascorbate peroxidase ($\mu\text{mol/mg Pr min}$)					
گایاکول پراکسیداز (میکرومولار در دقیقه در هر میلی گرم پروتئین محلول) Guaiacol peroxidase ($\mu\text{mol/mg Pr min}$)					
کاتالاز (میکرومولار در دقیقه در هر میلی گرم پروتئین محلول) Catalase ($\mu\text{mol/mg Pr min}$)					
شرایط آبیاری Irrigation conditions					
آبیاری مطلوب Optimal irrigation	0.018b	0.88b	1.31b		1148.79b
تنش خشکی Drought stress	0.025a	1.62a	1.84a		1463.23a
ژنوتیپ‌ها Genotypes					
COS16	0.022a	1.47a	1.61a		1298.9a
Kusha	0.021a	1.03b	1.55a		1313.1a
غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید (میکرومولار) Different concentrations of Epibrassinolide (μM)					
0	0.014b	0.92b	1.23c		929.4b
2	0.022a	1.33a	1.45bc		1332.8a
4	0.024a	1.42a	1.91a		1434.2a
6	0.026a	1.34a	1.72ab		1527.6a

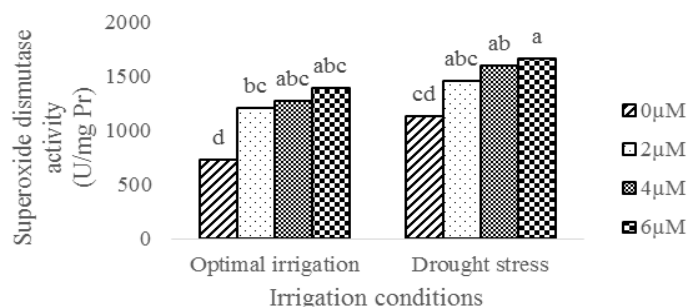
میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Mean values sharing similar letter(s) in a parameter, are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز

اثر هورمون‌پاشی ($p \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز معنی‌دار بود (جدول ۱). کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد و بالاترین فعالیت این آنزیم با کاربرد غلظت ۴ میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر

غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). کاربرد غلظت ۴ میکرومولار اپی‌براسینولید، باعث افزایش ۴۸/۳۲ درصدی در فعالیت نیترات ردوکتاز نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (جدول ۲).



شکل ۵- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون پاشی بر فعالیت سوپراکسید دیسمیوتاز

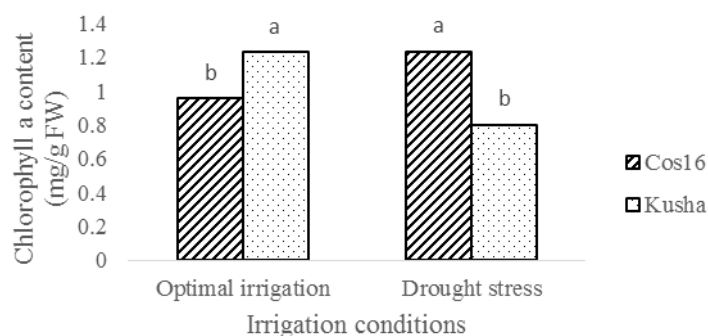
میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 5. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the superoxide dismutase activity
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها

اثر هورمون پاشی ($p \leq 0.01$)، اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون پاشی ($p \leq 0.05$) بر محتوای کلروفیل a، b و کل معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین اثر هورمون پاشی ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها ($p \leq 0.01$) بر محتوای کاروتنوئیدها نیز معنی‌دار بود (جدول ۱). رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب و ژنوتیپ COS16 در شرایط تنش خشکی بالاترین محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها را داشتند و نیز رقم کوشا در شرایط تنش خشکی و ژنوتیپ COS16 در شرایط آبیاری مطلوب پایین‌ترین این صفات را به خود اختصاص دادند (شکل‌های ۶ تا ۹). اعمال تنش خشکی در رقم کوشا به‌ترتیب باعث کاهش ۳۴/۹۳، ۲۷/۷۲، ۳۳/۲۷ و ۳۰/۶۵ درصدی و در ژنوتیپ COS16 به‌ترتیب باعث افزایش ۲۸/۷۸، ۳۳/۵۸، ۲۹/۷۶ و ۱۹/۸۵ درصدی در محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها شد (شکل‌های ۶ تا ۹). در شرایط تنش ملایم با کاهش سطح برگ، غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر، هر چه تلفات آب و انقباض سلول‌ها بیشتر شود، غلظت محلول سلول افزایش می‌یابد، در حالی که تنش شدید باعث توقف کلروفیل‌سازی می‌گردد. در این پژوهش، احتمالاً اعمال تنش خشکی در ژنوتیپ COS16 تنشی ملایم و در رقم کوشا تنشی شدید بوده است. کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی شدید به دلیل تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و نیز افزایش فعالیت کلروفیل‌از است (Alonso et al., 2001). کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها در شرایط تنش خشکی در مطالعات دیگری بر روی لوبیا (Armand et al., 2016)، نخود (Zhang et al., 2008) و سویا (Hosseinzadeh et al., 2015) نیز گزارش شده است.

بهبود در فعالیت نیترات ردوکتاز می‌تواند مربوط به تأثیر براسینواسیتروئید به ترجمه و یا رونویسی نیترات ردوکتاز (Bajguz, 2000) و یا جذب نیترات در سطح غشاء (Mai et al., 1989) باشد. همچنین به نظر می‌رسد که ممکن است دلیل این افزایش، این باشد که براسینواسیتروئیدها سیالیت غشای پلاسمایی را که توسط تنش آب تغییر کرده است، حفظ می‌کنند و جذب نیترات را که القاء‌کننده فعالیت نیترات ردوکتاز است، بهبود می‌بخشند (Talaat & Shawky, 2016). گزارش شده است که کاربرد براسینواسیتروئید منجر به افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز شد و این افزایش را ناشی از بهبود در تعادل آب برگ و افزایش پتانسیل آب برگ تحت شرایط کمبود آب دانستند (Sairam, 1994). در مطالعه‌ای کاربرد براسینواسیتروئید (هوموبراسینولید) باعث افزایش در فعالیت نیترات ردوکتاز در هر دو شرایط اعمال تنش خشکی و بدون تنش خشکی شد (Fariduddin et al., 2009). محققان گزارش کردند که براسینواسیتروئیدها از طریق تأثیر بر بیان ژن و یا اثر بر غشاهای سلولی بر بیوسنتز آنزیم‌ها مانند نیترات ردوکتاز تأثیر می‌گذارند (Khripach et al., 1999). در پژوهشی دیگر نیز کاربرد براسینواسیتروئید باعث افزایش در فعالیت نیترات ردوکتاز شده است (Talaat & Shawky, 2016) که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد. همچنین، در پژوهش‌هایی گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش فعالیت نیترات ردوکتاز و کاهش جذب نیترات شده است (Casadebaig et al., 2008; Talaat & Shawky, 2016). در پژوهش حاضر، اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۱۸/۶۵ درصدی در فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز نسبت به آبیاری مطلوب شد که از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲).

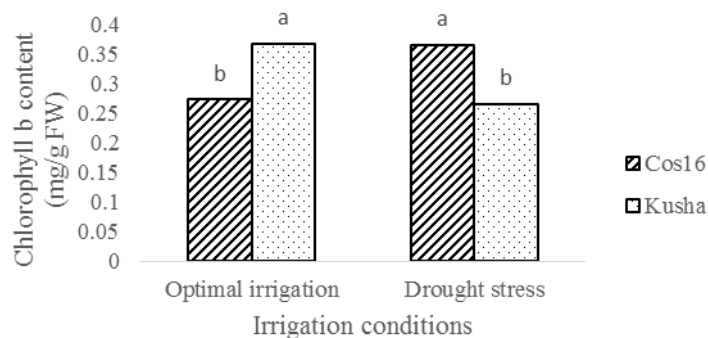


شکل ۶- اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها بر محتوای کلروفیل a

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 6. Interaction between irrigation conditions and genotypes on the chlorophyll a content

Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

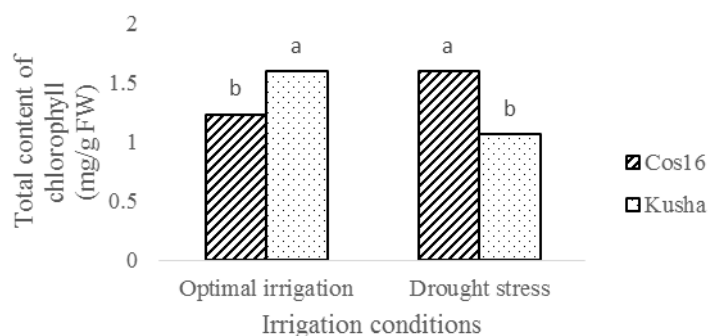


شکل ۷- اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها بر محتوای کلروفیل b

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 7. Interaction between irrigation conditions and genotypes on the chlorophyll b content

Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

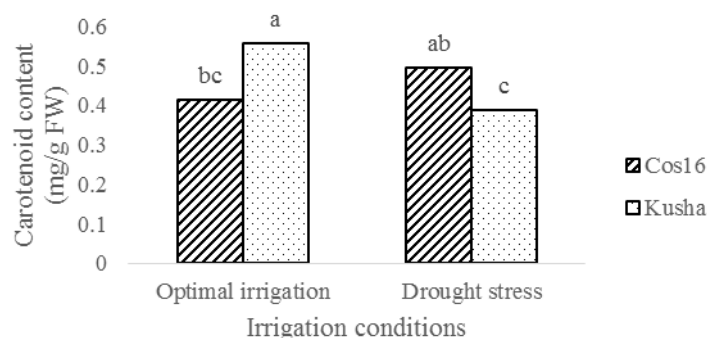


شکل ۸- اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها بر محتوای کلروفیل کل

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 8. Interaction between irrigation conditions and genotypes on the total content of chlorophyll

Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.



شکل ۹- اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها بر محتوای کاروتنوئید

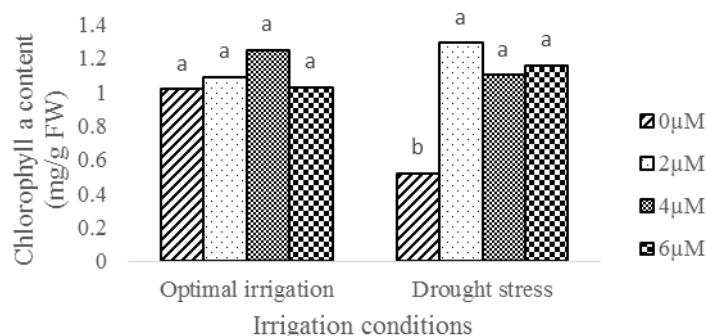
میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 9. Interaction between irrigation conditions and genotypes on the carotenoid content

Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

دیگری نیز گزارش شده است (Vardhini & Anjum, 2015; Talaat & Shawky, 2016). همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش محتوای کاروتنوئیدها نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد و بالاترین این صفت با کاربرد غلظت ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد سایر غلظت‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). کاربرد غلظت ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید، باعث افزایش ۵۲/۹۴ درصدی در محتوای کاروتنوئیدها نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (جدول ۲). افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها در گیاهان تیمار شده با براسینواستروئید در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Zhang et al., 2008; Fariduddin et al., 2009; Anjum et al., 2011; Thussagunpanit et al., 2015; Asghari et al., 2016) که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی نیز نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، کاربرد غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید باعث افزایش اندکی در محتوای کلروفیل a, b و کل شد و کاربرد غلظت ۴ میکرومولار از این هورمون باعث بیشترین مقدار افزایش در صفات فوق نسبت به عدم کاربرد هورمون شد (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲). درحالی‌که در شرایط اعمال تنش خشکی، این افزایش معنی‌دار بود و کاربرد غلظت ۲ میکرومولار از این هورمون باعث حصول بالاترین مقدار افزایش در صفات فوق نسبت به عدم کاربرد هورمون گردید (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲). به عبارت دیگر، کاربرد اپی‌براسینولید در شرایط تنش خشکی باعث افزایش بیشتری در محتوای کلروفیل a, b و کل نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد. اثربخشی بیشتر کاربرد براسینواستروئید در شرایط نامساعد نسبت به شرایط مطلوب محیطی در مطالعات

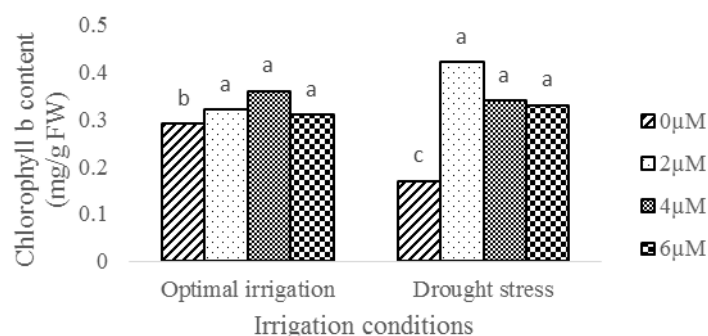


شکل ۱۰- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی بر محتوای کلروفیل a

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 10. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the chlorophyll a content

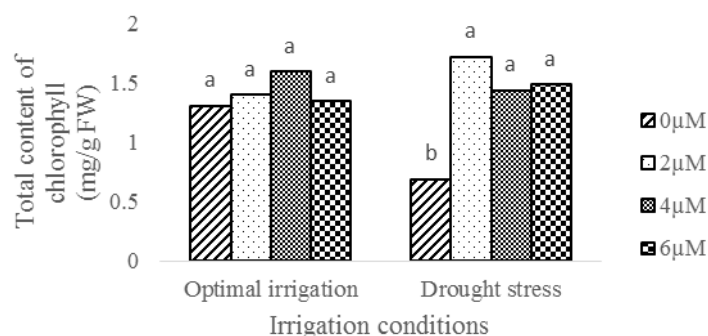
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.



شکل ۱۱- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی بر محتوای کلروفیل b

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 11. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the chlorophyll b content
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.



شکل ۱۲- اثر متقابل شرایط آبیاری و هورمون‌پاشی بر محتوای کلروفیل کل

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 12. Interaction between irrigation conditions and hormone spraying on the total content of chlorophyll
Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

عملکرد دانه

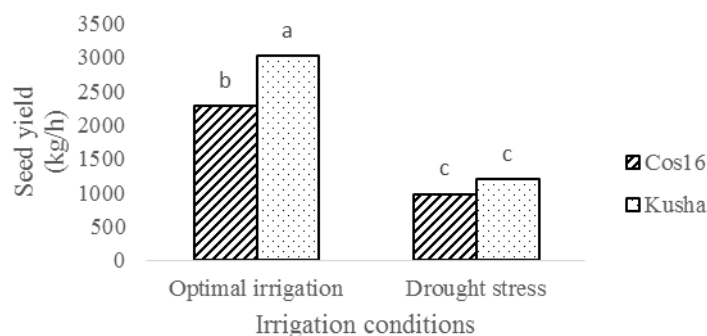
اثر شرایط آبیاری ($p \leq 0.05$)، ژنوتیپ‌ها ($p \leq 0.01$)، هورمون‌پاشی ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها ($p \leq 0.05$) بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب (با میانگین ۳۰۲۵/۴۵ کیلوگرم بر هکتار) بالاترین عملکرد دانه و ژنوتیپ COS16 در شرایط اعمال تنش خشکی (با میانگین ۹۸۰/۸۹ کیلوگرم بر هکتار) پایین‌ترین عملکرد دانه را داشتند (شکل ۱۳). اعمال تنش خشکی در رقم کوشا باعث کاهش ۶۰/۴۰ درصدی و در ژنوتیپ COS16 باعث کاهش ۵۶/۸۸ درصدی در عملکرد دانه شد (شکل ۱۳). تنش خشکی از طریق کاهش آب برگ و بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی و نیز کاهش غلظت کلروفیل، باعث کاهش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و در نهایت منجر به افت عملکرد دانه شده است. نتایج تحقیقات سایر آزمایش‌ها نیز

حاکم از کاهش عملکرد دانه لوبیا بر اثر تنش خشکی است (Munoz-Perea *et al.*, 2006; Ahmed & Suliman, 2010; Bastos I., 2011). در پژوهشی دیگر نیز تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه لوبیا شد و محققان این کاهش را به دلیل کاهش گره‌زایی ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی دانستند (Upreti & Murti, 2004).

کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین عملکرد دانه با کاربرد غلظت ۲ میکرومولار اپی‌براسینولید (با میانگین ۲۰۶۸/۲ کیلوگرم بر هکتار) حاصل شد، به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، عملکرد دانه را به میزان ۴۶/۰۷ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون افزایش داد (جدول ۲). در مطالعه‌ای کاربرد براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه لوبیا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شد و محققان این افزایش را به دلیل تأثیر مثبت براسینولید بر محتوای سایتوکینین و فعالیت

(et al., 2014). محلول‌پاشی با براسینولید موجب افزایش عملکرد دانه ماش (Sengupta et al., 2009)، سویا (Zhang et al., 2008)، آفتابگردان (Bera et al., 2014) و ذرت (Anjum et al., 2011) نیز شده است که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

نیتروژن‌ناز در ریشه‌ها دانستند (Upreti & Murti, 2004). افزایش عملکرد دانه با کاربرد براسینولید ممکن است به دلیل راندمان فتوشیمیایی بالاتر از نظر جذب دی‌اکسیدکربن باشد که به افزایش تجمع رنگدانه‌های فتوسنتزی به ویژه کلروفیل و محتوای بیشتر پروتئین‌های محلول نسبت داده می‌شود (Bera et al., 2004).



شکل ۱۳- اثر متقابل شرایط آبیاری و ژنوتیپ‌ها بر عملکرد دانه

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Fig. 13. Interaction between irrigation conditions and genotypes on the seed yield

Mean values sharing similar letter(s) are not significantly different according to Duncan's multiple range tests at $p \leq 0.05$.

کاروتنوئیدها باعث افزایش عملکرد دانه و نیز افزایش مقاومت به تنش خشکی در هر دو ژنوتیپ لوبیا مورد مطالعه شد، ضمن این‌که دستیابی به اطلاعاتی جامع در زمینه تأثیرات مثبت اپی براسینولید نیازمند مطالعه این هورمون در شرایط مختلف آب و هوایی نیز می‌باشد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز، از آنجا که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب و کمترین افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ COS16 بود، می‌توان رقم کوشا را در شرایط آبیاری مطلوب و ژنوتیپ COS16 را در شرایط احتمال وجود تنش خشکی پیشنهاد نمود.

نتیجه‌گیری

اعمال تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، گاپاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز شد. با توجه به اهمیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در پاکسازی رادیکال سوپراکسید و هیدروژن پراکسید و جلوگیری از تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب، به نظر می‌رسد افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث می‌گردد که اثرات منفی تنش اکسند ناشی از رادیکال‌های فعال اکسیژن کمتر صورت بگیرد و در نتیجه مقاومت به تنش خشکی حاصل شود. کاربرد اپی‌براسینولید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، نیترازدوکتاز و محتوای کلروفیل و

منابع

1. Abedi, T., and Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding 46(1): 27-34.
2. Ahammed, G.J., Zhou, Y.H., Xia, X.J., Mao, W.H., Shi, K., and Yu, J.Q. 2013. Brassinosteroid regulates secondary metabolism in tomato towards enhanced tolerance to phenanthrene. Biologia Plantarum 57(1): 154-158.
3. Ahmadizadeh, M., Valizadeh, M., Zaefizadeh, M., and Shahbazi, H. 2011. Antioxidative protection and electrolyte leakage in durum wheat under drought stress condition. Journal of Applied Sciences Research 7(3): 236-246.
4. Ahmed, F.E., and Suliman, A.S.H. 2010. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water use efficiency of cowpea. Agriculture and Biology Journal of North America 1(4): 534-540.

5. AL-Ghamdi, A.A. 2009. Evaluation of oxidative stress tolerance in two wheat (*Triticum aestivum*) cultivars in response to drought. *International Journal of Agriculture and Biology* 11: 7-12.
6. Ali, B., Hasan, S.A., and Hayat, S. 2008. A role for brassinosteroids in the amelioration of aluminium stress through antioxidant system in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Environmental and Experimental Botany* 62(2): 153-159.
7. Alonso, R., Elvira, S., Castillo, F.J., and Gimeno, B.S. 2001. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant Cell and Environment* 24(4): 905-916.
8. Amjad, H., Noreen, B., Javed, A., and Nayyer, I. 2011. Differential changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in flag leaves of wheat genotypes under different levels of water deficit conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 49(2): 178-185.
9. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., and Zou, C.M. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197(3): 177-185.
10. Armand, N., Amiri, H., and Ismaili, A. 2016. Interaction of methanol spray and water-deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. *Photochemistry and Photobiology* 92: 102-110.
11. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24(1): 1-15.
12. Arora, P., Bhardwaj, R., and Kanwar, M.K. 2010. 24-epibrassinolide induced antioxidative defense system of *Brassica juncea* L. under Zn metal stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 16(3): 285-293.
13. Asghari, M., and Zahedipour, P. 2016. 24-Epibrassinolide acts as a growth-promoting and resistance-mediating factor in strawberry plants. *Journal of Plant Growth Regulation* 35(3): 722-729.
14. Bajguz, A. 2000. Effect of brassinosteroids on nucleic acids and protein content in cultured cell of *Chlorella vulgaris*. *Plant Physiology and Biochemistry* 38(3):209-215.
15. Bajguz, A., and Hayat, S. 2009. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 47(1):1-8.
16. Bastos, E.A., Nascimento, S.P., Silva, E.M., Filho, F.R.F., and Gomide, R.L. 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciencia Agronomica* 42(1): 100-107.
17. Beauchamp, C., and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* 44(1): 276-287.
18. Behnamnia, M., Kalantari, Kh.M., and Rezanejad, F. 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. *General and Applied Plant Physiology* 35(1-2): 22-34.
19. Bera, A.K., Pramanik, K., and Mandal, B. 2014. Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research* 9(48): 3494-3503.
20. Bhardwaj, R., Arora, N., Sharma, P., and Arora, H.K. 2007. Effects of 28-homobrassinolide on seedling growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities under nickel stress in seedlings of *Zea mays* L. *Asian Journal of Plant Sciences* 6(5): 765-772.
21. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72(1-2): 248-254.
22. Casadebaig, P., Debaeke, P., and Lecoer, J. 2008. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy* 28(4): 646-654.
23. Chance, B., and Maehly, A.C. 1955. Assay of catalases and peroxidase. *Methods Enzymol* 2: 764-775.
24. Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M.L., Zuily-Fodil, Y., and Cruz de Carvalho, M.H. 2010. An aspartic acid protease from common bean is expressed 'on call' during water stress and early recovery. *Journal of Plant Physiology* 167(18): 1606-1612.
25. Ding, H.D., Zhu, X.H., Zhu, Z.W., Yang, S.J., Zha, D.S., and Wu, X.X. 2012. Amelioration of salt-induced oxidative stress in eggplant by application of 24-epibrassinolide. *Biologia Plantarum* 56(4): 767-770.
26. Fariduddin, Q., Khanam, S., Hasan, S.A., Ali, B., Hayat, S., and Ahmad, A. 2009. Effect of 28-homobrassinolide on the drought stress-induced changes in photosynthesis and antioxidant system of *Brassica juncea* L. *Acta Physiologiae Plantarum* 31(5): 889-897.
27. Gaber, M.A. 2010. Insights into the significance of antioxidative defense under salt stress. *Plant Signaling & Behavior* 5(4): 369-374.

28. Gupta, K.J., Stoimenova, M., and Kaiser, W.M. 2005. In higher plants, only root mitochondria, but not leaf mitochondria reduce nitrite to NO, *in vitro* and *in situ*. *Journal of Experimental Botany* 56: 2601-2609.
29. Habibi, G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. *Acta Agriculturae Slovenica* 101(1): 31-39.
30. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M.M., and Fujita, M. 2012. Exogenous nitric oxide alleviates high temperature induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by modulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian Journal of Crop Science* 6(8): 1314-1323.
31. Hojati, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Karimi, M., and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologia Plantarum* 33(1): 105-112.
32. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2015. Effect of vermincompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica* 54(1): 87-92.
33. Jiang, M., and Zhang, J. 2001. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defense system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. *Plant and Cell Physiology* 42(11): 1265-1273.
34. Kang, Y.Y., and Guo, S.R. 2011. Role of brassinosteroids on horticultural crops. In: S. Hayat and A. Ahmad (Eds). *Brassinosteroids: A Class of Plant Hormone*. Springer, Dordrech, pp 269-288.
35. Kartal, G., Temel, A., Arican, E., and Gozukirmizi, N. 2009. Effects of brassinosteroids on barley root growth, antioxidant system and cell division. *Plant Growth Regulation* 58(3): 261-267.
36. Khan, M.H., and Panda, S.K. 2008. Alternations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologia Plantarum* 30: 81-89.
37. Khripach, V.A., Zhabinskii, V.N., and De Groot, A.E. 1999. *Brassinosteroids: A New Class of Plant Hormones*. Academic Press, San Diego.
38. Kosova, K., Vitamvas, P., Urban, M.O., and Prasil, I.T. 2013. Plant proteome responses to salinity stress-comparison of glycophytes and halophytes. *Functional Plant Biology* 40(9): 775-786.
39. Koussevitzky, S., Suzuki, N., Huntington, S., Armijo, L., Sha, W., Cortes, D., Shulaev, V., and Mittler, R. 2008. Ascorbate peroxidase 1 plays a key role in the response of *Arabidopsis thaliana* to stress combination. *Journal of Biological Chemistry* 283: 34197-34203.
40. Li, Y.H., Liu, Y.J., Xu, X.L., Jin, M., An, L.Z., and Zhang, H. 2012. Effect of 24-epibrassinolide on drought stress-induced changes in *Chorispora bungeana*. *Biologia Plantarum* 56(1): 192-196.
41. Liu, H.C., Tian, D.Q., Liu, J.X., Ma, G.Y., Zou, Q.C., and Zhu, Z.J. 2013. Cloning and functional analysis of a novel ascorbate peroxidase (APX) gene from *Anthurium andraeanum*. *Journal of Zhejiang University Science* 14(12): 1110-1120.
42. Mackintosh, C., Douglas, P., and Lillo, C. 1995. Identification of a protein that inhibits the phosphorylated form of nitrate reductase from spinach (*Spinacia oleracea*) leaves. *Plant Physiology* 107: 451-457.
43. Mai, Y.Y., Lin, J.M., Zeng, X.L., and Pan, R.J. 1989. Effect of homobrassinolide on the activity of nitrate reductase in rice seedlings. *Plant Physiol Commun* 2: 50-52.
44. Malik, A.A., Li, W.G., Lou, L.N., Weng, J.H., and Chen, J.F. 2010. Biochemical/physiological characterization and evaluation of in vitro salt tolerance in cucumber. *African Journal of Biotechnology* 9(22): 3284-3292.
45. Mishra, A., and Jha, B. 2011. Antioxidant response of the microalga *Dunaliella salina* under salt stress. *Botanica Marina* 54(2): 195-199.
46. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7(9): 405-410.
47. Munoz-Perea, C.G., Teran, H., Allen, R.G., Wright, J.L., Westermann, D.T., and Singh, S.P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science* 46: 2111-2120.
48. Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22(5): 867-880.
49. Nazari, M., Maali Amiri, R., Mehraban, F.H., and Khaneghah, H.Z. 2012. Change in antioxidant responses against oxidative damage in black chickpea following cold acclimation. *Russian Journal of Plant Physiology* 59(2): 183-189.
50. Sairam, R.K. 1994. Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Plant Growth Regulation* 14: 173-181.
51. Sengupta, K., Mitra, S., and Ray, M. 2009. Effect of brassinolide on growth and yield of summer greengram crop. *Indian Agriculturist* 53(3/4): 155-157.

52. Sharma, P., Bhardwaj, R., Arora, N., and Arora, H.K. 2007. Effect of 28-homobrassinolide on growth, zinc metal uptake and antioxidative enzyme activities in *Brassica juncea* L. seedlings. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(3): 203-210.
53. Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany* 14: 1-26.
54. Singh-Gill, S., and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48(12): 909-930.
55. Sirhindi, G., Kumar, S., Bhardwaj, R., and Kumar, M. 2009. Effects of 24-epibrassinolide and 28-homobrassinolide on the growth and antioxidant enzyme activities in the seedlings of *Brassica juncea* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 15(4): 335-341.
56. Talaat, N.B., and Shawky, B.T. 2012. 24-Epibrassinolide ameliorates the saline stress and improves the productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 82: 80-88.
57. Talaat, N.B., Shawky, B.T., and Ibrahim, A.S. 2015. Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany* 113: 47-58.
58. Talaat, N.B., and Shawky, B.T. 2016. Dual application of 24-Epibrassinolide and Spermine confers drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) by modulating polyamine and protein metabolism. *Journal of Plant Growth Regulation* 35(2): 518-533.
59. Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-Arree, W., Pankean, P., and Suksamrarn, A. 2015. Effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on photosynthetic efficiency and rice yield under heat stress. *Photosynthetica* 53(2): 312-320.
60. Upreti, K.K., and Murti, G.S.R. 2004. Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biologia Plantarum* 48(3): 407-411.
61. Vardhini, B.V., and Anjum, N.A. 2015. Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. *Frontiers in Environmental Science* DOI: 10.3389/fenvs.2014.00067.
62. Verma, A., Malik, C.P., and Gupta, V.K. 2012. In vitro effects of brassinosteroids on the growth and antioxidant enzyme activities in groundnut. *International Scholarly Research Network* Doi:10.5402/2012/356485.
63. Wang, C., Yang, C.P., and Wang, Y.C. 2009. Cloning and expression analysis of an APX gene from *Betula platyphylla*. *Journal of Northeast Forestry University* 37(3): 79-81.
64. Xu, P.L., Guo, Y.K., Bai, J.G., Shang, L., and Wang, X.J. 2008. Effects of long-term chilling on ultrastructure and antioxidant activity in leaves of two cucumber cultivars under low light. *Physiologia Plantarum* 132(4): 467-478.
65. Yong, Z., Hao-Ru, T., and Ya, L. 2008. Variation in antioxidant enzyme activities of two strawberry cultivars with short-term low temperature stress. *Journal of Agricultural Sciences* 4: 456-462.
66. Yuan, G.F., Jia, C.G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L.P., Liu, N., and Wang, Q.M. 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae* 126(2): 103-108.
67. Zeid, I.M., and Shedeed, Z.A. 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biologia Plantarum* 50(4): 635-640.
68. Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L., and Li, Z. 2008. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Growth Regulation* 56(3): 257-264.

Study the effect of Epibrassinolide application on the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, and photosynthetic pigments of common bean under drought stress

Mohammadi^{1*}, M., Pouryousef², M., Tavakoli², A. & Mohseni Fard³, E.

1. PhD. Student in Plant Physiology, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran (pouryousef@znu.ac.ir & tavakoli@znu.ac.ir, respectively)
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran; mohsenifard.ehsan@znu.ac.ir

Received: 21 October 2018
Accepted: 3 March 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.76131

Introduction

Drought is one of the most important environmental stresses and is one of the most common causes of plant growth retardation and yields, and usually decreases the productivity of plants along with other environmental stresses, including salinity and heat. One of the reasons that environmental stresses such as drought, reduces growth and plant photosynthesis ability, is a disturbance in the balance between the production of free oxygen radicals and the protective mechanisms that remedy these radicals which results in the accumulation of reactive oxygen species (ROS), induction of oxidative stress, damage to proteins, membrane lipids, and other cellular components. Under adverse environmental conditions, the role of antioxidant defense system in protecting cellular membranes and other growing organs against oxidative damage seems to be very important. Brassinosteroids (BRs) comprise a group of steroidal hormones that have been implicated in a wide range of physiological responses in plants, including stem elongation, growth of pollen tubes, ethylene biosynthesis, proton pump activation, the regulation of gene expression, activation of enzymes, response to different stresses, nucleic acid and protein synthesis, and photosynthesis. In addition, BRs can protect against damage from stresses such as drought, salinity, and high temperature by activating various mechanisms in plants and increasing the activity of enzymatic antioxidants such as catalase, superoxide dismutase, peroxidase, and glutathione reductase. The purpose of this study was to investigate the possibility of increasing the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, photosynthetic pigments, and finally, the seed yield of common beans with the use of Epibrassinolide under drought stress conditions.

Materials & Methods

A split factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of Faculty of Agriculture, the University of Zanjan during the 2016-2017 cropping season. In this experiment, two irrigation conditions included optimal irrigation and drought stress were applied to main plots and two common bean genotypes including Kusha cultivar and COS16 genotype, and four levels of brassinosteroid including of no-application (control), two, four, and six μM were allocated to subplots as factorial. Drought stress was applied at the flowering stage, and common bean plants were sprayed with brassinosteroid (Epibrassinolide) simultaneously with drought stress. In this study, the activity of catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase, and superoxide dismutase, nitrate reductase, chlorophyll and carotenoid contents, and seed yield were studied.

Results & Discussion

The results showed that drought stress increased the activity of catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase, and superoxide dismutase by 38.89%, 84.09%, 40.46%, and 27.37% in contrast with the optimal

*Corresponding Author: mohammadi.mahsa@znu.ac.ir

irrigation, respectively. The highest activity of catalase, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase, and superoxide dismutase were obtained using different concentrations of Epibrassinolide under drought stress conditions. The application of 2, 4, and 6 μM of Epibrassinolide in drought stress conditions increased by 73.33%, 86.67%, and 113.33% in the catalase activity, increased by 56.36%, 71.82%, and 62.73% in the guaiacol peroxidase activity, increased by 12.82%, 46.15%, and 13.46% in the ascorbate peroxidase activity, and increased by 29.15%, 41.49%, and 47.11% in the superoxide dismutase activity in comparison with non-application of this hormone. It has been reported that the use of BRs significantly improves plant drought tolerance and reduces the accumulation of reactive oxygen species by increasing the activity of antioxidant enzymes. It has been reported that the application of BRs increased the antioxidant enzymes activity in maize, tomato, mustard, soybean, and barley. Also, nitrate reductase activity increased by using of Epibrassinolide, which can enhance plant tolerance to environmental stress. The highest activity of nitrate reductase was obtained by application of 4 μM of Epibrassinolide, which did not show any significant difference with other concentrations. Improvement in the activity of nitrate reductase can be attributed to the effect of BRs on translation or transcription of nitrate reductase, or nitrate absorption at the membrane surface. In optimal irrigation conditions, the use of different concentrations of Epibrassinolide has a slight increase in the contents of chlorophyll a, b, and total, and the use of 4 μM of this hormone resulted in the highest increase in the above traits compared to non-application of the hormone. However, under drought stress conditions, this increase was significant, and the use of 2 μM of this hormone resulted in the highest increase in the above traits compared to non-application of the hormone. In other words, the use of Epibrassinolide in drought stress conditions caused a higher increase in chlorophyll a, b, and total contents relative to optimal irrigation conditions. Application of Epibrassinolide increased the seed yield in both common bean genotypes by increasing the activity of antioxidant enzymes, nitrate reductase, and chlorophyll and carotenoid contents. The highest seed yield was obtained by application of 2 μM of Epibrassinolide with an average of 2068.2 kg/ha. Among the studied genotypes, the Kusha cultivar in optimal irrigation conditions (with an average of 3025.45 kg/ha) had the highest seed yield and the COS16 genotype in drought stress conditions (with an average of 980.89 kg/ha) had the lowest seed yield.

Conclusion

In general, the use of Epibrassinolide can be suggested as a solution to increase drought stress tolerance and enhance the growth and seed yield of common beans under optimal irrigation and drought stress conditions. In addition, the achievement of comprehensive information on the positive effects of Epibrassinolide requires a study of this hormone in different weather conditions and with other different bean genotypes.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Chlorophyll and carotenoid contents, Irrigation, Seed yield, Superoxide dismutase

ارزیابی مقاومت ارقام لوبیا به کنه تارتن دولکهای *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) در شرایط مزرعه

علی اصغر کاظمی^۱، علیرضا عسکریان زاده^{۲*}، آیتاله سعیدی زاده^۳ و عادل غدیری^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد حشره شناسی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران؛ redroseros2@gmail.com

۲- دانشیار حشره شناسی کشاورزی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

۳- استادیار بیماری شناسی گیاهی، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران؛ ayatsaeed314@gmail.com

۴- استادیار آگرواکولوژی، پژوهشکده ملی لوبیای خمین، اراک؛ a.ghadiri@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۰

چکیده

کنه تارتن دولکهای (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) یکی از مهم ترین آفات خسارت زرا به گیاه لوبیا می باشد. برای کاهش خسارت، کشاورزان مجبورند مزارع لوبیا خود را چندین مرتبه سم پاشی نمایند. یکی از بهترین راهکارهای کاهش خسارت آفات، استفاده از ارقام مقاوم می باشد که علاوه بر تحمل آفات و کاهش سم پاشی و به تبع آن کاهش آلودگی های زیست محیطی، می تواند عملکرد مناسبی نیز به همراه داشته باشند. لذا به همین منظور جهت بررسی ارزیابی مقاومت هشت رقم و دو لاین لوبیا به آفت کنه تارتن دولکهای، در دو سال متوالی زراعی ۹۴ و ۹۵ آزمایشی در قالب طرح کرت های خرد شده در زمان در مرکز تحقیقات ملی لوبیای شهرستان خمین انجام گرفت. این آزمایش با بررسی آلودگی برگ ها، ساقه ها، غلاف ها و بوته ها به کنه تارتن دولکهای و مقایسه آن ها با شاهد و ارزیابی عملکرد آن ها انجام شد. آلودگی در بوته ها در دو سال متوالی ۹۴ و ۹۵ از ۳۱ شهریور ماه شروع و در دهم مهر ماه در هر سال به اوج خود رسید. نتایج نشان داد که میزان آلودگی ارقام و لاین های آزمایشی نسبت به کنه تارتن دولکهای به طور معنی داری متفاوت بود. این تفاوت ها هم از لحاظ شروع و شدت آلودگی و هم از لحاظ عملکرد دانه بود. با مقایسه میانگین ها مشخص شد که رقم های درخشان، اختر و محلی خمین به عنوان ارقام حساس به کنه دو لکه ای اما رقم درسا به عنوان یک رقم لوبیای سفید و لاین ۲۱۱۹۱ و رقم کوشا به عنوان ارقام لوبیای چیتی و لاین ۳۱۱۶۹ به عنوان یک رقم لوبیای قرمز، مقاومت بیشتری به کنه تارتن دولکهای و عملکرد دانه قابل قبولی نسبت به سایر ارقام مورد آزمایش داشتند. لذا نتایج این پژوهش می تواند در جهت بهبود عملکرد و کاهش مصرف سموم در مزارع لوبیا بسیار مفید و کارآمد باشد.

واژه های کلیدی: لوبیا، مقاومت، ارقام، کنه تارتن دولکهای، عملکرد

مقدمه

بوده و در تناوب های زراعی نیز به عنوان حاصلخیزکننده زمین و کود مورد استفاده قرار می گیرند (Khaghani et al., 2010).

از جمله آفاتی که به گیاه لوبیا در ایران خسارت وارد می نماید، می توان به مگس لوبیا (*Hylemia cilicrura* Rondani)، پروانه لوبیا (*Lycaena boetica* L.)، تریپس لوبیا (*Thrips tabaci* Lind)، سوسک لوبیا (*Acanthoscelides obtectus* Say.)، زنجک لوبیا (*Empoasca fabae* Hanis)، کرم پیله خوار (*Heliothis virescens* Hufnagel)، و کنه تارتن (*Tetranychus urticae* Koch) اشاره نمود (Saeedi et al., 2004; Khanjani, 2006). از میان این آفات، کنه تارتن دولکهای از جمله مهم ترین آنها می باشد (Khanjani, 2004). کنه دولکهای از مهم ترین کنه های خسارت زرا می باشد

حبوبات بعد از گندم و برنج مهم ترین محصولات کشاورزی هستند که مورد تغذیه مردم جهان به خصوص مردم کشورهای در حال توسعه قرار گرفته اند. در بین حبوبات، لوبیا یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی است که با داشتن ۱۹ تا ۲۳ درصد پروتئین می تواند منبع بسیار مهمی در تأمین پروتئین مورد نیاز انسان باشد. بی شک حبوبات و به ویژه لوبیا از منابع مهم تأمین کننده پروتئین در اکثر کشورها به خصوص کشورهای در حال توسعه می باشد، چرا که از نظر اقتصادی از پروتئین حیوانی ارزان تر هستند. همچنین حبوبات دارای کربوهیدرات ها، برخی ویتامین ها و مواد معدنی ضروری در جیره غذایی انسان

* نویسنده مسئول: askarianzadeh@shahed.ac.ir

(Acari: Tetranychidae) بر عملکرد ارقام لوبیا در منطقه خمین مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل آزمایش: مطالعه صحرایی این تحقیق در دو سال زراعی ۹۴ و ۹۵ در زمین‌های تحقیقاتی ایستگاه ملی تحقیقات لوبیای شهرستان خمین انجام گرفت. این ایستگاه در ارتفاع ۱۹۳۰ متری از سطح دریا و طول جغرافیایی ۵۷° ۴۹' و عرض جغرافیایی ۲° ۳۲' قرار دارد.

ارقام آزمایشی: برای انجام این تحقیق هشت رقم لوبیا به نام‌های ارقام صدری، شکوفا، اختر، چیتی محلی خمین، درسا، کوشا، درخشان، پاک و دو لاین لوبیا به نام‌های، ۲۱۱۹۱ و لاین ۳۱۱۶۹ استفاده شد (ارقام لوبیای سفید شامل درسا، پاک و شکوفا؛ ارقام لوبیای قرمز شامل درخشان، اختر و لاین ۳۱۱۶۹؛ و ارقام لوبیای چیتی شامل محلی خمین، صدری، کوشا و لاین ۲۱۱۹۱).

طراحی آزمایش: آزمایش در قالب کرت‌های خردشده با دو تیمار سم‌پاشی و بدون سم‌پاشی به عنوان کرت‌های بزرگ و کرت‌های فرعی شامل هشت رقم و دو لاین لوبیا در چهار تکرار در مزرعه‌ای به ابعاد ۲۳×۲۶ متر در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت.

بستر کاشت با شخم زمین در پاییز سال قبل شروع و در خرداد ماه با کولتیواتور و دیسک‌زدن زمین و ایجاد فارو به فواصل ۵۰ سانتی‌متری تکمیل و آماده‌سازی شد. سپس با استفاده از میخ، کلاف و متر، مزرعه به دو تیمار بدون سم‌پاشی (شاهد)، با کرت‌هایی به اندازه ۲×۲ مترمربع و فاصله هر کرت از کرت دیگر نیم متر و فاصله هر ردیف از ردیف بعدی یک متر و تیمار سم‌پاشی که از لحاظ تعداد تکرار و ردیف‌ها کاملاً شبیه تیمار بدون سم‌پاشی بود و به فاصله دومتری از تیمار بدون سم‌پاشی قرار گرفت و تقسیم‌بندی گردید. سپس بذر ارقام و لاین‌های لوبیا از ایستگاه ملی تحقیقات لوبیای شهرستان خمین تهیه و بعد از ترسیم نقشه طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی کاغذ نسبت به کاشت آن‌ها روی فاروها طبق نقشه طرح اقدام شد. لازم به ذکر است که فاصله هر ردیف فارو در هر کرت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بذرهای هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از همدیگر یک متر در نظر گرفته شد. سپس آبیاری کرت‌ها که به روش آبیاری با تیوپ انجام گرفت و آبیاری کرت‌ها به فاصله پنج روز و تا ۲۰ روز قبل از برداشت، انجام شد.

نمونه‌برداری: پس از جوانه‌زنی لوبیا به صورت روزانه آلودگی احتمالی همه کرت‌ها با استفاده از لوپ دستی بررسی

که دامنه پراکندگی آن در سراسر جهان وسیع و تاکنون خسارت آن در بیش از ۹۰۰ گونه و ۱۲۴ تیره گیاهی گزارش شده است (Egas et al., 2003). این کنه، به عنوان مهم‌ترین آفت مناطق لوبیاکاری در کشور محسوب می‌شود و در بیش از ۸۰ درصد مزارع، به دفعات متعدد با آن کنترل شیمیایی صورت می‌گیرد و در صورت عدم کنترل، میزان خسارت آن تا ۸۰ درصد ارزیابی می‌شود (Khanjani, & Hadad Iran- (Nezhad, 2006).

کنه تارتن دولک‌های با مکیدن شیره گیاهی از برگ‌ها و همچنین غلاف‌های لوبیا، باعث ایجاد خسارت به لوبیا می‌شود (Godfrey, 2005). اهمیت کنه‌های تارتن دولک‌های به علت خسارت زیاد، دامنه میزبانی وسیع، سرعت افزایش جمعیت و توانایی در گسترش مقاومت به آفت‌کش‌ها است. کنه تارتن دولک‌های سرعت تولید مثل بالایی دارد و اولین آفت گلخانه‌ای است که مقاومت به آفت‌کش‌ها را نشان داد. این ویژگی‌ها، امروزه آن را به صورت آفت خطرناک و کاهش‌دهنده تولید کمی و کیفی محصولات کشاورزی درآورده است (Kavousi, 2000).

انتخاب رقم با توجه به آب و هوای منطقه، مقدار عملکرد، نوع رشد، زودرسی و یا دیررسی، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و بازارپسندی مناسب در هر منطقه صورت می‌گیرد. معمولاً انتخاب رقم در درجه اول با توجه به عملکرد بالا و بازارپسندی آن است و زودرسی و یا دیررسی ارقام به ژنتیک رقم، آب و هوای منطقه و مقدار کود مصرفی بستگی دارد. همه لوبیاهای خشک (چیتی، سفید، قرمز و کرم) در ایران از جنس و گونه *Phaseolus vulgaris* می‌باشند. بیشترین سطح زیرکشت لوبیا در ایران از نوع چیتی است. در حال حاضر حدود ۸۰ درصد سطح زیر کشت انواع لوبیا به صورت توده‌های محلی می‌باشند و استفاده از ارقام اصلاح‌شده در حال گسترش است (Dorri et al., 2003).

کنه تارتن دولک‌های به مزارع لوبیا در شهرستان خمین خسارت زیادی وارد می‌کند (Tahmasebi et al., 2010). از طرفی به منظور کنترل و جلوگیری خسارت این آفت سالانه مقدار قابل توجهی سم کنه‌کش مورد مصرف قرار می‌گیرد که علاوه بر افزایش هزینه‌های داشت، باعث آلودگی‌های زیستی در منطقه و همچنین باقی‌ماندن سموم در محصول لوبیا خواهد شد. لذا بررسی اثر کنه تارتن دولک‌های *T. urticae* روی ارقام مختلف لوبیا در منطقه خمین می‌تواند نسبت به معرفی رقم مناسب کشت به کشاورزان کمک زیادی نماید. در این تحقیق اثرکنه تارتن دولک‌های، *Tetranychus urticae* Koch

خرمنکوب محصول هر کرت به صورت جداگانه کوبیده و جمع آوری شد. سپس عملکرد هر کرت توسط ترازوی الکترونیکی دقیق وزن و ثبت گردید.

تجزیه آماری داده‌ها: جامعه آماری شامل بوته‌های ۱۰ ژنوتیپ لوبیا شامل: صدری، شکوفا، اختر، چیتی محلی خمین، درسا، کوشا، درخشان، پاک و ۲۱۱۹۱ و ۱۱۶۹ بودند که در چهار تکرار در مزرعه‌ای به ابعاد ۲۶×۲۳ متر به صورت کرت‌های خردشده در زمان در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. آلودگی ۱۰ ژنوتیپ مورد آزمایش به کنه تارتن دولکه‌ای در خصوص برگ، ساقه، غلاف و بوته، بررسی و عملکرد دانه آن‌ها با تیمار سمپاشی شده مقایسه گردید. در هر کرت آزمایشی ۳۰ نمونه تهیه شد. داده‌ها با نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شد. داده‌های درصد آلودگی ارقام مختلف به کنه دولکه‌ای در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری به روش کرت خردشده در زمان تجزیه شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد و داده‌های عملکرد ارقام در تیمار سمپاشی و بدون سمپاشی با روش کرت خردشده در مکان تجزیه شد و مقایسه میانگین‌ها با روش توکی انجام گردید.

شد. پس از شروع آلودگی، از هر کرت به صورت تصادفی ۳۰ برگ بررسی شده و وجود یا عدم وجود کنه در آن‌ها ثبت شد و این کار به فاصله پنج روز تکرار شد. بعد از گسترش آلودگی به ساقه، به صورت تصادفی ۳۰ ساقه در هر کرت به کمک لوپ دستی در مزرعه بررسی شده و با مشاهده مراحل مختلف کنه و تار، به عنوان ساقه آلوده تلقی و ثبت شد. این کار به فاصله پنج روز تکرار شد. بعد از گسترش آلودگی به غلاف‌ها به صورت تصادفی از هر کرت ۳۰ غلاف بررسی و این کار هر پنج روز یکبار تکرار و ثبت شد. بعد از گسترش آلودگی از غلاف به کل بوته به صورت تصادفی از هر کرت ۳۰ بوته بررسی و آلودگی آن‌ها ثبت شد. این کار هر پنج روز یکبار تکرار و تا زمان برداشت انجام گرفت.

در خصوص تیماری که به صورت تیمار کنترل شیمیایی در نظر گرفته شده بود، به محض شروع فعالیت کنه نسبت به سمپاشی با سموم کنه‌کش رایج در شهرستان که جهت کنترل کنه تارتن مورد استفاده قرار می‌گرفت (سم آبامکتین یک در هزار) سمپاشی انجام شد و این سمپاشی در طی دوره رویشی بستگی به نیاز کنترل شیمیایی کنه، تا سه مرحله تکرار شد. در پایان فصل زراعی، برداشت با دست انجام گرفت و با استفاده از

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد آلودگی بوته‌های ارقام مختلف لوبیا به کنه تارتن دولکه‌ای در تاریخ‌های نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۴

Table 1. Results of variance analysis of bush infestation percent of different bean cultivars to two-spotted spider mite during sampling dates in 2015

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات MS	F
تکرار Replication	3	0.52	0.85 ^{ns}
رقم Cultivar	9	18.55	30.72 ^{**}
رقم*تکرار (خطای اصلی) Cultivar*Replication	27	0.60	1.69
تاریخ نمونه‌برداری Date	2	13.86	38.89 ^{**}
تاریخ*رقم Date*cultivar	18	0.65	1.82 [*]
تاریخ*تکرار Date*Replication	6	0.46	1.28 ^{ns}
خطا Error	54	0.36	
خطای کل Total Error	119		
ضریب تغییرات (کرت اصلی) Coefficient of variation		38.48	
ضریب تغییرات (کرت فرعی) Coefficient of variation		28.79	

ns، * و **، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: Non significant, significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

نتایج و بحث

الف - نتایج درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دو لکه‌ای در ارقام مختلف لوبیا

الف - ۱ - سال ۱۳۹۴: نتایج بررسی درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دو لکه‌ای در ارقام مختلف لوبیا در تاریخ‌های نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۴ در (جدول ۱) درج شده است. مطابق با این جدول درصد آلودگی بوته‌ها در ارقام مختلف به طور معنی‌داری در سطح یک درصد تفاوت نشان داد. همچنین درصد آلودگی بوته در تاریخ‌های مختلف نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل نوع رقم و تاریخ نمونه‌برداری نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین میزان آلودگی بوته‌ها به کنه تارتن دو لکه‌ای در ارقام مختلف لوبیا با آزمون دانکن انجام شد (جدول ۲). براساس این جدول ارقام آزمایشی در شش گروه قرار

گرفت. بیشترین میزان آلودگی در رقم درخشان دیده شد که در یک گروه مستقل قرار گرفت. ارقام محلی خمین و صدری در گروه دوم قرار گرفتند. در گروه سوم رقم اختر قرار گرفت. رقم پاک، شکوفا و لاین ۳۱۱۶۹ در گروه چهار قرار گرفتند. رقم کوشا در گروه پنجم و لاین ۲۱۱۹۱ و رقم درسا با کمترین آلودگی در گروه ششم قرار گرفتند. بنابراین بر اساس تعداد بوته آلوده از هر ۳۰ بوته نمونه‌برداری شده در هر کرت، رقم‌های درخشان و محلی خمین به عنوان ارقام حساس لوبیا به کنه تارتن دو لکه‌ای بودند و ارقام درسا و کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ مقاوم‌تر بودند. میزان آلودگی بوته‌ها به کنه تارتن دو لکه‌ای در تاریخ‌های مختلف با آزمون دانکن نشان داد که آلودگی از ۹۴/۶/۳۱ در کرت‌های آزمایش شروع شد و در تاریخ ۹۴/۷/۱۰ به اوج خود رسید.

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثرات اصلی (رقم و تاریخ) بر درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دو لکه‌ای در سال ۱۳۹۴

مقایسه میانگین فاکتور اصلی (تاریخ) Mean comparison of the main factor (date)		مقایسه میانگین فاکتور فرعی (رقم) Mean comparison of the sub factor (cultivar)	
تاریخ Date	میانگین درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطای معیار Mean $\pm$ SE	رقم Cultivar	میانگین درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطای معیار Mean $\pm$ SE
94.06.31	1.25 $\pm$ 0.25c	Sadri	4.33 $\pm$ 0.54b
94.07.05	2.45 $\pm$ 0.35b	Shekufa	1.66 $\pm$ 0.35cd
94.07.10	3.22 $\pm$ 0.46a	Akhtar	2.41 $\pm$ 0.33c
		Line 31169	1.66 $\pm$ 0.30cd
		Dorsa	0 $\pm$ 0.00e
		Khomein native	4.16 $\pm$ 0.63b
		Darakhshan	6.5 $\pm$ 0.74a
		Kusha	0.58 $\pm$ 0.22de
		Pak	1.58 $\pm$ 0.43cd
		Line 21191	0.16 $\pm$ 0.11e

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Duncan's multiple ranges comparison of means test.

آلودگی بوته به کنه تارتن دو لکه‌ای حتی تا پایان برداشت هم دیده نشد و این لاین از این جهت مقاوم‌تر بود.

الف - ۲ - سال ۱۳۹۵: نتایج بررسی درصد بوته‌های آلوده ارقام مختلف لوبیا به کنه تارتن دو لکه‌ای در تاریخ‌های نمونه برداری در سال ۱۳۹۵ در جدول ۴ درج شده است. مطابق با این جدول درصد بوته‌های آلوده در ارقام مختلف به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد تفاوت نشان داد. همچنین درصد بوته‌های آلوده در تاریخ‌های مختلف نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل نوع رقم و تاریخ نمونه‌برداری نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

مقایسه اثر متقابل نوع رقم لوبیا و تاریخ‌های نمونه‌برداری بر درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دو لکه‌ای (جدول ۳) نشان داد که شروع آلودگی در ارقام مختلف متفاوت بوده و رقم درخشان از این جهت حساس‌تر بود و در رقم درسا آلودگی بوته مشاهده نشد.

در تاریخ ۹۴/۷/۱۰ که اوج آلودگی به کنه تارتن دو لکه‌ای دیده شد، تفاوت معنی‌داری بین ارقام وجود داشت. در این تاریخ بیشترین آلودگی در رقم درخشان و کمترین آلودگی در ارقام درسا، کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ دیده شد. در رقم درسا

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در تاریخ بر درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دو لکه‌ای در سال ۱۳۹۴

Table 3. Comparison of the mean of interaction effect of cultivar and date on plant infestation percent to two-spotted spider mite during 2015

تاریخ date	94/07/10 2015.10.02	94/07/05 2015.09.027	96/06/31 2015.09.22
رقم cultivar	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE
Sadri	5.5±0.86 bcd	4.75±0.85 cde	2.75±0.62 fghi
Shekufa	3±0.40 fghi	1.5±0.28 ijklm	0.5±0.28 lm
Akhtar	3.5±0.5 efgh	1.25±0.25 hijk	1.5±0.5 ijklm
Line 31169	2.5±0.28 ghij	2±0.40 hijkl	0.5±0.28 lm
Dorsa	0±0 m	0±0 m	0±0 m
Khomein native	5.75±1.10bc	4.25±0.85 cdef	2.5±0.86 ghij
Darakhshan	9±1.08 a	6.5±0.64 b	4±0.57 defg
Kusha	1±0.40 jklm	0.75±0.47klm	0±0 m
Pak	1.75±0.75 ijklm	2.25±0.75 hijk	0.75±0.75 klm
Line 21191	0.25±0.25 m	0.25±0.25 m	0±0 m

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Duncan's multiple ranges comparison of means test.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس درصد بوته‌های آلوده ارقام مختلف لوبیا به کنه تارتن دولکه‌ای در تاریخ‌های نمونه برداری در سال ۱۳۹۵

Table 4. Results of variance analysis of plants infestation percent of different bean cultivar to two-spotted spider mite during sampling dates in 2016

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات MS	F
تکرار Replication	3	0.022	0.27 ^{ns}
رقم Cultivar	9	5.496	67.98 ^{**}
رقم*تکرار (خطای اصلی) Cultivar*Replication	27	0.081	1.23
تاریخ نمونه‌برداری Date	3	5.376	81.57 ^{**}
تاریخ*رقم Date*cultivar	18	0.240	3.65 ^{**}
تاریخ*تکرار Date*Replication	6	0.013	0.19 ^{ns}
خطا Error	54	0.066	
خطای کل Total Error	119		
ضریب تغییرات (کرت اصلی) Coefficient of variation		17.65	
ضریب تغییرات (کرت فرعی) Coefficient of variation		15.93	

MS، * و **، به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: Non significant, significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

گرفتند. رقم کوشا در گروه پنجم قرار گرفت. لاین ۲۱۱۹۱ در گروه ششم و رقم درسا با کمترین آلودگی در گروه هفتم قرار گرفت. بنابراین در این آزمایش بر اساس تعداد بوته آلوده از هر ۳۰ بوته نمونه‌برداری شده در هر کرت رقم‌های درخشان، اختر و محلی خمین به عنوان ارقام حساس لوبیا به کنه تارتن دولکه‌ای بودند. و ارقام درسا و کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ نسبت به سایر ارقام مورد آزمایش مقاوم‌تر بودند.

مقایسه میانگین درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دولکه‌ای در ارقام مختلف لوبیا با آزمون دانکن انجام شد (جدول ۵). براساس این جدول ارقام آزمایشی در هفت گروه قرار گرفتند. بیشترین میزان آلودگی در رقم درخشان دیده شد که در یک گروه مستقل قرار گرفت. ارقام محلی خمین و صدی در گروه دوم قرار گرفتند. در گروه سوم رقم اختر قرار گرفت و ارقام پاک، شکوفا و لاین ۳۱۱۶۹ در گروه چهار قرار

درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دولکهای در تاريخ‌های مختلف با آزمون دانکن نشان داد که آلودگى از ۹۵/۶/۳۱ در کرت‌های آزمون شروع و در تاريخ ۹۵/۷/۱۰ به اوج خود رسيد.

جدول ۵- مقايسه ميانگين اثرات اصلى (رقم و تاريخ) بر درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دولکهای در سال ۱۳۹۵

Table 5. Comparison of the main effects (cultivar and date) on plant infestation to two-spotted spider mite during 2016

مقايسه ميانگين فاکتور اصلى (تاريخ)		مقايسه ميانگين فاکتور فرعى (رقم)	
Mean comparison of the main factor (date)		Mean comparison of the sub factor (cultivar)	
تاريخ	درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطاى معيار	رقم	درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطاى معيار
Date	Mean $\pm$ SE	Cultivar	Mean $\pm$ SE
95.06.31	1.5 $\pm$ 0.27c	Sadri	4.08 $\pm$ 0.49b
95.07.05	2.37 $\pm$ 0.42b	Shekufa	1.91 $\pm$ 0.52d
95.07.10	4.17 $\pm$ 0.50a	Akhtar	3.16 $\pm$ 0.63c
		Line 31169	2.08 $\pm$ 0.54d
		Dorsa	0.00 $\pm$ 0.00f
		Khomein native	4.41 $\pm$ 0.41b
		Darakhshan	8.25 $\pm$ 0.75a
		Kusha	0.83 $\pm$ 0.29e
		Pak	1.83 $\pm$ 0.32d
		Line 21191	0.25 $\pm$ 0.13ef

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P<0.05).

Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Duncan's multiple ranges comparison of means test.

تفاوت معنی‌دارى بين ارقام وجود داشت. در اين تاريخ بيشترين آلودگى در رقم درخشان و کمترین آلودگى در ارقام درسا، کوشا ولاين ۲۱۱۹۱ ديده شد. در رقم درسا و لاين ۲۱۱۹۱ آلودگى بوته به کنه تارتن دولکهای حتى تا پايان برداشت هم ديده نشد و از اين جهت مقاوم‌تر بودند.

مقايسه اثر متقابل نوع رقم لوبيا و تاريخ‌های نمونه‌برداری بر درصد بوته‌های آلوده به کنه تارتن دولکهای (جدول ۶) نشان داد که شروع آلودگى در ارقام مختلف متفاوت بوده و رقم درخشان از اين جهت حساس‌تر بود و ارقام درسا، کوشا و لاين ۲۱۱۹۱ به طور معنی‌دارى با تأخير آلوده شدند. در تاريخ ۹۵/۷/۱۰ که اوج آلودگى به کنه تارتن دولکهای ديده شد،

جدول ۶- مقايسه ميانگين درصد بوته‌های آلوده و اثر متقابل رقم در تاريخ نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۵

Table 6. Comparison of the mean of interaction effect of cultivar and date on plant infestation to two-spotted spider mite during 2016

تاريخ	95.07.10	95.07.05	95.06.31
date	2016.10.01	2016.09.26	2016.09.21
رقم	درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطاى معيار	درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطاى معيار	درصد بوته‌های آلوده $\pm$ خطاى معيار
cultivar	Mean $\pm$ SE	Mean $\pm$ SE	Mean $\pm$ SE
Sadri	4.25 $\pm$ 0.85 def	5.5 $\pm$ 0.64 cd	2.5 $\pm$ 0.28 gh
Shekufa	0.75 $\pm$ 0.47 jkl	4.25 $\pm$ 0.25 def	0.75 $\pm$ 0.25 jkl
Akhtar	2 $\pm$ 0.40 ghij	6 $\pm$ 0.40c	1.5 $\pm$ 0.28 hijk
Line 31169	1 $\pm$ 0.40 ijkl	4.5 $\pm$ 0.28 def	0.75 $\pm$ 0.25 jkl
Dorsa	0 $\pm$ 0.1	0 $\pm$ 0.1	0 $\pm$ 0.1
Khomein native	4 $\pm$ 0.40 ef	6 $\pm$ 0.40 c	3.25 $\pm$ 0.47 fg
Darakhshan	8.75 $\pm$ 0.۲۵ b	10.70 $\pm$ 0.80 a	5.25 $\pm$ 0.47 cde
Kusha	0.75 $\pm$ 0.47 jkl	1.5 $\pm$ 0.64 hijk	0.25 $\pm$ 0.25 kl
Pak	2.25 $\pm$ 0.47ghi	2.5 $\pm$ 0.5 gh	0.75 $\pm$ 0.25 jkl
Line 21191	0 $\pm$ 0.1	0.75 $\pm$ 0.25 jkl	0 $\pm$ 0.1

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P<0.05).

Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Duncan's multiple ranges comparison of means test.

کوشا و لاين ۲۱۱۹۱ با کمترین آلودگى و با تأخير آلودگى قابل ملاحظه‌ای نسبت به ساير ارقام، به‌عنوان ارقام مقاوم‌تر شناخته شدند.

آلودگى در ساقه‌ها در دو سال متوالی از تاريخ ۲۲مردادماه در هر سال، شروع و در تاريخ يکم شهریورماه به اوج خود رسيد.

طبق نتايج نمونه‌برداری در تحقيق حاضر شروع آلودگى در منطقه خمين ابتدا در برگ‌ها و بين سه تا چهار هفته پس از تاريخ کاشت ايجاد شد و اوج آلودگى برگ‌ها در دو سال مورد آزمون در ۱۷ مرداد ماه در هر سال بود. بيشترين ميزان آلودگى در برگ‌ها در رقم درخشان ديده شد و ارقام درسا و

رسید. رقم‌های درخشان، اختر و محلی خمین به‌عنوان ارقام حساس به کنه تارتن دولک‌های و ارقام درسا، کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ به‌عنوان ارقام مقاومتر در این خصوص شناخته شدند.

ب- اثر حضور کنه بر عملکرد ارقام مختلف لوبیا

ب-۱- سال ۱۳۹۴: نتایج بررسی تجزیه واریانس اثر رقم و تیمار سمپاشی‌شده در کنترل کنه تارتن دو لکه‌ای بر عملکرد محصول لوبیا در سال ۹۴ در (جدول ۷) نشان داد که میزان عملکرد در اثر تیمار سمپاشی و اثر ارقام مختلف به طور معنی داری در سطح یک‌درصد متفاوت بود. همچنین اثر متقابل تیمار سمپاشی‌شده و رقم نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

بیشترین میزان آلودگی ساقه‌ها در دو سال مربوط به رقم درخشان بود و رقم درسا و لاین ۲۱۱۹۱ کمترین آلودگی را در این خصوص داشتند.

آلودگی در غلاف‌ها در سال ۹۴ از ششم شهریورماه و در سال ۹۵ از یکم شهریورماه شروع شد و در دو سال متوالی اوج آلودگی غلاف‌ها در ۲۶ شهریورماه بود. رقم‌های درخشان، صدری، محلی خمین به‌عنوان ارقام حساس به کنه تارتن دولک‌های و ارقام درسا، کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ به‌عنوان ارقام مقاومتر در این خصوص مشخص شدند.

از لحاظ اوج آلودگی در بوته‌ها در دو سال متوالی ۹۴ و ۹۵ از ۳۱ شهریورماه شروع و در ۱۰ مهرماه در هر سال به اوج خود

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و تیمار سمپاشی علیه کنه دو لکه‌ای بر عملکرد لوبیا سال ۱۳۹۴

Table 7. Analysis of variance of effect of cultivar and treatment spraying against two-spotted spider mite on bean yield in 2015

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی Df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS
تکرار Replication	3	0.1178	0.0393 ^{ns}
سم‌پاشی Spraying	1	0.9921	0.9921 ^{**}
تکرار*سم‌پاشی (خطای اصلی) Spraying*Replication	3	0.0296	0.0099
رقم Cultivar	9	1.8028	0.2003 ^{**}
سم‌پاشی*رقم Spraying*cultivar	9	0.1907	0.0212 ^{**}
خطا Error	54	0.2390	0.0044
خطای کل Total Error	79	3.3721	0.0427
ضریب تغییرات (کرت اصلی) Coefficient of variation		6.06	
ضریب تغییرات (کرت فرعی) Coefficient of variation		4.06	

ns, * و **, به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: Non significant, significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

ب-۲- سال ۱۳۹۵: نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و تیمار سمپاشی‌شده در کنترل کنه تارتن دولک‌های بر عملکرد محصول لوبیا در سال ۹۵ (جدول ۹) نشان داد که میزان عملکرد در اثر تیمار سمپاشی در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بود و اثر ارقام مختلف به طور معنی‌داری در سطح یک‌درصد متفاوت بود. همچنین اثر متقابل تیمار سمپاشی‌شده و رقم نیز در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین عملکرد ارقام تحت برهمکنش رقم و تیمار سمپاشی و بدون سمپاشی که با استفاده از روش توکی انجام شد (جدول ۸) نشان داد بیشترین تأثیر کنترل کنه تارتن دولک‌های بر عملکرد در رقم درخشان و بعد از آن به ترتیب در ارقام شکوفا و صدری مشاهده شد و کمترین تأثیر در لاین ۲۱۱۹۱ و بعد در ارقام درسا و کوشا مشاهده گردید.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تیمار سمپاشی علیه کنه دولکه‌ای بر عملکرد لوبیا در سال ۱۳۹۴

Table 8. Mean comparison of the interaction effect of cultivar and treatment spraying against two spotted-spider mite on bean yield in 2015

رقم cultivar	با سمپاشی By spraying	بدون سمپاشی Non spraying
Sadri	1.66±0.036 cdef	1.36±0.022 hi
Shekufa	1.77±0.031 bcd	1.46±0.04 gh
Akhtar	1.72±0.059 cd	1.51±0.11efg
Line 31169	2.09±0.046 a	1.9±0.018 b
Dorsa	1.77±0.029 bcd	1.65±0.021cdef
Khomein native	1.62±0.014def	1.33±0.024 hi
Darakhshan	1.67±0.051cde	1.25±0.051 i
Kusha	1.75±0.027bcd	1.62±0.022 def
Pak	1.67±0.024 cde	1.5 ±0.013 fg
Line 21191	1.8±0.003 bc	1.7±0.024cd

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.05$).

Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Tukey's HSD comparison of means test.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و تیمار سمپاشی علیه کنه دولکه‌ای بر عملکرد لوبیا سال ۱۳۹۵

Table 9. Analysis of variance of effect of cultivar and treatment spraying against two-spotted spider mite on bean yield in 2016

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی Df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS
تکرار Replication	3	0.2177	0.0726 ^{ns}
سم‌پاشی Spraying	1	0.7810	0.7810*
تکرار * سم‌پاشی (خطای اصلی) Spraying*Replication	3	0.0783	0.0261
رقم Cultivar	9	1.5378	0.1709**
سم‌پاشی * رقم Spraying*cultivar	9	0.2131	0.0237**
خطا Error	54	0.2619	0.0049
خطای کل Total Error	79	3.0897	0.0391
ضریب تغییرات (کرت اصلی) Coefficient of variation		6.06	
ضریب تغییرات (کرت فرعی) Coefficient of variation		4.06	

ns, * و **, به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: Non significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

چون درسا به دلیل استقرار کمتر کنه روی آن‌ها، خسارت کمتری دیدند.

ب- ۳- تجزیه مرکب نتایج میزان عملکرد ارقام مختلف لوبیا در دو تیمار سمپاشی و بدون سمپاشی در دو سال متوالی ۹۴ و ۹۵ مطابق جدول ۱۱، تجزیه مرکب داده‌های آزمایش نشان داد که اثر سال بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود که احتمالاً ناشی از یکسان نبودن بارش‌های جوی، تابش نور و یا تحت اثر استرس‌های محیطی طی دو سال بود. همچنین اثر سال در رقم معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده پاسخ یکسان ارقام به تیمار مورد مطالعه طی دو سال آزمایش است.

مقایسه میانگین عملکرد ارقام تحت برهمکنش رقم و تیمار سمپاشی و بدون سمپاشی که با استفاده از روش توکی انجام شد (جدول ۱۰) نشان داد که بیشترین تأثیر کنترل کنه تارتن دولکه‌ای بر عملکرد در رقم درخشان و بعد از آن به ترتیب در ارقام محلی خمین و شکوفا مشاهده شد و کمترین تأثیر در رقم درسا و لاین ۲۱۱۹۱ مشاهده گردید. این نتیجه نشان می‌دهد که جمعیت آفت روی ارقام حساسی چون درخشان بیشتر بود و با کنترل شیمیایی میزان عملکرد در تیمار سمپاشی و بدون سمپاشی معنی‌دار بود و ارقام مقاومی

جدول ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد، اثر متقابل رقم و تیمار سمپاشی علیه کنه دو لکه‌ای بر عملکرد لوبیا در سال ۱۳۹۵

Table 10. Mean comparison of the interaction effect of cultivar and treatment spraying against two-spotted spider mite on bean yield in 2016

رقم Cultivar	با سمپاشی By spraying	بدون سمپاشی Non spraying
Sadri	1.484±0.0009 cdef	1.227±0.017 ghi
Shekufa	1.587±0.023 bcd	1.421±0.031 def
Akhtar	1.54± 0.023 bcd	1.321±0.033fgh
Line 31169	1.867±0.032 a	1.68±0.039 b
Dorsa	1.587±0.046 bcd	1.507±0.05 cde
Khomein native	1.447±0.023 cdef	1.176±0.037 hi
Darakhshan	1.493± 0.072 cde	1.049± 0.024 i
Kusha	1.563±0.051 bcd	1.459±0.115 cdef
Pak	1.493±0.034 cde	1.338±0.059 efg
Line 21191	1.61±0.035bc	1.518±0.084 bcd

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است (P<0.05)

Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level using Tukey's HSD comparison of means test.

جدول ۱۱- تجزیه مرکب اثر رقم و تیمار سمپاشی علیه کنه دو لکه‌ای بر عملکرد لوبیا در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

Table 11. Combined analysis of cultivar and treatment spraying effect against two-spotted spider mite on bean yield during 2015-16

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی Df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS
سال year	1	1.17	0.17 **
تکرار درون سال Replication	6	0.34	0.06**
سم‌پاشی Spraying	1	1.77	1.77**
سال * سم‌پاشی Spraying*year	1	0.01	0.01 ns
خطای اصلی Main Error	6	0.11	0.02
رقم Cultivar	9	3.31	0.37**
سال * رقم year*cultivar	9	0.03	0.0031 ^{ns}
سم‌پاشی * رقم Spraying*year	9	0.38	0.04**
سال * سم‌پاشی * رقم Spraying*year*cultivar	9	0.02	0.0022 ^{ns}
خطا Error	108	0.2390	0.0046
خطای کل Total Error	159	0.50	0.05
ضریب تغییرات (کرت اصلی) Coefficient of variation		7.63	
ضریب تغییرات (کرت فرعی) Coefficient of variation		4.38	

ns, * و **, به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns, * and **: Non significant, significant at P< 0.05 and P< 0.01, respectively.

همچنین، نتایج بررسی تجزیه واریانس اثر رقم و تیمار سمپاشی شده در کنترل کنه تارتن دولکه‌ای بر عملکرد محصول لوبیا نشان داد که میزان عملکرد در اثر تیمار سمپاشی در سال ۹۴ در سطح یک درصد و در سال ۹۵ در سطح پنج درصد معنی‌دار

در میان ارقام مورد بررسی در این تحقیق رقم درسا و لاین ۲۱۱۹۱ به علت مقاومت قابل توجه نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش و همچنین عملکرد مناسب دانه، می‌توانند به عنوان ارقام مناسب مقاوم به کنه تارتن معرفی شوند.

بود و اثر ارقام مختلف به طور معنی‌داری در سال ۹۴ و ۹۵ در سطح یک درصد متفاوت بود. همچنین اثر متقابل تیمار سمپاشی شده و رقم نیز در هر دو سال ذکر شده در سطح یک-درصد معنی‌دار بود. لذا مقایسه میانگین عملکرد ارقام تحت برهمکنش رقم و تیمار سمپاشی و بدون سمپاشی که با استفاده از روش توکی انجام شد، نشان داد که در دو سال ۹۴ و ۹۵ بیشترین تأثیر کنترل کنه تارتن دولکه‌ای بر عملکرد در رقم درخشان، محلی خمین، شکوفا و صدری و کمترین تأثیر عملکرد، در رقم درسا و لاین ۲۱۱۹۱ مشاهده شد.

در زمینه اثر فعالیت کنه تارتن بر عملکرد ارقام مختلف گیاه میزبان مطالعات متعددی در ایران (Tahmasebi et al, 2010; Mohayseni et al, 2005; Mohammadi et al 2010; Tahmasebi, 2013; Modarres Najaf Abadi, 2011) و در جهان (Polis, 1973; Aydemir & Torus, 1992; Flexner et al, 1995; Bynum et al, 2004a, 2004b; Shanks et al, 1995; Labanowska, 2007; Khan et al, 2003; Karban, 1987; Xu et al, 2004

انجام گرفته است. در اغلب این مطالعات ژنوتیپ‌هایی نظیر BAT417, BAT82, BAT93, KS21235, KS21163, Black 1115, Black1170 ارقام مقاوم به کنه تارتن معرفی شده‌اند. در مطالعه‌ای مکانیسم مقاومت به کنه تارتن دولکه‌ای با استفاده از آزمون‌های استاندارد گلخانه‌ای در ۳۶ ژنوتیپ لوبیای چیتی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این آزمایش بالاترین شاخص مقاومت گیاهی در ژنوتیپ‌های KS21235 و KS2161 و کمترین شاخص مقاومت و یا به عبارتی بیشترین حساسیت به کنه دو لکه‌ای در ژنوتیپ‌های KS21144 و KS21163 تعیین شد (Yousefi & Dorri, 2007). در ارزیابی مقاومت و حساسیت ۱۴ ژنوتیپ لوبیای سفید و قرمز به کنه تارتن دولکه‌ای *T. urticae* ژنوتیپ دهقان و D81083 را مقاوم و ژنوتیپ Kara Casehiro را حساس ترین میزبان به کنه تارتن معرفی کردند (Mohammadi et al., 2010). در بررسی انجام شده در خصوص تعیین ۴۰ ژنوتیپ مقاوم و حساس لوبیا به تنش کنه تارتن دولکه‌ای با استفاده از شاخص‌های مقاومت، Harm, SSI, STL, MP, GMP که برای صفت عملکرد دانه محاسبه و ژنوتیپ‌های مقاوم به کنه دولکه‌ای با استفاده از آن‌ها انتخاب شدند، نشان داد که ژنوتیپ‌های ks31167, ks21479 و ۱۱۸۶ سیاه و ۱۱۱۴ چیتی به عنوان مقاوم‌ترین ارقام در تحقیق بودند (Tahmasebi, 2013). در تحقیق دیگری ۲۳ ژنوتیپ لوبیا هم در سطح مزرعه و هم گلخانه ارزیابی گردیدند و Black1170 و Black 1115 به عنوان مقاوم‌ترین انتخاب گردیدند (Tahmasebi et al, 2010). در مطالعه انجام شده به منظور

بررسی تحمل شش ژنوتیپ مختلف لوبیا به نام لوبیاچیتی محلی خمین، لوبیا چیتی KS21189، لوبیاقرمز اختر، لوبیاقرمز KS31169، لوبیاسفید پاک و لوبیاسفید G11867 به کنه تارتن دولکه‌ای، *T. urticae* که بر اساس ارزیابی مکانیسم تحمل ارقام مختلف لوبیا نسبت به خسارت وارد شده توسط کنه *T. urticae*، درصد کاهش کلروفیل برگ پس از تغذیه کنه تارتن از ارقام لوبیا بوده، نتایج حاصل نشان دادند که بیشترین میزان درصد کاهش کلروفیل پس از تغذیه کنه تارتن دولکه‌ای از برگ‌های لوبیا در لوبیاقرمز اختر و کمترین آن در لوبیا سفیدپاک به ثبت رسید. این امر نشان می‌دهد ارقام لوبیاسفید تحمل بیشتری نسبت به تغذیه کنه تارتن دولکه‌ای نسبت به سایر ارقام از خود نشان می‌دهند (Modarres Najaf Abadi, 2011). مطالعه مقاومت بیش از ۵۰۰ (واریته لوبیا به کنه تارتن (*T. desertorum*) در مؤسسه تحقیقاتی سیات (CIAT) در شرایط مزرعه‌ای نشان داد که فقط چند لاین (BAT417, BAT82, BAT93) به خسارت کنه مقاوم بودند (Flexner et al., 1995)

ژنوتیپ یکی از مهم‌ترین عوامل مقاومت گیاهان به کنه تارتن می‌باشد. رقم درسا نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش مقاومت بیشتری از خود نشان داد که تأییدی بر تحقیق (Modarres Najaf Abadi, 2011) می‌باشد که با بررسی شش ژنوتیپ لوبیای مختلف نشان داد که ارقام لوبیاسفید تحمل بیشتری نسبت به تغذیه کنه تارتن دولکه‌ای نسبت به سایر ارقام دارند. همچنین همان تحقیق (Modarres Najaf Abadi, 2011) مشخص کرد که رقم پاک نسبت به لاین G11867 (که در سال ۸۹ به نام رقم درسا معرفی شد) مقاومت بیشتری نشان داد. در تحقیق حاضر، رقم درسا بیشترین مقاومت را نسبت به رقم پاک و سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از خود نشان داد که این نتیجه تأییدی بر تحقیق (Dorri & Bizaei, 2007) که رقم درسا را مقاوم‌ترین رقم لوبیا به کنه تارتن دولکه‌ای شناسایی و معرفی کردند، می‌باشد. همچنین در تحقیقی که روی ۱۹ ژنوتیپ لوبیا به منظور تعیین ژنوتیپ مقاوم به کنه تارتن دولکه‌ای در گلخانه انجام دادند، نشان داده شد ارقام محلی خمین و اختر دارای شمارش کمتر تخم و کنه بالغ روی برگ، به نسبت لاین 21191 در مقایسه با رقم شاهد (درخشان) بود و لاین 21191 حتی نسبت به رقم درخشان دارای بیشترین مقیاس خسارت بود و همچنین ارقام محلی خمین و اختر دارای مقیاس خسارت کمتری نسبت به لاین 21191 بوده‌اند (Tahmasebi et al., 2010). در حالی که در تحقیق حاضر مشخص شد لاین 21191 بعد از رقم درسا دارای بیشترین مقاومت به کنه تارتن دولکه‌ای در بین ژنوتیپ

خمین و صدری مقاومت بیشتری در قبال جمعیت کنه تارتن در شرایط مزرعه منطقه خمین از خود نشان دادند که مهم‌ترین علت را می‌توان به مواردی مانند ژنوتیپ، تیپ رویشی و تاریخ آلودگی به کنه نسبت داد.

در برنامه مدیریت کنترل این آفت، استفاده از لاین ۲۱۱۹۱ (که در سال ۹۵ به‌عنوان رقم غفار معرفی شد) و رقم های درسا و کوشا می‌تواند در کاهش دفعات کنترل شیمیایی بسیار مؤثر واقع شود. همچنین رقم درسا به‌عنوان رقم لوبیای سفید، لاین ۲۱۱۹۱ (رقم غفار) به‌عنوان لوبیای چیتی، و لاین ۳۱۱۶۹ (که در سال ۹۵ به‌عنوان رقم یاقوت معرفی شد) به‌عنوان لوبیای قرمز ارقام مقاوم به کنه تارتن دولکهای با عملکرد مناسب در این تحقیق بودند که می‌تواند نتیجه قابل ملاحظه‌ای برای کشاورزان در برداشته باشند.

های مورد آزمایش می‌باشد و ارقام درخشان، محلی خمین و اختر بیشترین حساسیت را به کنه تارتن از خود نشان دادند. همچنین این تحقیق نشان داد رقم درسا که دارای بذر سفیدی است و ارقام کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ که از ارقام پابلند محسوب می‌شوند، دارای بیشترین مقاومت به کنه تارتن می‌باشند که این نتیجه می‌تواند تأییدی بر تحقیق (Polis 1973) باشد که نشان داد لاین‌هایی از لوبیا که برای مقاومت به کنه دولکهای انتخاب شده‌اند، دارای صفاتی نظیر زودرسی، عادات رشدی پایه بلندی یا رونده، پوشش بذر (تستا) قرمز-قهوه‌ای و سفید و برگ‌های سیاه-سبز بودند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ارقام درسا و کوشا و لاین ۲۱۱۹۱ به نسبت ارقام درخشان، چیتی محلی

منابع

1. Bynum, E.D., Xu, W., and Archer, T.L. 2004a. Diallel analysis of spider mite resistance maize inbred lines and F1 crosses. *Crop Science* 44: 1535-1549.
2. Bynum, E.D., Xu, W., and Archer, T.L. 2004b. Potential efficacy of spider mite resistance genes in maize testcross. *Crop Protection* 23: 625-634.
3. Dorri, H.R., Lak, M.R., Bani Jamali, S.M., Dadivar, M., Ghanbari, A.A., Khodshenas, M.A., and Asadi, B. 2003. Beans (from Planting to Harvesting). Promotional Educational Publication, Management of Promotion and Popular Participation of Agricultural Jihad, s Organization of Markazi Province. No. 305. (In Persian).
4. Dorri, H.R., and Bizaei, A. 2007. Introduction of new cultivar of white bean, Dorsa. *Proceeding of 5th National Conference of Iran Grains*. University of Tehran, No. 379. (In Persian).
5. Egas, M., Norde, D.J., and Sabelis, M.W. 2003. Adaptive learning in arthropods: spider mites learn to distinguish food quality. *Experimental Applied Acarology*: 30: 233-247.
6. Flexner, J.L., Westigard, P.H., Hilton, R., and Croft, B.A. 1995. Experimental evaluation of resistance: Management for two-spotted spider mite on southern Oregon pear. *Journal of Economic Entomology* 87: 167-170.
7. Godfrey, L.D. 2005. Management Guidelines for Spider Mite on Dry Beans. The Regents of the University of California, USA.
8. Karban, R. 1987. Environmental conditions affecting the strength of induced resistance against mites in cotton. *Oecologia* 73: 414-419.
9. Kavousi, A. 2000. Laboratory evaluation of three pesticides on the predatory mite, *Phytoseiulus persimilis*. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Iran. 170 pp. (In Persian with English Summary).
10. Khaghani, S., Bihamta, M.R., Changizi, M., Dorri, H.R., Khaghani, S.H., Bakhtiyari, A., and Safapour, M. 2010. Comparison of quantitative and qualitative traits of white and red beans in normal and drought stress conditions. *Environmental Stress in Plant Sciences* 1(2): 169-182.
11. Khan, M.T., Naeem, M., and Akram, M. 2003. Studies on varietal resistance of cotton against insect pest complex. *Sarhad Journal of Agriculture* 19: 1-10.
12. Khanjani, M., and Hadad Iran Nezhad, K. 2006. Injurious Mites of Agricultural Crops in Iran. Bu-Ali Sina University Press, p.515 (In Persian).
13. Khanjani, M. 2013. Field Crop Pest in Iran (Insects and Mites). Bu-Ali Sina University Press, Sixth edition, 731 p.
14. Labanowska, B. 2007. Susceptibility of strawberry cultivars to the two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 15: 133-146.
15. Modarres Najaf Abadi, S.S. 2011. Assessing the effect of tension conditions on population changes and the damage of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) in different

- genotypes of red beans in Khomein region (abstract). Abstract Articles of the 4th National Cereal Conference of Iran, Markazi, Agricultural and Natural and Resources Research and Education Center, P. 317 (In Persian).
16. Mohammadi, S., Seraj, A., Saeedi, Z., and Moharrami pour, S. 2010. Evaluation of resistance and susceptibility of 14 red and white bean genotypes to two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Plant Protection (Agricultural Journal) 33(2). (In Persian with English Summary).
 17. Mohayseni, A., Shadi, M., Shahverdi, M., Pirhadi Deh Alikhani, A., Kushki, M.H., and Nasrollahi, M. 2005. Effect of Macroelements (N.P.K) on damage of two-spotted spider mite and agronomic characters of bean (*Phaseols vulgaris*) variety Darakhshan in Borujerd. The Articles of the First National Congress of Cereals. Research of Herbaceous Sciences of Firdausi University of Mashhad, 2005.11.20 and 21. (In Persian with English Summary).
 18. Polis, G.A. 1973. Phaseolus. University of Kentucky, Press center, USA. 124 pp.
 19. Shanks, C., Chandler, C., Show, E., and Moore, P. 1995. Fragaria resistance to spider mites at three locations in the United States. Horticulture Science 30(5): 1068-1069.
 20. Tahmasebi, Z. 2013. Determination of sensitive and resistant cultivars, bean to tension of two spotted-spider mite *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) by using resistance indicator. 6th Conference Agricultural Research Findings, Kurdistan University.
 21. Tahmasebi, Z., Bihamta, M.R., Hossein Zadeh, A., Saboori, A., Kosari, A.A., and Dorri, H.R. 2010. Response of common bean genotypes to two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) in reenhouse and field. Seed and Plant Improvement Journal 25(2): 329-348. (In Persian with English Summary).
 22. Tahmasebi, Z., Hossein Zadeh, A., Bihamta, M., Naghavi, M., Saboori, A., Dorri, H., and Kushki, M. 2010. An investigation on resistance of 19 common bean genotypes to two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), in three regions of Iran. Journal of Entomological Society of Iran 30(2): 69-78. (In Persian with English Summary).
 23. Xu, W.W., Archer, T.L., Bynum, E.D., and Odvody. G. 2004. Registration of maize germless line TX202. Crop Science 44: 1883-1884.
 24. Yousefi, M., and Dorri, H.R. 2007. Evaluation of resistance mechanism to two-spotted spider mite on some chiti bean genotype in greenhouse conditions. Proceedings of the 2nd National Legume Crops Symposium of Iran. Karaj, Iran. pp. 257-268. (In Persian).

Evaluation of bean cultivars resistance to two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) under field conditions

Kazemi¹, A., Askarianzadeh^{2*}, A., Saeedizadeh³, A. & Ghadiri⁴, A.

1. MSc. Student, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran;
redroseros2@gmail.com

2. Associate Professor of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran,
ayatsaeed314@gmail.com

4. Assistant Professor, Khomein National Bean Research Station at Agricultural Research & Education Organization;
a.ghadiri@areeo.ac.ir

Received: 21 October 2018

Accepted: 9 April 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.76080

Introduction

Two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) is one of the most important damaging pests to bean farms. In order to reduce these damages, farmers are forced to spray their fields several times. One of the best methods to reduce pest damages is using of resistant cultivars. In addition to tolerance to the pests and reduction of spraying and consequently reduction of environmental pollutions, this method can also have benefit of higher yield. In this research, bean cultivars resistance to two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) in field conditions evaluated.

Materials and Methods

In order to study and evaluate resistance of eight cultivars (including: Sadri, Shokufa, Akhtar, Khomein, Dorsa, Kusha, Darakhshan and Pak) and two lines (21191 and 31169) of bean to two-spotted spider mite during two successive farming years of 2015 and 2016. An experiment was conducted in the form of split plots design in time, in National Research Bean Center of Khomein city. This experiment was performed by observational method with leaves', stems', pods' and bushes infestation to two-spotted spider mite and comparing them with the control and the evaluation of their yields. The statistical population included 10 genotypes of bean. This experiment was carried out in four replications in a field with a size of 23 × 26 m in a split plot arrangement based on a randomized complete block design. Ten genotypes were tested against two-spotted spider mite on leaf, stem, pods, plant, and their grain yield by spray treatment. In each plot, 30 samples were prepared. The data were analyzed by SAS software. The comparison of the mean of infestation of the cultivars and the sampling time by Duncan's test and the comparison of the mean yield by Tukey HSD test was performed.

Results and Discussion

Infestation in the stems of bean began in two consecutive years on 12 August every year and peaked on the 22 of August. The highest amount of stem infestation in two years was related to Darakhshan cultivar and Dorsa and Line 21191 had the least infestation in this regard. Infestation in pods of beans began in year 2015 on 26th of August and in 2016 year on the 21st of August. But in two consecutive years, the peak of pod infestation was on 16th of September. Darakhshan, Sadri, Khomein cultivars were identified as susceptible cultivars to the mite and the cultivars Dorsa, Kusha and Line 21191 as more resistant cultivars in this regard. Beginning of infestation in bushes in both years was 20 September and the peak of them occurred on 30 September. Results showed that the amount of infestation of experimental cultivars and lines to two-spotted spider mite was significantly different. These differences were related to the beginning of infestation and yield. Means comparison showed that Darakhshan, Akhtar and Khomein were sensitive to the pest but line 21191 and Kusha cultivar as chiti bean cultivars, Dorsa as a White bean cultivar, and line 31169 as a Red

*Corresponding Author: askarianzadeh@shahed.ac.ir

bean have more resistance to two-spotted spider mite and have acceptable yield in comparison with other experimental cultivars. The combined analysis of the data two yearly showed that the effect of year on the grain yield was significant, which was probably due to the uneven atmospheric rainfall, exposure to light, or under the influence of environmental stresses over two years. Also, the interaction of year and cultivar was not significant that it is showed the same response of the cultivars to the pest in the two years of the experiment.

Conclusion

In general, the results of the present study showed that Dorsa, Kusha and line of 21191, as compared to Darakhshan, Chiti of Khomein, showed more resistance to the populations of two-spotted spider mite in field conditions that the most important causes of these results cases such as genotype, vegetation type and date of mite infestation can be attributed. Therefore, in order to prevent continuous spraying in bean fields and to obtain optimum yield, it is recommended that the line 21191 (introduced in 2016 as Ghaffar cultivar) and Dorsa and Kusha cultivars to be used. Also, Dorsa cultivar as white bean cultivar, line 21191 (Ghaffar cultivar) as chiti's bean, and line 31169 (which was introduced as Yaghut cultivar in 2016) as a red bean, resistant cultivars to two-spotted spider mite was designated in this study. So this research can be very helpful and efficient for improving yield and reducing the use of pesticides in the bean fields.

Keywords: Bean, Cultivar, Resistance, Two-spotted spider mite, Yield

برهمکنش یون‌های سدیم و پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود (*Cicer arietinum* L.)

مصطفی شمس آبادی^۱، علی گنجعلی^{۲*}، مهرداد لاهوتی^۳ و الهام امجدی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه و نیز عضو پیوسته گروه پژوهشی بقولات پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ mlahouti@um.ac.ir

۴- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ elham.amjadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶

چکیده

یون سدیم به عنوان یکی از عوامل اصلی تنش شوری مطرح است و در این راستا گزارش‌هایی از نقش بهبوددهندگی یون کلسیم برای اثرات منفی ناشی از تنش شوری ارائه شده است. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری (یون سدیم) بر ارقام تجاری نخود (جم و پیروز) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط فیتوترون در محل آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. هر گلدان به حجم دو لیتر حاوی مخلوطی از خاک باغچه و ماسه نرم به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. در این آزمایش تأثیر سطوح مختلف شوری شامل صفر (شاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر توأم با کاربرد سولفات کلسیم با غلظت‌های صفر (شاهد) و ۵ میلی‌مولار بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه در مرحله گلدهی مورد بررسی قرار گرفت. صفاتی مانند سطح برگ، طول ریشه و میزان پتاسیم برگ با افزایش غلظت یون سدیم کاهش یافت و این کاهش در سطوح شوری ۱۲-۹ dS/m معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). با افزایش میزان شوری صفاتی از قبیل مقاومت روزه‌ای، مقدار سدیم و پرولین برگ و ریشه در راستای کاهش تلفات و جذب بیشتر آب به دنبال وقوع تنش ثانویه خشکی به صورت معنی‌داری افزایش یافت ($P \leq 0.05$). نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از سولفات کلسیم به منظور کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شوری به‌ویژه در سطوح بالای شوری می‌تواند در گیاه نخود امیدبخش باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، کلسیم، مرحله گلدهی، نخود

مقدمه

های شور می‌باشد. شوری خاک و آب از جمله عوامل تنش‌زای محیطی می‌باشد که علاوه بر اختلال و کاهش قابلیت جذب آب توسط ریشه‌ها، گیاهان را نیز از نظر تغذیه‌ای و فرآیندهای متابولیکی دچار مشکل می‌نماید (Khorasaninejad et al., 2010). شوری سبب افزایش فشرده‌گی خاک، کاهش مواد آلی و نفوذپذیری خاک، تجمع بیش از حد یون‌های مضر سدیم و کلر می‌شود، در حالی که غلظت یون پتاسیم در گیاه در این شرایط کاهش می‌یابد. کاهش آب در دسترس در شرایط تنش شوری سبب تخریب غشای سلولی و تجمع یون‌ها در محیط رشد گیاه شده و مانع جذب آب کافی توسط گیاه می‌گردد (Shahid et al., 2012).

تجمع یون سدیم در برگ نخود و کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی از عوامل اصلی آسیب‌پذیری گیاه در مقابل تنش شوری است. در محیط‌های شور ساختار کلروپلاست‌ها و

حبوبات یکی از مهم‌ترین منابع پروتئینی در رژیم غذایی بسیاری از مردم کشورهای در حال توسعه می‌باشند. به دلیل دو برابر بودن میزان پروتئین حبوبات نسبت به غلات، حبوبات بعنوان مکمل پروتئین غلات در رژیم غذایی بویژه برای افراد کم‌درآمد اهمیت زیادی دارد. نخود با تولید جهانی حدود ۱۲ میلیون تن در سال، سومین حبوبه مهم دنیا به‌شمار می‌رود (FAO, 2018). نخود از جمله گیاهان حساس به شوری است و آستانه تحمل به تنش شوری این گیاه بین ۲ تا ۳ دسی زیمنس بر متر با توجه به ژنوتیپ گیاه متفاوت است (Maliro et al., 2008). شناخت ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش شوری هدفی مهم و اقتصادی در جهت بهبود عملکرد نخود در خاک

* نویسنده مسئول: ganjeali@um.ac.ir

نخود جم و پیروز^۱، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۸ در فیتوترون آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم پایه و پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این آزمایش تأثیر پنج سطح شوری شامل غلظت‌های صفر (شاهد)، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ dS/m سدیم و دو سطح کلسیم شامل غلظت‌های صفر (شاهد) و ۵ میلی‌مولار سولفات کلسیم مورد بررسی قرار گرفت. هر گلدان به حجم دو لیتر که با مخلوطی از خاک باغچه و ماسه نرم پر شده بودند به عنوان یک واحد آزمایشی انتخاب شدند. گلدان‌ها به مدت یک هفته تا سبز شدن با آب معمولی، آبیاری شد. پس از این زمان، گلدان‌ها مطابق تیمارهای آزمایشی (اعمال سطوح مختلف شوری و کلسیم) آبیاری شدند. به منظور ثابت‌نگه‌داشتن مقدار شوری در محیط کشت هدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها اندازه‌گیری و مرتباً کنترل شد. طی دوره رشد، فتوپریود شامل ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دما بین ۲۸-۲۴ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. گیاهان تا مرحله گلدهی (گلدهی ۵۰ درصد بوته‌ها) رشد کردند و پس از این مرحله (۷ هفته پس از کاشت) برداشت شدند.

گیاهان ۷ هفته‌ای از گلدان خارج و بخش هوایی و ریشه گیاه تفکیک شدند. صفات مورفولوژیک گیاه شامل ارتفاع بوته به وسیله خط‌کش، سطح برگ‌ها به وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۲، ساخت شرکت ADC انگلستان مدل Light Box اندازه‌گیری شدند و صفات مربوط به ریشه شامل طول پس از رنگ‌آمیزی با پرمنگنات منیزیم و خشک‌کردن آب موجود در سطح ریشه، با استفاده دستگاه اسکنر متصل به کامپیوتر ساخت شرکت Delta-T SCAN انگلستان اندازه‌گیری شدند. میزان مقاومت روزه‌ای گیاه توسط دستگاه پرومتر (DELTA T DEVICES UK AP4) اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور تعیین وزن خشک ساقه، برگ‌ها و ریشه‌ها در آون ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها با ترازویی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. عدد کلروفیل‌متر (عدد SPAD) به وسیله دستگاه کلروفیل‌متر مدل CCM-200 اندازه‌گیری شدند.

شاخص پایداری غشاء

پایداری غشاء با استفاده از روش Sairam & Saxena (2001) انجام شد و پس از رسیدن دمای لوله‌ها به دمای محیط، هدایت الکتریکی نمونه‌ها به وسیله دستگاه EC-متر

رنگیزه‌ها در گیاهان تخریب می‌شوند، همچنین متابولیسم نیتروژن و ساخت ترکیباتی نظیر پرولین دچار اختلال می‌شود که علاوه بر کاهش توان اسمزی گیاه میزان کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. به دنبال افزایش یون سدیم، مقاومت روزه‌ای در نتیجه بسته‌شدن روزه‌ها افزایش می‌یابد و متعاقب آن کاهش جذب عناصر غذایی و افزایش سمیت یونی بروز خواهد کرد (Zaki & Radwan., 2011).

پرولین علاوه بر این که به عنوان ماده تنظیم‌کننده اسمزی بین سیتوپلاسم و واکوئل عمل می‌کند، از طریق جلوگیری از دنا توره‌شدن ساختارهای پروتئینی نقش حفاظت از زیرساخت های سلولی در برابر صدمات رادیکال‌های آزاد را نیز به عهده دارد. در بسیاری از گونه‌ها، پرولین در شرایط تنش از جمله کمبود آب، شوری، دماهای بالا و شدت نور زیاد تولید می‌شود (Singh, 2004).

برخی عناصر مانند کلسیم قادر به خنثی کردن عوارض ناشی از تنش شوری می‌باشند (Tahir et al., 2006). نشانه های کمبود کلسیم زمانی مطرح می‌شود که نسبت سدیم به کلسیم در محلول خاک زیاد باشد. به نظر می‌رسد کلسیم به آسانی در مکان‌های پیوندی غشاء، جایگزین سایر کاتیون‌ها می‌شود و گیاه با کاهش فراهمی کلسیم به طور جدی آسیب‌پذیر می‌شود (Levent Tuna et al., 2007). شوری سبب کاهش مقدار فسفولیپیدهای غشاء شده که نتیجه آن کاهش چگالی بار در سطح غشاء می‌باشد. افزایش غلظت کلسیم در محیط ریشه و در شرایط تنش شوری منجر به بهبود اثرات بازدارندگی رشد شده است. تأثیر مثبت کلسیم در رشد طولی سلول، تقسیم سلول و تأثیر آن در pH سلول، در مطالعات مختلف تأیید شده است (Humeau et al., 2018).

در تنش شوری، غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش رشد و عملکرد گیاهان است (Kumar et al., 2004). از آنجا که تحقیقات در زمینه واکنش ارقام نخود به حضور یون‌های سدیم و پتاسیم اندک بوده است و با توجه به اهمیت نقش بهبوددهندگی کلسیم در شرایط تنش شوری، لذا این پژوهش به منظور بررسی واکنش ارقام نخود رایج کشور به غلظت‌های مختلف یون‌های Na^+ و Ca^{2+} اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری بر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام

1. Jam and Pirooz
2. Leaf Area Meter

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی صفات مورفولوژیک

در این آزمایش شوری، رقم و برهم‌کنش شوری و کلسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه و شوری و رقم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه و وزن خشک برگ گیاه داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش تدریجی وزن خشک ساقه و ریشه شد که در ساقه و برگ در سطوح شوری ۱۲-۶ dS/m کاهش و در کلیه سطوح شوری در ریشه نسبت به شاهد معنی‌دار بود. شوری در هر دو رقم وزن خشک ساقه را کاهش داد. کاهش فوق در رقم جم در سطوح شوری ۱۲-۶ dS/m و در رقم پیروز در سطوح شوری ۱۲-۹ dS/m نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود و این کاهش با نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده روی گیاه ذرت (Kaya et al., 2013) مطابقت دارد. باور بر این است که پاسخ منفی وزن خشک گیاه به افزایش تنش شوری، حاصل کاهش سطح برگ، جذب کمتر نور و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌باشد. در واقع در شرایط تنش شوری، هسته و DNA سلول متلاشی و حالتی مشابه مرگ برنامه‌ریزی‌شده به وجود می‌آید. همچنین اختلال در جذب عناصر غذایی ناشی از رقابت سدیم با پتاسیم سبب صرف انرژی بیشتر گیاه جهت تولید مواد آلی شده و انرژی لازم برای مقابله با تنش شوری و همچنین کارایی سیستم ریشه کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش طول و وزن خشک ریشه و اندام بخش هوایی می‌گردد (Bai et al., 2011). تأثیر کلسیم در بهبودی اثرات منفی شوری در رقم جم بیشتر از رقم پیروز بود (جدول ۲). تأثیر کلسیم در بهبود وزن خشک ساقه احتمالاً به دلیل تنظیم انتقال و نفوذپذیری یون و کنترل تبادلات یونی در حضور کلسیم می‌باشد (Sanders, 2002).

تجزیه واریانس مشاهدات در مرحله گلدهی نشان داد که شوری، برهمکنش شوری و کلسیم و همچنین برهمکنش شوری، کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر مجموع طول ریشه‌ها داشت. مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که شوری، مجموع طول ریشه‌ها را کاهش داد (جدول ۲). این کاهش در سطوح شوری ۱۲-۳ dS/m نسبت به شاهد معنی‌دار بود که به علت کاهش پتانسیل آب موجود در خاک و تجمع املاح در محیط ریشه می‌باشد و در نهایت جذب آب به‌وسیله ریشه را محدود می‌سازد (Akbari Duzhi et al., 2010). در هر دو رقم، شوری در تمامی سطوح با ایجاد محدودیت در فتوسنتز، مانع رشد و سبب کاهش مجموع طول ریشه‌ها شد. در این آزمایش تیمار کلسیم نتوانست کاهش مجموع طول ریشه‌ها را محدود نماید.

(مدل Jenway) اندازه‌گیری و سپس شاخص پایداری غشاء (MSI) بر حسب درصد از معادله زیر به‌دست آمد (Sairam et al., 2001).

$$100 \times MSI (\%) = [1 - (C_1/C_2)]$$

C_1 هدایت الکتریکی آب در دمای ۴۰ درجه و C_2 هدایت الکتریکی آب در دمای ۱۰۰ درجه می‌باشد.

محتوای نسبی آب

با استفاده از روش (Bian & Jiang, 2009) محتوای نسبی آب (RWC) اندازه‌گیری و با استفاده از معادله زیر بر حسب درصد محاسبه گردید:

$$RWC (\%) = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت آماس کامل می‌باشد.

سنجش پرولین

برای سنجش پرولین گیاه بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر، مقدار جذب محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل شیمادوز (UV-1100) خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به‌دست‌آمد (Bates et al., 1973).

$$Prolin (\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}) =$$

$$\left[\frac{\mu\text{gprolin}}{\text{ml}} \times \frac{\text{Toluen}(\text{ml})}{115.5(\mu\text{g} / \text{mol})} \right] \div \frac{\text{sample}(\text{g})}{5}$$

سنجش سدیم، پتاسیم و کلسیم

برای این منظور، جذب محلول‌های حاصله توسط فلیم‌فتومتر (JENWAY PFP 7) خوانده شد. غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم به روش نورسنجی شعله‌ای و توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای مدل Corning تعیین گردید. غلظت نهایی هر کاتیون با استفاده از منحنی استاندارد به‌طور جداگانه تعیین شد و مقدار آن در برگ و ریشه خشک شده محاسبه گردید (Chapman & Pratt., 1961).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mstat-C انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد ($P \leq 0.05$) استفاده شد. نمودارهای مربوطه به وسیله نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج نشان داد که شوری و رقم تأثیر معنی‌دار بر ارتفاع گیاه نخود داشت ($P \leq 0.01$) (جدول ۱). بر این اساس، سطوح شوری ۶ dS/m الی ۱۲ سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شدند. در این راستا تفاوت ارتفاع گیاه بین سطوح شوری ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر معنی‌دار نبود. در رقم جم، شوری ۹-۱۲ dS/m منجر به کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد. شوری از طریق کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، مانع جذب آب و املاح مورد نیاز گیاه می‌شود. عدم تعادل عناصر غذایی به دلیل جذب فعال برخی یون‌ها برای تنظیم اسمزی و تجمع برخی یون‌ها مانند سدیم، در گیاهان کاهش رشد گیاه و ایجاد سمیت را به دنبال دارد (Kaya et al., 2006). نتایج آزمایش حاضر حاکی است که تأثیر کلسیم در بهبودی اثرات منفی شوری در رقم جم بیشتر از رقم پیروز بود. احتمالاً کلسیم با ممانعت از تخریب غشاء، جذب و انتقال مواد را در این شرایط تنظیم و مانع از انتقال سدیم می‌شود. بررسی‌ها حاکی از آن است که در حضور کلسیم، رشد و تقسیم سلولی، انتقال اسمیلات‌ها و فرآیندهای فتوسنتزی بهبود یافته و در نهایت رشد گیاه بهبود می‌یابد (Chen et al., 2001).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در مرحله گلدهی نشان داد که شوری، رقم، برهمکنش شوری و کلسیم و همچنین برهمکنش شوری، کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ گیاه نخود داشت ($P \leq 0.01$) (جدول ۱ و ۲). نتایج نشان داد که سطح برگ در تمام سطوح شوری نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. در شوری ۹ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر در هر دو رقم، سطح برگ‌ها در تمام سطوح شوری به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش غلظت نمک در محیط رشد، نوعی خشکی فیزیولوژیک در گیاه ایجاد می‌شود که خود عامل اصلی در جلوگیری از ایجاد فشار تورژسانس در سلول‌های گیاهی و ممانعت از رشد و تقسیم سلولی می‌باشد، در نتیجه برگ‌های گیاهان، کوچک و ضخیم‌تر شده که نتیجه آن کاهش رشد و تقسیم سلولی و نهایتاً کاهش سطح برگ در گیاه می‌شود (Neeta Patil, 2012). کلسیم تأثیر معنی‌داری بر کاهش سطح برگ گیاه نداشت. استفاده از سولفات کلسیم با مهار انتقال سدیم سبب افزایش غلظت کلسیم در مناطق رشد گیاه شده و تا حدی سرعت رشد برگ را افزایش می‌دهد (Arshi et al., 2005).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی
Table 1. Analyze of variance of morphological traits of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	مجموع طول ریشه ها Total root length	ارتفاع گیاه Plant height	سطح برگ گیاه Leaf area
شوری NaCl	4	** 8626.02	** 30330.71	** 79262.38	** 17995316.47	** 85.75	** 2620292.03
کلسیم CaSO ₄	1	ns 257.92	ns 991.45	ns 393.73	ns 422877.422877	ns 0.13	ns 15855.94
شوری و کلسیم NaCl × CaSO ₄	4	* 883.013	ns 1821.19	ns 2993.57	** 1368841.18	ns 1.33	** 92532.09
رقم Cultivar	1	* 2298.97	* 7240.21	** 17363.81	ns 108947.74	** 55.58	** 217550.92
شوری و رقم NaCl × Cultivar	4	ns 827.32	ns 651.14	ns 2691.79	ns 261233.04	ns 9.43	ns 35671.89
کلسیم و رقم CaSO ₄ × Cultivar	1	ns 200.2	ns 7.42	ns 1257.67	ns 10785.13	ns 16.8	ns 8194.71
شوری و کلسیم و رقم NaCl × CaSO ₄ × Cultivar	4	ns 401.98	ns 2050.25	ns 3186.25	* 470723.82	ns 2.07	** 161009.34
خطا Error	40	335.99	1269.4	1783.21	168026.06	6.51	23450.63

*, **, ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, **, and ns: significant difference in 0.05, 0.01 and non significant, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 2. Mean comparisons of morphological traits of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

سطوح شوری NaCl (dS/m)	سطوح کلسیم CaSO ₄ (mM)	رقم Cultivar	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	مجموع طول ریشه ها Total root length (mm/p)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	سطح برگ گیاه Leaf area (mm ² /p)
0	0	J	0.15 a	0.23 a	0.291 a	5193 a	24.08 a	1932 a
		P	0.103a	0.164 a	0.177 a	4162 b	25.75 a	1301 bc
	5	J	0.115 a	0.18 a	0.226 a	3240 c	25.5 a	1221 b-d
		P	0.0997 a	0.197 a	0.236 a	3455 c	24.5 a	1405 b
3	0	J	0.113 a	0.205 a	0.241 a	2369 de	24 a	1010 de
		P	0.0998 a	0.193 a	0.153 a	2159 e	25.17 a	1028 c-e
	5	J	0.109 a	0.218 a	0.17 a	2903 cd	23.83 ab	1172 b-d
		P	0.086 a	0.145 a	0.107 a	2301 de	23.08 a-c	782.8 ef
6	0	J	0.069 a	0.119 a	0.079 a	1841 e-g	19 b-e	706.5 fg
		P	0.065 a	0.105 a	0.073 a	1793 e-h	23.58 a-c	575.6 f-h
	5	J	0.093 a	0.177 a	0.113 a	1747 e-h	21.58 a-d	806.3 ef
		P	0.077 a	0.141 a	0.059 a	1963 ef	21.5 a-d	573.4 f-h
9	0	J	0.056 a	0.086 a	0.054 a	1171 g-i	18.83 c-e	478.6 gh
		P	0.049 a	0.084 a	0.05 a	1322 f-i	21.42 a-d	397.3 hi
	5	J	0.078 a	0.094 a	0.059 a	1028 hi	18.83 c-e	396.5 hi
		P	0.052 a	0.091 a	0.051 a	1195 f-i	20.83 a-d	397.1 hi
12	0	J	0.033 a	0.097 a	0.035 a	540.3 i	15.83 e	178.4 i
		P	0.065 a	0.078 a	0.032 a	1118 g-i	20.75 a-d	284.4 hi
	5	J	0.065 a	0.105 a	0.062 a	1223 f-i	16.83 de	429.9 g-i
		P	0.065 a	0.094 a	0.052 a	934.9 i	21 a-d	382.8 hi

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with a letters in common are not significantly different at ($P \leq 0.05$).

J: Jam; P: Pirooz

تحمل گیاه را در برابر شوری بهبود می‌بخشد (Gorai et al., 2010).

آنالیز واریانس مشاهدات، کاهش معنی‌دار عدد کلروفیل متر را در تمام سطوح شوری نشان داد (جدول ۳ و ۴). نتایج حاصل مطابق با نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده روی گیاهان برنج و گندم بود (Yeo et al., 1990). شوری سبب افزایش تولید پرولین و کاهش گلوتامات (پیش‌ساز کلروفیل و پرولین) در مسیر بیوسنتز کلروفیل می‌شود. فعالیت بیشتر کلروفیل‌از سبب کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری شده است (Parvaiz & Satyawati, 2008). اعتقاد بر این است که در حضور سدیم فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز برای تبدیل گلوتامین به پرولین افزایش می‌یابد. در این رابطه کاهش مقدار نسبی کلروفیل تحت تنش شوری احتمالاً به علت نازکی برگ و پراکنده شدن کلروفیل در سطح برگ می‌باشد (Neeta Patil, 2012). کاهش سطح و تعداد برگ به کاهش سرعت فتوسنتز بوته‌ها منجر می‌شود (Bai et al., 2011).

مقایسه میانگین مشاهدات در خصوص محتوای نسبی آب حاکی از آن بود که با افزایش شوری محتوای نسبی آب برگ در سطوح شوری ۶ الی ۱۲ dS/m نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۴). آزمایش حاضر مؤید آن است که در هر دو رقم تأثیر کلسیم در بهبود اثرات منفی شوری در سطوح پایین

بررسی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه تحت تأثیر کاتیون‌های Na^+ و Ca^{2+}

نتایج نشان داد که شوری، رقم و برهمکنش شوری، کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر مقاومت روزنه‌ای گیاه نخود داشت (جدول ۳). داده‌ها نشان داد در این آزمایش مقاومت روزنه‌ای در رقم جم در تمام سطوح شوری و در رقم پیروز در شوری‌های ۶-۱۲ dS/m نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری بیشتر بود. رقم جم نسبت به رقم پیروز در مقابل سطوح شوری و کاربرد کلسیم، حساسیت بیشتری از حیث مقاومت روزنه‌ای داشت (جدول ۴). بررسی‌ها حاکی از آن است که شوری از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای موجب کاهش میزان فتوسنتز می‌شود (Parida et al., 2004). در واقع کاهش رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش شوری می‌تواند در اثر تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش ارتفاع و یا به دلیل بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها باشد. در شرایط تنش شوری توسعه عمودی سلول‌های مزوفیل افزایش و فضاهای بین سلولی کاهش می‌یابد که نتیجه آن افزایش بیشتر مقاومت مزوفیلی برای ورود CO_2 می‌باشد. این موضوع سبب تقویت واکنش اکسیژناز رابیسکو شده که به تنفس نوری بیشتر و با هزینه بیشتر فتوسنتز منتهی می‌شود. کلسیم با بهبود فعالیت روزنه‌ها

تنش شوری میزان بیان ژن SOS_3 کاهش می‌یابد که با افزودن کلسیم جبران می‌شود. در واقع از طریق شرکت در فرایند تشکیل مجدد وابسته به کلسیم، ریزش‌های اکتین در تحمل به شوری نقش مهمی ایفا می‌کنند (Ye et al., 2013). استفاده از کلسیم به دلیل نقش آن در پایداری آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و کاهش اثرات سمیت مربوط به سدیم می‌تواند در جلوگیری از کاهش سرعت رشد گیاه موثر واقع شود (Sadeghi Lotfabadi et al., 2010).

با افزایش شوری میزان کلسیم برگ و ریشه به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت. میزان کلسیم برگ در شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و در ریشه در شوری ۹ الی ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۵ و ۶). نتایج آزمایش نشان داد که تأثیر کلسیم در بهبودی اثرات منفی شوری در رقم جم بیشتر از رقم پیروز می‌باشد. کلرید سدیم به‌دلیل ایجاد اشکال در رهاشدن کلسیم به داخل آوند چوبی ریشه از انتقال کلسیم در مسیر ریشه به ساقه، ممانعت می‌کند که این امر احتمالاً به‌دلیل تأثیر منفی بر انتقال فعال کلسیم به مجاری آوند چوبی انجام می‌گیرد. یون‌های سدیم برای اتصال به غشاء با یون کلسیم رقابت می‌کنند، بنابراین حضور غلظت بالای یون کلسیم می‌تواند سلول را از اثرات نامطلوب شوری محافظت نماید و مانع از ورود سدیم شود. جذب بسیاری از عناصر غذایی مانند کلسیم همراه با آب صورت می‌گیرد، بنابراین با کاهش جذب آب، جذب آن‌ها نیز کاسته می‌شود (Bush, 1995).

شوری (کمتر از ۶ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از سطوح بالای شوری بود. در شرایط تنش شوری با کاهش توان جذب آب توسط گیاه، به تدریج نمک در بستر گیاه انباشت می‌شود و محتوای آب برگ به شدت کاهش می‌یابد (Cha-um et al., 2011). گزارش‌ها حاکی از آن است که کلسیم با مشارکت در سنتز پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، به‌طور غیرمستقیم بر فرآیند تنظیم اسمزی در گیاهان تحت تنش شوری تأثیرگذار است. در واقع کلسیم سبب افزایش محتوای آب سلولی و به دنبال آن رقیق‌شدن سدیم موجود در سیتوسول و دیواره سلولی شده و خسارت وارده را کاهش می‌دهد (Gholipour et al., 2004).

مقایسه میانگین داده‌ها در سطوح مختلف در این آزمایش، کاهش شاخص پایداری غشاء در شرایط تنش شوری قابل ملاحظه است (جدول ۴). شوری سبب تغییر در ساختار، ترکیب لیپیدها و پروتئین‌ها شده و یکپارچگی غشاء سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در گلیکوفیت‌های حساس به شوری، نفوذپذیری یونی تغییر یافته و سدیم به عنوان پاسخ اولیه به تنش شوری جانشین کلسیم غشاء پلاسمایی می‌شود. در این آزمایش استفاده از سولفات کلسیم در هر دو رقم موجب افزایش پایداری غشاء شد که در رقم جم این افزایش از نظر آماری معنی‌دار بود. استفاده از کلسیم در همه سطوح شوری عمده‌تاً باعث افزایش پایداری غشاء شد. کلسیم نقش اساسی در برقراری پایداری غشاء و ثبات دیواره سلولی دارد. اهمیت کلسیم در تنظیم انتقال و نفوذپذیری یون‌ها و کنترل تبادلات یونی دیواره اثبات شده است (Marschner, 1986). تحت

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 3. Analyze of variance of physiological traits of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	مقاومت روزنه Stomatal Resistance	عددکلروفیل Spad number	محتوای نسبی آب Relative water content	شاخص پایداری غشاء Membrane stability
شوری NaCl	4	** 2569.39	** 218.75	** 6.3	** 30776996
کلسیم CaSO ₄	1	ns 6.34	ns 9.84	ns 1.7	** 4225258.6
شوری و کلسیم NaCl × CaSO ₄	4	* 53.55	* 24.31	ns 0.2	** 549974.3
رقم Cultivar	1	** 1106.82	ns 0.43	ns 0.2	ns 4950.4
شوری و رقم NaCl × Cultivar	4	* 54.8	ns 13.92	ns 0.2	ns 69868.1
کلسیم و رقم CaSO ₄ × Cultivar	1	ns 59.4	ns 15.71	ns 0.3	** 437418.8
شوری و کلسیم و رقم NaCl × CaSO ₄ × Cultivar	4	** 246.85	ns 15.3	ns 0.2	* 161291.7
خطا Error	40	15.85	9.04	1	58021.5

*, ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, ** and ns: significant difference in 0.05, 0.01 and non significant, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی.

Table 4. Mean comparison of physiological traits of Jam and Pirooz cultivar in flowering stage

سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر) NaCl (dS/m)	سطوح کلسیم (میلی‌مولار) CaSO ₄ (mM)	رقم Cultivar	مقاومت روزنه Stomatal resistance (s cm ⁻¹)	عدد کلروفیل متر Spad number (mg g ⁻¹ FW)	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	شاخص پایداری غشاء Membrane stability (%)
0	0	J	17.55 ij	18.68 a	61.84 ab	54.72 a
		P	16.38 j	10.48 b	63.73 ab	61.43 a
	5	J	24.92 gh	9.7 bc	61.47 ab	72.75 a
		P	13.05 j	11.6 b	66.76 a	69 a
3	0	J	24.25 g-i	6.43 b-h	48.46 ab	44.2 a
		P	20.17 h-j	9.1 b-d	56.55 ab	44.69 a
	5	J	38.25 de	7.48 b-g	60.39 ab	49.44 a
		P	20.07 h-j	10.43 b	85.77 ab	44.25 a
6	0	J	45 cd	3.97 c-h	47.77 ab	32.8 a
		P	32.73 ef	4.63 c-h	49.57 ab	34.41 a
	5	J	45.75 bc	7.67 b-f	56.83 ab	37.57 a
		P	30.98 fg	8.47 b-e	51.13 ab	38.5 a
9	0	J	52.17 ab	1.9 f-h	46.57 b	28.67 a
		P	52.45 ab	2.07 f-h	47.41 ab	29.57 a
	5	J	57.25 a	3.57 d-h	48.19 ab	33.52 a
		P	38.33 de	3.15 e-h	49.63 ab	33.25 a
12	0	J	59.19 a	1.3 h	44.42b	21.44 a
		P	43.4 cd	1.73 gh	44.48 b	21.18 a
	5	J	45.17 cd	2.8 e-h	46.06 b	23.65 a
		P	56 a	3.53 d-h	45.39 b	24.32 a

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means within each column with a letters in common are not significantly different at ($P \leq 0.05$).

کلسیم با کاهش جذب سدیم، سبب افزایش جذب پتاسیم و هم‌ایستایی K^+/Na^+ را در ریشه تحت شرایط تنش شوری سبب می‌شود (Renault & Affifi., 2009).

نتایج نشان داد که در شوری ۹ dS/m کاهش میزان سدیم در حضور کلسیم در هر دو رقم معنی‌دار بود (جدول ۳). در یک آزمایش مشخص شد که در غلظت زیاد نمک، حلقه کاسپاری قادر به ممانعت از ورود یون سدیم به داخل بافت‌های گیاه نمی‌باشد، در نتیجه با افزایش ورود سدیم به سلول تعادل یونی از بین می‌رود (Etehadnia et al., 2010). مسیر SOS تعادل یون سدیم و پتاسیم را در نقطه اتصال ریشه و خاک و نیز انتقال یون سدیم از ریشه به ساقه را تنظیم می‌کند. تنش شوری نوسانات کلسیم سیتوسولی را توسط یک پروتئین تخصصی متصل به کلسیم تحریک و نتیجه آن فعال شدن SOS_2 (پروتئین کیناز سرین/ ترئونین) است (Qiu et al., 2002). SOS_2 کیناز موجب فسفریله و فعال کردن SOS_1 (آنتی پورتر Na^+/H^+ غشا پلاسمایی) شده که نهایتاً SOS_1 با خارج کردن یون سدیم به خارج از ریشه به تحمل بیشتر گیاه به شوری کمک می‌کند (Quintero et al., 2002).

برهمکنش کلسیم و رقم تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم برگ داشت ($P \leq 0.05$). نتایج نشان داد که با افزایش شوری میزان پتاسیم برگ کاهش یافت که این کاهش در سطوح شوری ۹-۱۲ dS/m نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۳). این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده در بررسی‌های انجام‌شده روی گیاهان جو، یولاف، عدس، برنج و لوبیا منطبق است (Amin Panah & Sorooshzadeh, 2005). در محیط‌های شور محتوای آب خاک و تحرک پتاسیم، کاهش و قابلیت دسترسی پتاسیم برای ریشه‌های گیاه کاهش می‌یابد (Hu & Schmidhalter, 2005). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که به دلیل ناقل مشترک انتقال کاتیون‌های Na^+ و K^+ ، یون Na^+ برای شارش به درون سلول با K^+ رقابت می‌کند (Sudhire & Murthy., 2004). در شرایط تنش شوری یون سدیم سبب دپولاریزاسیون غشاء گردیده و متعاقب آن کانال‌های پتاسیمی یک سو به خارج باز شده و میزان یون پتاسیم داخلی کاهش می‌یابد (Shabala, 2000). میزان پتاسیم ریشه و برگ در حضور کلسیم کاهش و در تیمار سولفات کلسیم در دو رقم افزایش یافت که این افزایش معنی‌دار نبود. تیمار کلسیم با محدود کردن جابجایی یون سدیم موجب حفظ غشاء در فرایندهای غشایی موجود در ریشه و بخش هوایی می‌شود.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی و ترکیبات معدنی ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی

Table 5. Analyze of variance of biochemical traits and Mineral Nutrients of Jam and Pirooz cultivars in flowering stage

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	سدیم ریشه Root Sodium	سدیم برگ Leaf Sodium	پتاسیم ریشه Root Potassium	پتاسیم برگ Leaf Potassium	کلسیم ریشه Root Calcium	کلسیم برگ Leaf Calcium	پرولین ریشه Root Prolin	پرولین برگ Leaf Prolin
شوری NaCl	4	** 26.05	** 08.09	* 0.59	* 0.51	* 1.61	ns 0.27	** 24.28	** 586.2
کلسیم CaSO ₄	1	* 8.88	ns 0.69	ns 0.16	ns 0.009	ns 0.06	ns 0.22	* 2.8	ns 1.15
شوری و کلسیم NaCl× CaSO ₄	4	ns 1.13	ns 0.59	* 1.13	** 0.84	ns 0.28	ns 0.04	ns 0.85	** 132.96
رقم Cultivar	1	ns 8.33	* 4.23	ns 0.24	ns 0.07	* 2.47	ns 0	** 12.94	** 575.67
شوری و رقم NaCl × Cultivar	4	* 1.88	ns 0.65	ns 0.18	ns 0.31	ns 0.015	ns 0.008	ns 8.5	ns 45.95
کلسیم و رقم CaSO ₄ × Cultivar	1	ns 0.47	ns 1.05	ns 1.31	** 0.96	ns 0.91	ns 0.23	** 0.77	ns 80.53
شوری و کلسیم و رقم NaCl× CaSO ₄ × Cultivar	4	ns 0.75	** 3.31	ns 0.16	ns 0.395	ns 0.17	ns 0.18	ns 0.37	** 137.6
Error خطا	40	1.42	0.64	0.38	0.16	0.57	0.12	0.67	28.98

*, **, ns: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی دار

*, **, and ns: significant difference in 0.05, 0.01 and non significant, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی و ترکیبات معدنی ارقام جم و پیروز نخود در مرحله گلدهی.

Table 6. Mean comparison of biochemical traits and Mineral Ingredients of Jam and Pirooz cultivar in flowering stage

سطوح شوری NaCl (dS/m)	سطوح کلسیم CaSO ₄ (mM)	رقم Cultivar	کلسیم برگ Leaf Calcium	کلسیم ریشه Root Calcium	پتاسیم برگ Leaf Potassium	پتاسیم ریشه Root Potassium	سدیم برگ Leaf Sodium	سدیم ریشه Root Sodium	پرولین برگ Leaf prolin	پرولین ریشه Root prolin
			(mg/100g DW)						(μmol g ⁻¹ FW)	
0	0	J	1.52 a	2.38 ab	2.5 a-e	2.05 a-c	2.14 de	3.67 g-i	9.67 c-e	1.4 cd
		P	1.69 a	1.83 ab	2.97 a	1.87 a-c	1.12 e	3.57 hi	7.45 c-e	0.25 cd
	5	J	1.58 a	2.45 ab	1.77 ef	1.35 bc	1.39 e	4.32 e-i	1.39 c-e	0.87 d
		P	1.56 a	2.11 ab	2.34 a-e	1.53 bc	2.14 de	3.13 i	3.53 e	0.74 d
3	0	J	1.09 a	2.84 a	2.34 a-e	1.62 bc	3.42 cd	5.36 c-f	13.52 c-e	0.79 d
		P	1.52 a	1.9 ab	2.85 a-c	1.8 a-c	5.07 ab	5.001 d-h	11.15 c-e	1.64 cd
	5	J	1.73 a	2.48 ab	2.05 d-f	1.82 a-c	5.1 ab	4.08 f-i	17.37 bc	10.1 d
		P	1.26 a	2.48 ab	2.36 a-e	1.35 bc	4.73 a-c	4.59 d-i	8.7 c-e	1.23 cd
6	0	J	1.41 a	2.12 ab	2.12 c-f	1.53 bc	4.61 a-c	7.05 ab	8.37 c-e	1.31 cd
		P	1.195 a	1.76 ab	2.22 a-e	1.77 a-c	5.41 ab	5.3 c-g	13.07 c-e	1.79 cd
	5	J	1.5 a	2.42 ab	2.81 a-d	2.33 ab	5.41 ab	5.82 b-e	14.5 b-d	1.22 cd
		P	1.59 a	1.87 ab	2.29 a-e	1.94 a-c	5.35 ab	4.23 e-i	9.95 c-e	1.63 cd
9	0	J	1.18 a	1.21 b	1.86 ef	1.53 bc	5.001 ab	7.26 ab	27.33 a	1.95 cd
		P	1.3 a	1.25 b	1.93 ef	1.73 a-c	6.13 a	5.31 c-g	14.69 b-d	2.26 cd
	5	J	1.56 a	2.002 ab	2.92 ab	1.96 a-c	3.38 cd	5.99 b-d	17.35 bc	1.85 cd
		P	1.45 a	1.28 b	2.15 b-e	1.84 a-c	4.54 bc	4.97 d-h	6.66 de	1.77 cd
12	0	J	1.14 a	1.84 ab	1.35 f	1.21 bc	5.72 ab	8.48 a	30.76 a	2.82 c
		P	1.09 a	1.89 ab	1.89 ef	1.59 bc	5.72 ab	8.29 a	28.45 a	4.21 a
	5	J	1.2 a	2.59 ab	2.55 a-e	2.55 a	4.75 a-c	6.87 a-c	24.01 ab	2.29 cd
		P	1.25 a	1.9 ab	1.93 ef	1.94 a-c	5.51 ab	6.98 ab	23.89 ab	3.38 b

میانگین‌هایی که در هر ستون، حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح احتمال خطای P≤0.05 اختلاف معنی داری ندارند.

Means within each column with a letters in common are not significantly different at (P≤0.05).

J: Jam; P: Pirooz

موضوع بیانگر حساسیت آن رقم نسبت به تجمع سدیم می‌باشد. بررسی‌ها حاکی از آن است که پرولین به عنوان پایدارکننده آنزیم‌ها موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در

نتایج نشان داد که با افزایش شوری، میزان پرولین برگ و ریشه افزایش یافت که افزایش پرولین ریشه در سطوح شوری ۹-۱۲dS/m نسبت به شاهد معنی دار بود (جدول ۶). این

نتیجه‌گیری

شوری تأثیر چندجانبه‌ای بر گیاهان زراعی و از جمله نخود داشته و سبب تنش اسمزی، سمیت یونی و اختلال در تعادل یونی می‌شود. تنش شوری رشد هر دو رقم نخود (جم و پیروز) را کاهش و عمدتاً از طریق تأثیر بر غشاء، نفوذپذیری آن‌ها را افزایش داد. در تنش شوری محتوی پتاسیم و کلسیم بافت برگ و ریشه، رشد ریشه و اندام هوایی، میزان کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت و کاربرد کلسیم توانست اثرات سمی ناشی از کلرید سدیم را تا حد زیادی کاهش و سبب افزایش بهبود نسبی رشد گیاه شود. میزان پرولین و سدیم برگ و ریشه در حضور کلرید سدیم افزایش یافت و در این شرایط کاربرد کلسیم نقش تعدیل‌کنندگی داشت.

شرایط تنش شوری می‌شود (Farhoudi et al., 2011). در تنش‌های شوری به طور متوسط مقدار پرولین سریع‌تر از سایر اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد و این ویژگی معیار مفید برای انتخاب واریته‌های مقاوم به خشکی و شوری می‌باشد. استفاده از کلسیم تحت تنش شوری در محیط رشد گیاه، نیاز آن را برای سنتز ترکیبات محافظت‌کننده اسمزی نظیر پرولین کاهش داده و به سازگاری بیوشیمیایی گیاه کمک می‌کند (Hadi & Sharif., 2007).

منابع

1. Akbari Quzhi, E., Izadi Darbandi, A., Borzoi, A., and Majd Abadi, A., 2010. An investigation on morphologic changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype on salinity condition. *Journal Science Technology Greenhouse Culture* 4: 71-82.
2. Amin Panah, H., and Sorooshzadeh, A. 2005. The effect of Calcium Nitrate on Sodium and Potassium distribution in seedlings of rice under saline conditions. *Iranian Journal of Biology* 18: 92-99. (In Persian with English Summary).
3. Arshi, A., Abdin, M.Z., and Iqbal, M. 2005. Ameliorative effect of CaCl_2 on growth, ionic relations and proline content of senna under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition* 28: 101-125.
4. Bai, R., Zhang, Z., Hu, Y., Fan, M., and Schmidhalter, U. 2011. Improving the salt tolerance of Chinese spring wheat through an evaluation of genotype genetic variation. *Australian Journal of Crop Science* 5: 1173-1178.
5. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *An International Journal on Plant-Soil Relationships* 39: 205-207.
6. Bian, Sh., and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Journal of Scientia Horticulturae* 120: 246-270.
7. Budakli Carpici, E., Celik, N., and Bayram, G. 2010. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology* 9: 6937-6942.
8. Bush, D.S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 46: 95-122.
9. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. *Method of Analysis for Soil, Plants and Water*. University of California, Division of Agricultural Sciences. Technology & Engineering. 309 pp.
10. Cha-um, S., Pokasombat, Y., and Kirdmanee, C. 2011. Remediation of salt-affected soil by gypsum and farmyard manure-Importance for the production of Jasmine rice. *Australian Journal of Crop Science* 5: 458-465.
11. Chen, J.L., Wang, S., Huttermann, A., and Altman, A. 2001. Salt nutrient uptake and transport and ABA of *Populus euphratica*; a hybrid in response to increasing soil NaCl. *Journal of Biosystem and Engineering* 15: 186-194.
12. Etehadnia, M., Schoenau, J., Waterer, D., and Karen, T. 2010. The effect of CaCl_2 and NaCl salt acclimation in stress tolerance and its potential role in ABA and scion/rootstock-mediated salt stress responses. *Journal of Plant Stress* 4: 72-78.
13. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. *Handbook for Saline soil management*. 144 pp.

14. Farhoudi, R., Saeedipour, S., and D. Mohammadreza. 2011. The effect of NaCl seed priming on salt tolerance, antioxidant enzyme activity, proline and carbohydrate accumulation of Muskmelon (*Cucumis melo* L.) under saline condition. *African Journal of Agricultural Research* 6: 1363-1370.
15. Gholipour, M., Rahimzadeh-Khoii, F., Ghasemi, K., and Moghaddam, M. 2004. Effect of salinity on chickpea cultivars at heterotrophic stage. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources* 10: 97-106.
16. Gorai, M., Ennajeh, M., Khemira, H., and Neffati, M., 2010. Combined effect of NaCl-salinity and hypoxia on growth, photosynthesis, water relations and solute accumulation in *Phragmites australis* plants. *Journal of Flora (Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants)* 205: 462-470.
17. Hadi, M.R., and Sharif, M.A. 2007. Study effects of salinity on the seed germination of *Seidlitzia rosmarinus*. *Journal of Pajouhesh & Sazandegi* 76: 151-157. (In Persian with English Summary).
18. Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition* 168: 541-549.
19. Humeau, J., Bravo-San Pedro, M., Vitale, I., Nuñez L., Villalobos C., Kroemer, G., and Senovilla, L. 2018. Calcium signaling and cell cycle: Progression or death. *Journal of Cell Calcium* 70: 3-15.
20. Kaya, C., Ashraf, M., Dikilitas, M., and Tuna, A.L. 2013. Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients- A field trial. *Australian Journal of Crop Science* 7: 249- 254.
21. Kaya, M.D., Okcu, G., Cikili, Y., and Kolsarici., O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in Sunflower (*Helianthus annuus*). *European Journal of Agronomy* 24: 291-295.
22. Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati. K.H., and Khalighi, A. 2010. The Effect of salinity stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of eppermint (*Mentha piperita* L.). *World Applied Sciences Journal* 11: 1403-1407
23. Kumar Parida, A., and Bandhu Das, A. 2004. Salt tolerance and salinity effects on plants. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
24. Levent Tuna, A., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, I., and Yagmur, B. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Journal of environmental and Experimental Botany* 59: 173-178.
25. Maliro, M.F.A., Mc Neil, D.L., Redden, B., Kollmorgen, J.F., and Pittock, C. 2008. Sampling strategies and screening of chickpea (*Cicer arietinum*) germplasm for salt tolerance. *Journal of Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 53-63.
26. Marshner, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. A Harcourt Science and technology company 889 pp.
27. Neeta Patil, M. 2012. Adaptations in response to salinity in safflower cv. Bhima. *Asian Journal of Crop Science* 4: 50-62.
28. Parida, A.K., and Bandhu, A. 2004. Salt tolerance and salinity effects on plants. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
29. Parvaiz, A., and Satyawati, S. 2008. Salt Stress and phyto-biochemical responses of plants. *Journal of Plant soil environment* 54: 89-99.
30. Qiu, Q.S., Guo, Y., Dietrich, M.A., Schumaker, K.S., and Zhu, J.K. 2002. Regulation of SOS1, a plasma membrane Na^+/H^+ exchanger in *Arabidopsis thaliana*, by SOS_2 and SOS_3 . *Proceeding of a National Academy of Sciences of the United State of America* 99: 8436-8441.
31. Quintero, F.J., Ohta, M., Shi, H.Z., Zhu, J.K., and Pardo, J. M. 2002. Reconstitution in yeast of the Arabidopsis SOS signaling pathway for Na^+ homeostasis. *Proceeding of a National Academy of Sciences of the United State of America* 99: 9061-9066.
32. Renault, S., and M. Affifi. 2009. Improving NaCl resistance of red-osier dogwood: Role of CaCl_2 and CaSO_4 . *Journal of Plant Soil* 315: 123-133.
33. Sadeghi Lotfabadi, S., Kafi, K., and Khazaei, H.R. 2010. Effects of calcium, potassium and method of application on sorghum (*Sorghum bicolor* L.) morphological and physiological traits in the presence of salinity. *Journal of Soil and Water Conservation* 24: 385-393.
34. Sairam, R.K., and Saxena, D.C. 2001. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184: 55-61.
35. Sanders, D., Pelloux, J., Brownlee, C., and Harper, J.F. 2002. Calcium at the crossroads of signaling. *Plant Cell* 14: 401-417.

36. Shabala, S. 2000. Ionic and osmotic components of salt stress specifically modulate net ion fluxes from bean leaf mesophyll. *Journal of Plant Cell and Environment* 23: 825-837.
37. Shahid, M.A., Balal, R.M., and Pervez, M.A. 2012. Differential response of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes to salt stress in relation to the growth, physiological attributes antioxidant activity and organic solutes. *Australian Journal of Crop Science* 6: 828-838.
38. Singh, A.K. 2004. The physiology of salt tolerance in four genotypes of chickpea during germination. *Journal of Agriculture Science and Technology* 6: 87-93.
39. Sudhire, P., and Murthy, S.D.S. 2004. Effect of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Journal of Photosynthetica* 42: 481-486.
40. Tahir, M.A., Rahmatullah, A., Aziz, T., Ashraf, M., Kanwal, S., and Maqsood, M.A. 2006. Beneficial effects of Silicon in wheat under salinity stress. *Journal of Botany* 38: 1715-1722.
41. Ye, J., Zhang, W., and Guo, Y. 2013. Arabidopsis SOS₃ plays an important role in salt tolerance by mediating calcium-dependent microfilament reorganization. *Plant Cell Reports* 32: 139-148.
42. Yeo, A.R., Flowers, S.A., Rao, A., Welfare, K., Senayake, N., and Flowers, T.J. 1990. Silicon reduces sodium uptake in rice *Oryza sativa* L. in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational by pass flow. *Journal of Plant cell and Environment* 22: 559-562.
43. Zaki, R.N., and Radwan, T.E. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Applied Sciences Research* 7: 42-55.

The interaction of sodium and potassium ions on some morpho-physiological traits of Jam and Piroz chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.)

Shams Abadi¹, M., Ganjeali^{2*}, A., Lahouti³, M. & Amjadi⁴, E.

1. Graduated of Master of Plant Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; ganjeali@um.ac.ir

2. Department of Biology, Faculty of Science & Department of Legumes, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Department of Biology, Faculty of Science Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; mlahouti@um.ac.ir

4. PhD. Student of Plant Physiology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; elham.amjadi@yahoo.com

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78938

Received: 30 January 2019

Accepted: 6 May 2019

Introduction

Chickpea is one of the most important sources of protein in human diet. The significance of salinity resistant genotypes for growth and development has been recognized in saline environments. Recognition of salin resistant genotypes is an important and economical goal to improve chickpea performance in saline soils. Under salinity stress, destruct chloroplast structure and decreases photosynthetic pigments. Osmotic regulations induced by changes in nitrogen metabolisms in via formation of prolin. Prolin, as a osmosis regulator between cytoplasm and vacuole, by preventing denaturation of protein structures, protects cellular structure against free radicals. Calcium is an essential element to improvement of injury of salinity stress in plant. Calcium is substitute other cations in plasma membrane. Plasma membrane is strongly sensitive to salinity stress specially while the the calcium concentration is low. Studies show that the ion accumulation site in saline tolerant plants is vacuoles. Due to ameliorative role of calcium in saline stress, the present study was conducted to investigate the response of common chickpea cultivars to different concentrations of Na⁺ and Ca²⁺ ions in flowering stage.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of calcium on amelioration of salinity damage, a factorial experiment as completely randomized design with three replications was conducted by five sodium chloride (0, 3, 6, 9, 12 dS/m) and two calcium sulfate levels (0 and 5 mM) in phytotron condition in Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. Each experimental unit was a pot with 2 liter that contain mix of soil garden and silt. After 6 weeks plants were extracted and morphological traits such as plant height, leaf area, root length, dry weight of shoot, leaf and root, root area and physiological traits such as SPAD number, membrane stability, leaf relative water content, and biochemical traits such as Sodium, potassium and calcium, proline were measured. Data analysis was performed by Mstat-C and used Duncan's multiple domain test ($P < 0.05$) to compare means.

Results and Discussion

The results showed that salinity significantly increased the sodium and proline contains of leaves and roots. Na⁺ concentration in 9 dS/m salinity, significantly decreased in both cultivars. Also, salinity increased the potassium content of leaf and calcium content of root and shoot. Leaves potassium content under 9-12 dS/ m salinity, calcium only under 12 dS/m salinity and root calcium content under 9 to 12 dS/m compared to control significantly decreased. Studies have shown in high salinity concentrations, the caspary ring can not inhibit the arrival of sodium ions into the tissues plant and ends with leaves through the unilateral flow of

*Corresponding Author: ganjeali@um.ac.ir

wood. In toxic contaminants of Na^+ , the glutamylglutamate synthase enzyme activity increases to convert glutamine to proline. In saline environments, application of calcium is required to synthesis of osmotic protection compounds such as proline, to biochemical compatibility of plant. Salinity increases proline product and decreases the synthesis of chlorophyll precursor. Also, chlorophyll content decreases due to increased chlorophyllase activity. The SPAD number and the membrane stability index significantly decreased at 6 to 12 dS/m salinity. In both cultivar, ameliorating effect of calcium under lower salinities (less than 6 dS/m) was higher than the high levels of salinity. For Jam cultivars, the use of calcium sulfate significantly increased the membrane stability index compared to control (no calcium application) in all salinity levels. In salt stress conditions, the capacity of water absorption in plant decreases and gradually salt accumulates in plant environment. Research has shown that salinity decreases the photosynthesis by reducing stomatal conductance. In this way, salinity stress usually increase number and dimensions of stomata per leaf area. The results of means comparison showed that plant height under 6-12 dS/m salinities, significantly decreased compared to control. The cause of less plant growth in high concentrations of Na^+ is joint effects of osmotic stress, ion toxicity and nutrient concentrations, which limits the amount of available water of the plant and reduces root water absorption.

Conclusion

Salinity has a great effect on the growth of crops such as chickpea. High concentrations of Na^+ reduced the growth of both chickpea cultivars (Jam and Pirooz) by increasing the permeability of the membrane. Calcium treatment in lower salinity levels could improved the relative growth of the plants and it is believe that calcium acts as a moderator salinity leveles.

Keywords: Calcium, Chickpea, Flowering stage, Salinity stress

ارزیابی دامنه صفات زراعی نخود (*Cicer arietinum* L.) در مناطق سرد کشور

داود صادق‌زاده اهری^۱، ولی فیضی اصل^{۲*}، همایون کانونی^۳ و علی سعید^۴

۱- دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران، دکتری رشته تحصیلی باغبانی؛ dsadeghzade@yahoo.com

۲- استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران، دکتری رشته تحصیلی خاک شناسی گرایش حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه؛ vfeiziasl@yahoo.com

۳- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران، دکتری رشته تحصیلی زراعت؛ hh5071@yahoo.com

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران، دکتری رشته تحصیلی زراعت؛ sdalisaeid@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸

چکیده

معرفی ارقام سازگار با مناطق مختلف و دارای صفات برجسته زراعی از اهم اولویت‌های به‌نژادگران نخود دیم به‌شمار می‌آید. برای تعیین حد و حدود بهینه صفات زراعی نخود دیم، بانک اطلاعاتی با بیش از ۸۰۰۰ ژنوتیپ از ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم مناطق سرد (مراغه، کردستان، زنجان، ارومیه و اردبیل) به مدت ۲۰ سال (۱۳۹۵-۱۳۷۵) جمع‌آوری شد. حد و حدود بهینه تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پُرشدن دانه، ارتفاع بوته و وزن ۱۰۰ دانه با استفاده از روش‌های خطوط مرزی و میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا تعیین شد. نتایج نشان داد حد بهینه ارتفاع گیاه، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و طول دوره پُرشدن دانه با خطوط مرزی به‌ترتیب ۲۹/۸ سانتی‌متر، ۳۴/۰ گرم، ۵۶/۲ روز برای کشت بهاری و ۸۹/۲ روز برای کشت پاییزی، ۸۹/۴ برای کشت بهاری و ۱۲۰/۸ روز برای کشت پاییزی و ۳۳/۱ روز و با روش میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا به‌ترتیب ۳۰/۲ سانتی‌متر، ۳۶/۰ گرم، ۷۵/۶ روز، ۱۰۸/۸ روز و ۳۷/۷ روز می‌باشد. برای صفت وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع گیاه تفاوت دو روش، کم اما برای سه صفت دیگر تاحدودی زیاد بود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مهم‌ترین صفات را برای گزینش ارقام نخود دیم، تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و در مرتبه بعد ارتفاع گیاه تشخیص داد. با توجه به دقت بالا در برآورد حد و حدود بهینه صفات و انطباق بیشتر نتایج آن با ارقام معرفی‌شده، استفاده از خطوط مرزی مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، حد بهینه صفات، خطوط مرزی، صفات گیاهی

مقدمه

(Ahari, 2016). این محصول با دارا بودن حدود ۲۰ درصد پروتئین خام و ۶۰-۵۰ درصد کربوهیدرات به عنوان یک جزء غذایی مهم در کشورهای توسعه‌یافته مطرح است (Amini et al., 2017). با وجود سازگاری نسبی برخی از گیاهان خانواده حبوبات با محیط‌های کم‌آب ایران، متأسفانه ظرفیت تولید آن‌ها تحت این شرایط پایین است. برای مثال، یک شکاف عمیق بین پتانسیل تولید (پنج تن در هکتار) و تولید واقعی (۰/۸ تن در هکتار) در نخود وجود دارد (Rezaeinia et al., 2017). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عواملی است که منجر به کاهش عملکرد نخود در شرایط دیم می‌شود. اگرچه اعداد مختلفی برای عملکرد نخود در شرایط دیم و آبیاری در ایران وجود دارد، اما اغلب پژوهش‌ها نشان داده که به طور متوسط ۶۸ درصد

حبوبات نقش مهمی را در تأمین نیازهای غذایی انسان ایفا می‌کند و در بین حبوبات به لحاظ اهمیت غذایی، نخود (*Cicer arietinum* L.) سومین محصول جهانی است که در ۴۸ کشور با سطحی بیش از ۱۲/۱۱ میلیون هکتار و تولید بیش از هشت میلیون تن در سال کشت می‌شود (Rezaeinia et al., 2017). نخود اصلی‌ترین گیاه زراعی متعلق به خانواده حبوبات در کشور است که به عنوان یک منبع بالارزش از نظر تأمین پروتئین گیاهی از سطح زیرکشت نسبتاً وسیعی (حدود ۶۰۰ هزار هکتار) در ایران برخوردار است (Sadeghzadeh - a)

*نویسنده مسئول: vfeiziasl@yahoo.com

به ارزش ژنتیکی یک ژنوتیپ می‌باشد (Feiziasl *et al.*, 2010). لزوم استفاده از صفات گیاهی در انتخاب ارقام مطلوب برای شرایط مختلف، مستلزم شناخت حد مطلوب و دامنه بهینه این صفات در شرایط مربوطه می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین این حدود، استفاده از خطوط مرزی^۱ و شاخص تعادل خصوصیات گیاهی^۲ است که (Feiziasl *et al.*, 2003) این روش را برای اولین بار با موفقیت در تعیین حد و حدود بهینه صفات گیاهی به کار بردند. در این روش، نقاط پراکنش بین صفت به عنوان متغیر مستقل و پاسخ گیاه، به عنوان متغیر وابسته با استفاده از خطوطی محصور می‌شود که تحت عنوان خطوط مرزی از آن نام برده می‌شود و طول محل تلاقی دو خط مرزی سمت راست و چپ بانک اطلاعاتی به عنوان حد بهینه صفت تعیین می‌گردد (Walworth *et al.*, 1986). با توجه به این که رابطه واقعی بین صفات گیاهی با عملکرد گیاهان زراعی اغلب از نوع درجه دوم و یا سیگموئیدی^۳ می‌باشد و بعد از محدوده خاصی، افزایش صفات منجر به افت عملکرد می‌شود، لذا شناخت محدوده مناسب صفات مؤثر بر عملکرد اقتصادی گیاه، یکی از ضرورت‌های اساسی اصلاح‌گران نبات در انتخاب ژنوتیپ‌ها و ارقام مناسب می‌باشد. در پژوهش حاضر با استفاده از روش خطوط مرزی و میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا، حد بهینه و دامنه مطلوب صفات مورفوفیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های نخود دیم در مناطق سرد کشور تعیین و از تلفیق این صفات علاوه بر معرفی ویژگی‌های مناسب برای ارقام مورد معرفی نخود در این مناطق، وضعیت ارقام معرفی شده نخود دیم نیز مورد آزمون قرار گرفت. اطلاعات حاصل از این پژوهش می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در کشت‌های پاییزه و بهار نخود مورد استفاده اصلاح‌گران در مناطق سردسیر دیم قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

الف) جمع‌آوری بانک اطلاعاتی

به منظور تعیین حد مطلوب و دامنه بهینه صفات زراعی نخود دیم در شرایط سرد و نیمه‌سرد کشور، صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پُرشدن دانه، ارتفاع بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه، بانک اطلاعاتی گسترده‌ای با بیش از ۸۰۰۰ ژنوتیپ در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم در اقلیم سرد (مراغه، کردستان، زنجان، ارومیه و اردبیل) به مدت ۲۰ سال (۱۳۹۵-۱۳۷۵)

عملکرد دانه این گیاه در شرایط دیم نسبت به شرایط فاریاب کاهش می‌یابد (Moosavi *et al.*, 2017). محققان (Rezvani Moghaddam & Sadeghi Samarjan, 2008) گزارش کردند که متوسط عملکرد نخود در شرایط فاریاب و دیم ایران به ترتیب ۲۷۶۶ و ۹۰۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

به‌نژادگران و فیزیولوژیست‌های گیاهان زراعی بر این عقیده‌اند که برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام سازگار به مناطق خشک و نیمه‌خشک، نخست باید صفاتی را که تحت شرایط کم‌آبی در افزایش عملکرد دانه مؤثرند، شناخت و سپس آن‌ها را علاوه بر عملکرد دانه به عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرار داد (Kanouni, 2003)، زیرا صفات مورفولوژیک به سادگی و با دقت زیاد قابل اندازه‌گیری بوده و در مقایسه با عملکرد دانه وراثت‌پذیری نسبتاً بالایی دارند. از این‌رو، انتخاب بر اساس این صفات، راه مطمئن و سریعی برای غربال جمعیت اصلاحی و بهبود عملکرد می‌باشد (Ebrahimi *et al.*, 2016). با این نگرش، در مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکارد) تعدادی لاین جدید با مقاومت چندگانه به خشکی، برقراردگی و سرما اصلاح و معرفی شده است. در این روش، تأکید خاصی بر گزینش گیاهان زودرس یا نتاج آن‌ها شده است، چرا که همبستگی منفی و معنی‌دار بین تعداد روز تا گلدهی و عملکرد نخود دیم حاکی از حضور صفت فرار از خشکی در آن است (Kanouni, 2003). بررسی ژنوتیپ‌های بومی نخود مناطق سرد کشور نشان داد تنوع کمتری از لحاظ ارتفاع بوته و تنوع بیشتری در عملکرد تک‌بوته و عملکرد زیست‌توده وجود دارد (Sadeghzadeh-Ahari, 2014). Khodashenas *et al.*, (2017) واکنش ارقام اصلاح‌شده و توده‌های محلی نخود دیم را به تاریخ کاشت و تراکم بذر در منطقه مشهد مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که وزن ۱۰۰ دانه نخود یکی از عوامل مهم و تأثیرپذیر از تاریخ کاشت این محصول می‌باشد و همچنین گزارش شد که تراکم بذر تأثیر قابل توجهی بر صفات مورد ارزیابی در پژوهش مذکور داشت.

از یک دیدگاه، به‌نژادی را می‌توان علم و هنر انتخاب بهترین‌ها در جامعه اصلاحی تعریف کرد و به منظور دستیابی به این هدف، باید جامعه مورد مطالعه از نظر صفات مورد بررسی دارای تنوع مطلوب باشد و آگاهی از این تنوع خود نیازمند ارزیابی ژرم‌پلاس مورد مطالعه می‌باشد (Ebrahimi *et al.*, 2016). اگرچه انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب در شرایط مختلف بر مبنای اجزای عملکرد از دیرباز مرسوم بوده است، اما استفاده از شاخص‌های انتخاب که شامل مجموعه‌ای از ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری گیاه است، راهنمای مناسبی در پی‌بردن

۱. Boundary lines

۲. Crop properties balance index (CPBI)

۳. Sigmoid

جمع‌آوری شد. لازم به ذکر است که مبنای محاسبات در کشت‌های پاییزه برای دو صفت تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در تمامی ایستگاه‌های تحقیقاتی بدون لحاظ روزهای یخبندان (به‌طور متوسط ۱۰۰ روز در سال) می‌باشد.

ب) ترسیم نقاط پراکنش بین صفات و عملکرد دانه

رابطه بین هر صفت جداگانه با عملکرد دانه به‌صورت نقاط پراکنش با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد. سپس حداکثر محدودیت هر صفت با استفاده از خطوط مرزی تعیین شد. برای این منظور نقاط پراکنش موجود در هر شکل با استفاده از دو خط رگرسیونی محصور شد، به نحوی که یکی از خطوط رگرسیونی در سمت چپ هر شکل و دیگری در سمت راست قرار گرفت. محل تلاقی این دو خط، نشان‌دهنده رفع تمامی محدودیت‌ها در شرایط آزمایش و رسیدن به حداکثر عملکرد می‌باشد. این دو خط رگرسیونی خطوط مرزی نامیده می‌شوند. برای تعیین دقیق معادلات خطوط مرزی مربوط به هر صفت گیاهی، ابتدا تمامی داده‌های آن صفت با در نظر گرفتن عملکرد دانه توسط نرم‌افزار Excel به صورت صعودی (متغیر وابسته یا عملکرد دانه) مرتب شد. سپس کل داده‌ها به گروه‌های ۲۰ تایی تقسیم شدند. در هر گروه ۲۰ تایی حداکثر عملکرد دانه به همراه ارزش صفت مربوطه به صورت زوج‌مرتبه در یک جدول تنظیم شد. در برازش معادله رگرسیونی مربوط به سمت چپ هر شکل (بخش صعودی) از زوج‌مرتبه‌هایی استفاده شد که عملکرد دانه و ارزش صفت آن‌ها در مقایسه با گروه قبلی (گروه ۲۰ تایی) افزایشی بودند. برای برازش معادله رگرسیونی سمت راست هر شکل (بخش نزولی) بر عکس حالت قبلی عمل شد. معادلات مربوطه با استفاده از نرم‌افزار CurveExpert1.4 برازش شد (Feiziasl et al., 2010).

ج) تعیین حد و حدود بهینه صفات گیاهی

برای این منظور از دو روش خطوط مرزی و میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا استفاده شد. در روش خطوط مرزی، حد بهینه هر صفت گیاهی (متغیر مستقل) محل تلاقی عمود رسم شده از حداکثر منحنی (محل تلاقی دو خط مرزی) با محور X می‌باشد که امکان دستیابی به حداکثر عملکرد در آن نقطه وجود دارد. به منظور تعیین حدود بهینه هر صفت گیاهی، عملکرد دانه در هر شکل به دو گروه دارای عملکرد پایین و بالا تقسیم شد. این گروه‌بندی معمولاً اختیاری است و بر اساس عرف رایج انجام می‌گیرد. در این پژوهش، مبنای تفکیک عملکردها به دو گروه ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، به طوری که عملکردهای بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار را

عملکرد بالا و کمتر از آن به عنوان عملکردهای پایین برای نخود دیم نام‌گذاری شد. شرط این گروه‌بندی نرمال‌بودن داده‌های مربوط به عملکرد دانه در جامعه دارای عملکرد بالا و عضویت حداقل ۴۰ درصد از بانک اطلاعات در جامعه دارای عملکرد بالاست. حال با ترسیم خطی از عملکرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به موازات صفت مربوطه در محور X، دو خط مرزی سمت چپ و راست قطع شدند که ارزش محور X این دو نقطه به عنوان حدود بهینه برای آن صفت در نظر گرفته شد (Feiziasl et al., 2003; Feiziasl et al., 2010).

در روش خطوط مرزی علاوه بر روش پیشین، پس از مرتب‌نمودن داده‌ها بر اساس نزولی (عملکرد دانه) از هر پنج داده متوالی میانگین‌گیری شد تا بدین طریق اولاً پراکندگی داده‌ها کاهش یابد و حجم داده‌ها به حدود یک پنجم (حدود ۱۶۰۰ داده) رسید. ثانیاً نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی با تعدیل داده‌های پرت با نتایج واقعی در شرایط ایستگاه‌های تحقیقاتی همخوانی داشته باشد. همانند روش خطوط مرزی برای این داده‌ها نیز خطوط رگرسیونی ترسیم و مورد بحث قرار گرفت.

در روش میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا همانند روش قبلی به صورت اختیاری عملکرد دانه به دو گروه کم و زیاد تقسیم شد. میانگین صفت گیاهی ($\bar{X}$) در جامعه دارای عملکرد بالا در هر شکل به عنوان حد بهینه آن صفت شناخته شد که در عمل این حد نماینده عملکردهایی است که توسط ژنوتیپ‌های برتر به‌دست‌آمده‌اند و با افزایش تعداد نمونه‌ها در جامعه دارای عملکرد بالا مقدار حد بهینه تعیین شده به عدد ثابتی نزدیک‌تر می‌شود (Sumner, 1977). در این روش حدود بهینه هر صفت گیاهی با استفاده از انحراف معیار جامعه دارای عملکرد بالا از طریق رابطه $X \pm SD$ برای آن صفت تعیین گردید.

در این پژوهش، روابط بین صفات در جامعه دارای عملکرد بالا و پایین به تفکیک، با استفاده از نرم‌افزار XLstat2016 از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت خصوصیات گیاهی ارقام نخود معرفی شده در مناطق سردسیر دیم (آنا، سارال، ثمین و سعید) با حد و حدود بهینه صفات در بانک اطلاعاتی با هر دو روش خطوط مرزی و میانگین‌گیری مقایسه و تفسیر شد.

نتایج و بحث

الف) حد و حدود بهینه صفات گیاهی

در بانک اطلاعاتی جمع‌آوری‌شده، ارتفاع گیاه برای ژنوتیپ‌ها در مناطق مورد مطالعه ۴۳-۱۰ سانتی‌متر بود (شکل

شرایط دیم و پیش‌بینی عملکرد دانه نام برده‌اند (Panda et al., 2015; Banik et al., 2017).

مقایسه دامنه بهینه برای ارتفاع بوته در دو روش داده خام و میانگین‌گیری از بانک اطلاعاتی نشان داد که در روش داده های خام، دامنه حدود سه مرتبه گسترده‌تر از روش میانگین-گیری از بانک اطلاعاتی است و این برای معرفی ارقام با تأکید بر ارتفاع بوته چندان مناسب نخواهد بود، لذا به نظر می‌رسد تعیین دامنه بهینه ارقام در دست معرفی نخود دیم برای مناطق سردسیر با تأکید بر ارتفاع گیاه با استفاده از روش میانگین-گیری از بانک اطلاعاتی مناسب‌تر از داده‌های خام باشد.

متوسط ارتفاع گیاه هر چهار رقم آنا، سارال، سعید و ثمین نیز در محدوده ۳۲/۵-۲۵/۰ قرار داشت و این امر قابل اطمینان بودن این دامنه را برای صفت ارتفاع بوته را نشان می‌دهد. در حالی که تفاوت چندانی بین حد مطلوب ارتفاع گیاه در دو روش داده‌های خام و میانگین‌گیری از بانک اطلاعاتی مشاهده نشد (شکل A۱ و B).

در بانک اطلاعاتی مورد بررسی، وزن ۱۰۰ دانه برای ژنوتیپ‌های بررسی‌شده در ایستگاه‌های سردسیر دیم ۸/۹-۶۶/۴ گرم ثبت شده بود (شکل A۲). حد بهینه وزن ۱۰۰ دانه نخود دیم با داده‌های خام و میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی به ترتیب ۳۴/۰ و ۳۶/۰ گرم (میانگین ۳۵ گرم) تعیین گردید که اعداد به‌دست‌آمده از این دو روش ۲ گرم تفاوت دارند.

حدود بهینه وزن ۱۰۰ دانه در این روش‌ها به ترتیب ۵۰/۵-۲۰/۱ و ۴۲/۰-۲۷/۰ گرم (به ترتیب با دامنه ۳۰/۴ و ۱۵/۰ گرم) بود که همانند صفت ارتفاع بوته، دامنه به‌دست‌آمده برای وزن ۱۰۰ دانه در داده‌های خام دو برابر گسترده‌تر از داده های میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی بود (شکل A۲ و B).

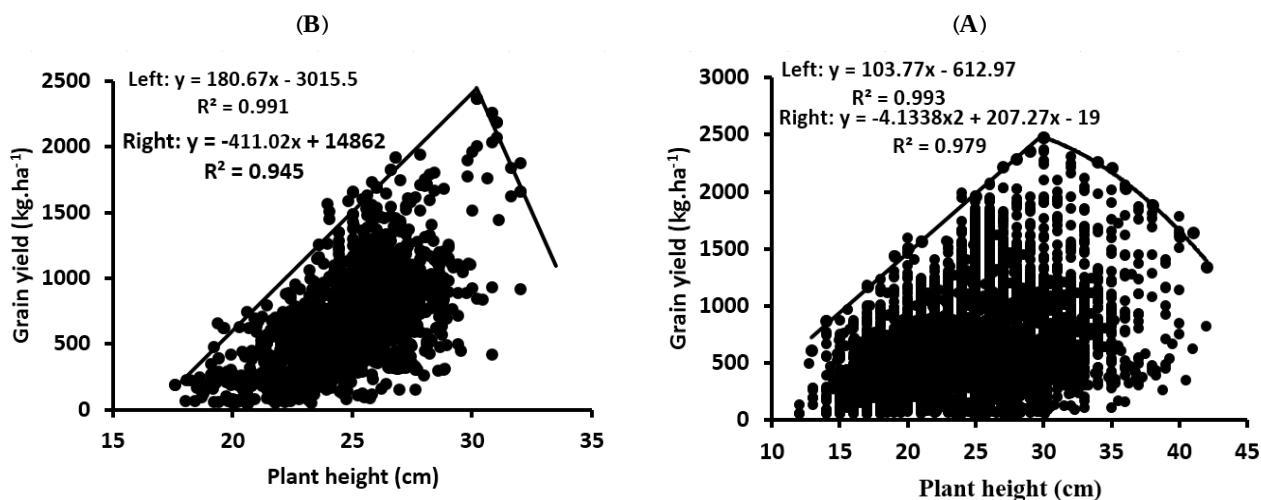
متوسط وزن ۱۰۰ دانه ارقام معرفی‌شده آنا، سارال، سعید و ثمین برای مناطق سرد به ترتیب ۳۵، ۲۷/۵، ۳۶ و ۳۵ گرم می‌باشد (Saeed et al., 2017; Kanouni et al., 2013; Sabaghpour et al., 2017) که در مقایسه با حد مطلوب وزن ۱۰۰ دانه، اختلاف ۲/۵ گرمی (متوسط ۰/۸ گرم) را نشان می‌دهد که این اختلاف تنها به دلیل تفاوت وزن ۱۰۰ دانه رقم سارال با حد بهینه توصیه‌شده توسط بانک اطلاعاتی ۲۰ ساله می‌باشد، زیرا که وزن ۱۰۰ دانه سه رقم آنا، سعید و ثمین دقیقاً مشابه با حد بهینه توصیه‌شده توسط بانک اطلاعاتی است و این نشان از دقت بالای روش خطوط مرزی در تعیین حد بهینه صفات گیاهی برای نخود دیم می‌باشد.

A۱). با استفاده از روش خطوط مرزی، حد مطلوب و دامنه بهینه صفات گیاهی در بانک اطلاعاتی با داده‌های خام و همچنین میانگین‌گیری از هر پنج داده متوالی تعیین گردید. نتایج نشان داد حد بهینه ارتفاع گیاه با داده‌های خام و میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی با اختلاف ۰/۴ سانتی‌متر به ترتیب ۲۹/۸ و ۳۰/۲ سانتی‌متر (میانگین ۳۰ سانتی‌متر) می‌باشد. حدود بهینه این صفت در بانک از طریق داده‌های خام و میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی به ترتیب ۴۱/۱-۲۰/۲ و ۳۲/۵-۲۵/۰ سانتی‌متر (به ترتیب با دامنه ۲۰/۹ و ۷/۵ سانتی‌متر) تعیین گردید (شکل A۱ و B). بر اساس بانک اطلاعاتی ۲۰ ساله موجود در مناطق سرد کشور برای نخود دیم، ژنوتیپ‌ها و ارقامی با ارتفاع بوته نزدیک به ۳۰ سانتی‌متر بیشترین عملکرد دانه را در شرایط آزمایش‌های مزرعه‌ای تولید نمودند. همچنین ارقام و ژنوتیپ‌هایی با دامنه ارتفاع بوته حدود ۴۱-۲۰ سانتی‌متر، عملکرد دانه مطلوبی را در مقایسه با ارقام با ارتفاع کوتاه‌تر داشتند.

بررسی ارقام معرفی‌شده نخود دیم در مناطق سرد توسط مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور نشان می‌دهد که متوسط ارتفاع بوته ارقام آنا، سارال، سعید و ثمین به ترتیب ۳۶، ۲۸، ۳۲ و ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد (Kanouni et al., 2013; Sabaghpour et al., 2017; Saeed et al., 2017) که در مقایسه با حد مطلوب ارتفاع بوته، ۳/۳ سانتی‌متری (۲ تا ۴ سانتی‌متر) اختلاف دارد. اگرچه با افزایش تراکم بوته در واحد سطح و تاریخ کاشت زود هنگام نخود تاحدودی می‌توان باعث افزایش ارتفاع بوته شد، اما کاشت ارقام نخود پابلند در شرایط مزرعه‌ای نرمال از اهمیت زیادی برخوردار است (Majnoon Hosseini et al., 2003; Farnia & Moradi, 2015; Sadeghzadeh-Ahari, 2016a). زیرا که ارتفاع بوته بیشتر علاوه بر نقش آن در امکان برداشت مکانیزه نخود (حداقل ارتفاع بوته مورد نیاز ۲۵ سانتی‌متر)، به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای افزایش اندام‌های رویشی و فتوسنتزی گیاه و همچنین اندام‌های ذخیره‌ای کربوهیدرات گیاه در شرایط دیم محسوب می‌شود (Sadeghzadeh-Ahari, 2016a).

از سوی دیگر، نتایج آزمایش‌های مختلف در شرایط متفاوت نشان می‌دهد که ارتفاع بوته نخود همبستگی مثبتی با عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک این گیاه دارد (Kanouni, 2003; Kobraee et al., 2010; Mirzaei Heydari et al., 2012; Nasri et al., 2011).

از این‌رو، اهمیت ارتفاع گیاه در تعیین پتانسیل عملکرد گیاه تا حدی است که برخی از این صفت به عنوان یکی از مهم‌ترین صفات مورد استفاده در گزینش ارقام مناسب برای

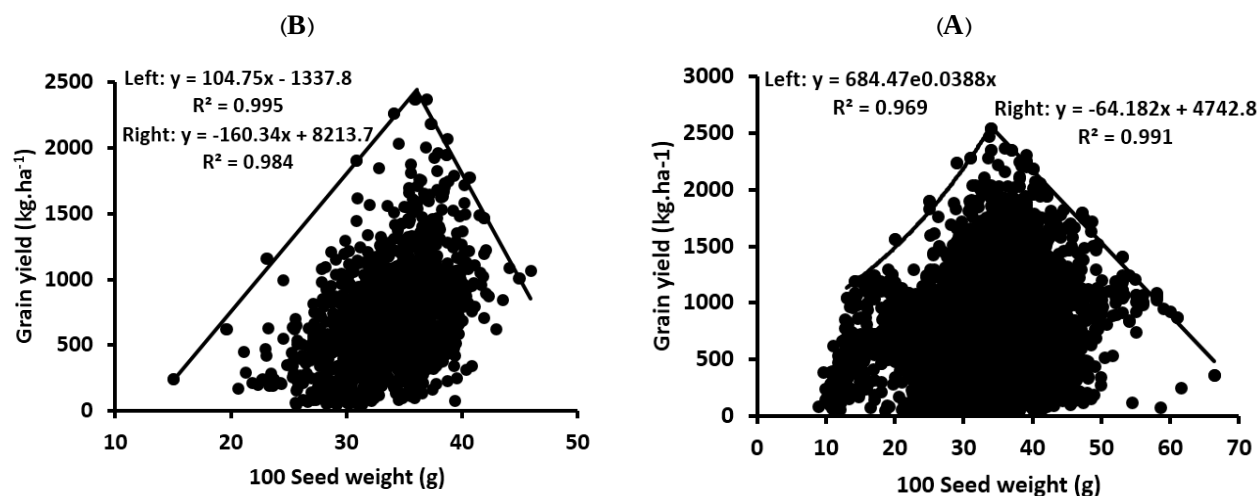


شکل ۱- نمودار پراکنش عملکرد دانه و ارتفاع گیاه نخود دیم در بانک اطلاعاتی خام (A) و میانگین‌گیری شده (B) در مناطق سرد ایران
Fig. 1. Scatter diagrams of grain yield and plant height of dryland chickpea in data bank (A) and averaging data (B) under cold winter areas of Iran

مربوط به کشت‌های بهاره و پاییزه در بانک اطلاعاتی تجمیع‌شده در بلندمدت می‌باشد (شکل A۳ و A۴). مطابق این بانک اطلاعاتی، صفت تعداد روز تا گلدهی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی نخود دیم از ۲۵ تا ۱۰۳ روز مشاهده می‌شود. حد بهینه تعداد روز تا گلدهی برای کشت‌های بهاره ۵۶/۲ روز و برای کشت‌های پاییزه ۸۹/۲ روز با داده‌های خام تعیین شد (شکل A۳). معمولاً کشت‌های بهاری در مناطق سرد و نیمه سرد به طور میانگین از ۱۵ فروردین شروع و کشت‌های پاییزی از اولین بارندگی مؤثر (۲۰-۱۵ میلی‌متر) لحاظ می‌شود. این در حالی است که حد بهینه تعداد روز تا گلدهی نخود دیم در این مناطق در بانک اطلاعاتی میانگین‌گیری شده ۷۵/۶ روز تعیین گردید (شکل B۳). این عدد ۲/۹ روز از میانگین (۷۲/۷ روز) مربوطه به دو حد بهینه کشت‌های بهاری و پاییزی برای تعداد روز تا گلدهی در بانک اطلاعاتی خام تفاوت دارد و از لحاظ عددی تا حدودی نزدیک به آن می‌باشد (شکل B۳). بررسی تعداد روز تا گلدهی ارقام معرفی‌شده نخود دیم برای کشت پاییزه در مناطق سرد و نیمه‌سرد کشور نشان می‌دهد متوسط این صفت برای ارقام آنا، سارال و سعید که در آن گیاه فعالیتی ندارد، به ترتیب ۷۷، ۱۱۲ و ۱۰۰ روز می‌باشد (Kanouni et al., 2017; Saeed et al., 2013; al., 2013) که در مقایسه با حد مطلوب تعداد روز تا گلدهی برای ارقام پاییزه به طور متوسط ۷/۱ روز (۱۲/۲ الی ۲۲/۸ روز) اختلاف دارد.

بررسی دقیق خطوط مرزی صفت وزن ۱۰۰ دانه در بانک اطلاعاتی نشان می‌دهد که با افزایش این صفت از حد بهینه (۳۵ گرم) به دست‌آمده، در هر دو روش داده خام و میانگین‌گیری شده از بانک اطلاعاتی، عملکرد به صورت خطی کاهش می‌یابد. این کاهش برای داده‌های خام از ۳۵ تا ۶۸ گرم و برای داده‌های میانگین‌گیری شده از ۳۵ تا ۴۷ گرم می‌باشد (شکل A۲ و B). به نظر می‌رسد این امر بیشتر به دلیل کاهش تحمل گیاه در مقابل تنش سرما در کشت‌های پاییزه است، زیرا بررسی‌ها نشان می‌دهد وزن ۱۰۰ دانه نخود با تحمل به سرمای آن رابطه عکس دارد (Yadav et al., 2007; Kanouni et al., 2009). Sadeghzadeh-Ahari (2016b) گزارش نمود که ارقام دارای بذور درشت‌تر (وزن ۱۰۰ دانه بیشتر) در برابر تنش خشکی نیز حساس‌تر هستند، زیرا که ژنوتیپ‌های دارای بذور ریز بیشترین میزان جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه-چه، شاخص بنیه بذر و شاخص بنیه طولی گیاهچه را در مقایسه با بذور درشت داشتند. بنابراین ژنوتیپ‌های دارای وزن ۱۰۰ دانه بالاتر به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر در مقابل تنش‌های محیطی مانند سرما و خشکی (تنش آبی) در جمعیت اصلاحی نخود هرگز به عنوان ارقام امیدبخش و کاندید برای معرفی انتخاب نمی‌شوند.

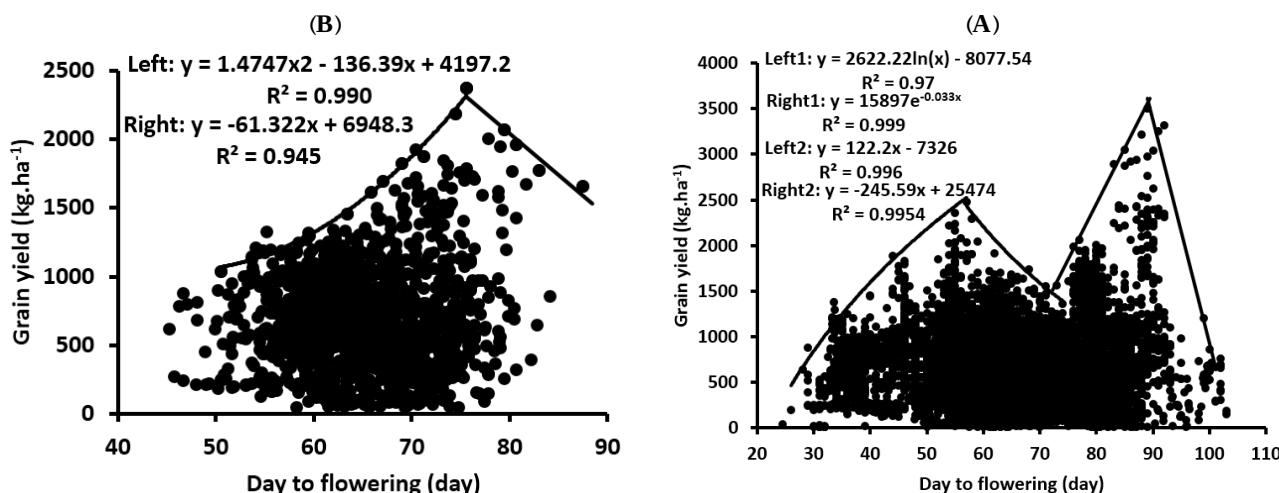
بر خلاف سایر صفات زراعی، تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک گیاه نخود در مناطق سردسیر در بانک اطلاعاتی خام به جای یک نقطه ماکزیمم (حد بهینه)، دارای دو نقطه ماکزیمم می‌باشد و علت آن تلفیق داده‌های



شکل ۲- نمودار پراکنش عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه نخود دیم در بانک اطلاعاتی خام (A) و میانگین‌گیری شده (B) در مناطق سرد ایران
Fig. 2. Scatter diagrams of grain yield and 100 seed weight of dryland chickpea in data bank (A) and averaging data (B) under cold winter areas of Iran

منفی وجود دارد (Moosavi et al., 2017; Rezaeinia et al., 2017). زیرا که ارقامی از نخود دیم که فاصله زمانی جوانه-زنی تا گلدهی آن‌ها طولانی‌تر است، با تنش خشکی انتهای فصل مواجه شده و تعداد غلاف و دانه کمتری در واحد بوته تولید می‌کنند (Moosavi et al., 2017). این نتایج کاملاً با یافته‌های به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد، زیرا در هر دو بانک اطلاعاتی خام و میانگین‌گیری شده با عبور از حد بهینه تعداد روز تا گلدهی، عملکرد دانه نخود در هر دو کشت بهاره و پاییزه کاهش چشمگیری دارد. لازم به ذکر است که این شرایط در محدوده قبل از حد بهینه نیز کاملاً مشهود است (شکل ۳). مصادف شدن مرحله گلدهی نخود با خشکی آخر فصل و همچنین دمای حداکثر و دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد باعث ریزش گل‌ها، ریزش غلاف‌ها و افزایش تعداد غلاف‌های خالی می‌شود و زنده‌مانی و جوانه‌زنی گرده تحت این شرایط به شدت کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد خشکی آخر فصل، عملکرد دانه نخود را به طور معنی‌داری در مقایسه با شرایط آبیاری کاهش می‌دهد، زیرا این شرایط علاوه بر کاهش زنده‌مانی گرده‌ها، باعث اختلال در عملکرد کلاله نیز می‌شود که این امر در نهایت منجر به کاهش تعداد گل‌ها، ریزش غلاف‌ها و کاهش اندازه بذرها می‌گردد (Pang et al., 2017; Dreccer et al., 2018). بر این اساس سال‌های خشک و گرم منجر به کاهش تعداد بذور، طول دوره پُرشدن دانه و اندازه بذور نخود می‌شود (Pang et al., 2017).

حدود بهینه تعداد روز تا گلدهی نخود دیم برای کشت های بهاره ۸۳/۸-۳۱/۹ روز با دامنه ۵۱/۹ روز و برای کشت‌های پاییزه ۹۹/۷-۶۸/۲ روز با دامنه ۳۱/۵ روز تعیین گردید. این نشان می‌دهد دامنه تعداد روز تا گلدهی در کشت‌های بهاره ۱/۶ برابر گسترده‌تر از دامنه کشت‌های پاییزه برای این صفت است. مطابق این نتایج، ژنوتیپ‌های دارای تعداد روز تا گلدهی خارج از محدوده ۸۴-۳۲ روز برای کشت‌های بهاره و ۱۰۰-۶۸ روز برای کشت‌های پاییزه قادر به تولید عملکردهای مطلوب نیستند و نمی‌توانند کاندیدا برای معرفی به عنوان رقم باشند (شکل ۴ و ۵). این حدود برای بانک اطلاعاتی میانگین-گیری شده ۹۷/۰-۴۶/۲ روز با دامنه ۵۰/۸ روز می‌باشد (شکل ۶ و ۷). که کاملاً متفاوت از دو دامنه به‌دست‌آمده برای کشت‌های بهاره و پاییزه از بانک اطلاعاتی خام می‌باشد. مقایسه حد و حدود بهینه به‌دست‌آمده از دو روش داده خام و میانگین-گیری شده از بانک اطلاعاتی نشان می‌دهد که حد و حدود تعداد روز تا گلدهی برای دو تیپ بهاره و پاییزه کاملاً متفاوت می‌باشد و حد و حدود بهینه حاصل از میانگین‌گیری با هیچ کدام از دامنه‌های یادشده مطابقت ندارد. بنابراین برای تعیین حد و حدود بهینه صفت تعداد روز تا گلدهی دو تیپ بهاره و پاییزه نمی‌توان از میانگین‌گیری بانک اطلاعاتی استفاده نمود، زیرا به‌دست‌آوردن یک حد و یا حدود بهینه برای دو تیپ کاملاً متفاوت، با واقعیات موجود در شرایط مزرع‌ای همخوانی ندارد. نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد بین تعداد روز تا گلدهی و عملکرد دانه همبستگی



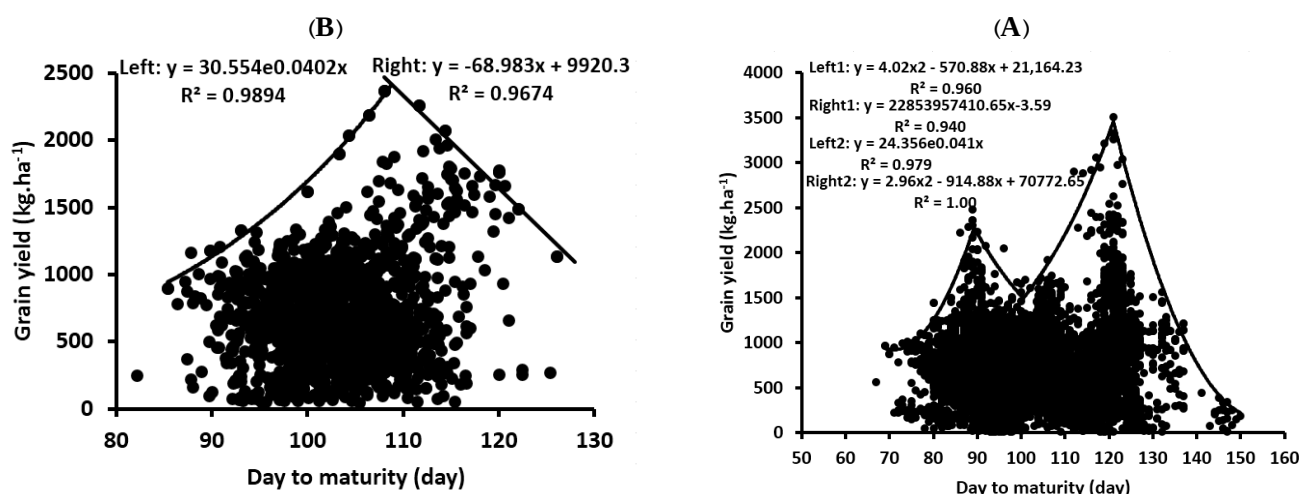
شکل ۳- نمودار پراکنش عملکرد دانه و تعداد روز تا گلدهی نخود دیم در بانک اطلاعاتی خام (A) و میانگین‌گیری‌شده (B) در مناطق سرد ایران
Fig. 3. Scatter diagrams of grain yield and day to flowering of dryland chickpea in data bank (A) and averaging data (B) under cold winter areas of Iran

آن‌ها تا حدودی مشابه (حدود ۴۵ روز) است. مطابق این نتایج ژنوتیپ‌های دارای تعداد روز تا گلدهی خارج از ۷۵-۱۲۰ روز برای کشت‌های بهاره و ۹۰-۱۳۵ روز برای کشت‌های پاییزه نمی‌توانند عملکردهای مطلوبی را تولید نمایند و به عنوان کاندیدا برای معرفی به عنوان رقم باشند (شکل A۳ و A۴). حدود بهینه تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای بانک اطلاعاتی میانگین‌گیری‌شده ۱۲۹/۰ - ۸۶/۸ روز با دامنه ۴۲/۲ روز تعیین گردید (شکل B۳). این دامنه، اگرچه اندکی کوچک تر از دامنه به‌دست‌آمده برای کشت‌های بهاره و پاییزه در بانک اطلاعاتی خام می‌باشد، اما تفاوت محسوسی با آن‌ها ندارد. همانند صفت تعداد روز تا گلدهی، مقایسه حد و حدود بهینه به‌دست‌آمده از دو روش داده خام و میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی نشان می‌دهد که حد و حدود بهینه تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای دو تیپ بهاره و پاییزه کاملاً متفاوت می‌باشد و برای تعیین آن‌ها نمی‌توان از روش میانگین‌گیری بانک اطلاعاتی استفاده نمود. زیرا معرفی یک عدد برای حد و حدود بهینه از طریق میانگین‌گیری از بانک اطلاعاتی به عنوان معیاری برای هر دو تیپ کاملاً متفاوت پاییزه و بهاره نخود دیم، با واقعیات موجود این گیاه در شرایط مزرعه‌ای همخوانی نخواهد داشت. این امر کارآیی پایین روش میانگین‌گیری را در مقایسه با روش خطوط مرزی در تعیین دامنه بهینه صفات و عدم توانایی تفکیک تیپ پاییزه و بهاره نخود دیم را از یکدیگر نشان می‌دهد (شکل B۳ و B۴). همانند صفت تعداد روز تا گلدهی، بین تعداد روز تا رسیدگی و عملکرد دانه نیز

داده‌های مربوط به صفت تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نخود دیم در بانک اطلاعاتی مورد بررسی از ۶۷ تا ۱۵۰ روز به ثبت رسیده است (شکل A۴). حد بهینه تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای کشت‌های بهاره ۸۹/۴ روز و برای کشت‌های پاییزه ۱۲۰/۸ روز با داده‌های خام تعیین شد (شکل A۴). در حالی که حد بهینه تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نخود دیم در این مناطق در روش میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی ۱۰۸/۸ روز به دست آمد (شکل B۴). این عدد ۳/۷ روز بیشتر از میانگین (۱۰۵/۱ روز) مربوطه به دو حد بهینه کشت‌های بهاره و پاییزه در بانک اطلاعاتی خام می‌باشد و از لحاظ عددی تا حدودی نزدیک به آن است (شکل B۴). تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک ارقام معرفی‌شده نخود دیم برای مناطق سرد کشور نشان می‌دهد که بدون احتساب طول دوره یخبندان ۱۰۰ روزه در این مناطق، متوسط این صفت برای ارقام آنا، سارال و سعید به ترتیب ۱۱۴، ۱۳۵ و ۱۴۳/۵ روز می‌باشد (Kanouni et al., 2013; Saeed et al., 2017) که میانگین تفاوت این سه رقم با حد مطلوب تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک برای تیپ پاییزه ۱۰ روز (۶/۸ تا ۲۲/۷ روز) اختلاف دارد. حدود بهینه تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نخود دیم برای کشت‌های بهاره ۱۲۱/۱-۷۶/۱ روز با دامنه ۴۵ روز و برای کشت‌های پاییزه ۱۳۶/۹-۹۰/۶ روز با دامنه ۴۶/۳ روز تعیین گردید. این موضوع نشان می‌دهد اگرچه تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در دو تاریخ کشت بهاره و پاییزه کاملاً متفاوت می‌باشند، اما دامنه

روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، عملکرد دانه نخود دیم در هر دو تیپ بهاره و پاییزه به شدت کاهش می‌یابد (شکل ۴). نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته نشان می‌دهد طول دوره رویشی نخود تأثیر مستقیم مثبت و بالایی روی عملکرد دانه این گیاه دارد، در حالی که دوره پُرشدن دانه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک اثر مستقیم منفی روی عملکرد دارد (Mansourifar *et al.*, 2012).

همبستگی منفی و معنی‌داری در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. معلوم شده است که ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی، رشد خود را تسریع نموده و زودتر به مرحله زایشی برسند، بر اساس مکانیزم فرار از تنش عملکرد بالایی را تولید خواهند کرد (Moosavi *et al.*, 2017). نتایج به‌دست‌آمده از هر دو بانک اطلاعاتی در پژوهش حاضر، این موضوع را به وضوح نشان می‌دهد که با عبور از حد بهینه تعداد



شکل ۴- نمودار پراکنش عملکرد دانه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک نخود دیم در بانک اطلاعاتی خام (A) و میانگین‌گیری‌شده (B) در مناطق سرد ایران

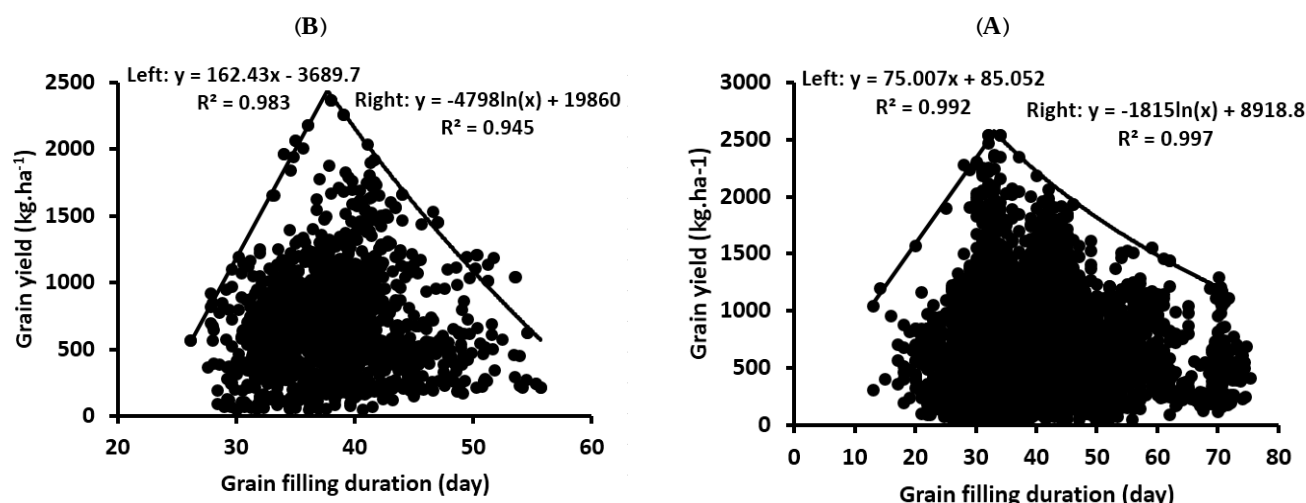
Fig. 4. Scatter diagrams of grain yield and date to physiological maturity of dryland chickpea in data bank (A) and averaging data (B) under cold winter areas of Iran

دوره پُرشدن دانه رقم سالار نزدیک به حد بهینه به‌دست‌آمده از داده‌های خام می‌باشد (شکل A5 و B). با توجه به این که بانک اطلاعاتی مورد بررسی مربوط به شرایط دیم در مناطق سرد کشور بوده و در این مناطق، اغلب گیاهان زراعی با تنش خشکی در اواخر دوره رشد مواجه هستند و از سوی دیگر، کاهش طول دوره پُرشدن دانه منجر به تجمع کمتر مواد پرورده و کاهش وزن نهایی و افت شدید عملکرد در این مناطق می‌شود، لذا به نظر می‌رسد با توجه به شرایط محیطی حاکم (تنش خشکی آخر فصل) دامنه محدود برای حدود بهینه طول پُرشدن دانه مطلوب به نظر می‌رسد و بر این اساس، حدود بین ۳۰ تا ۴۰ روزه برای صفت طول دوره پُرشدن دانه در این شرایط با توجه به طول دوره پُرشدن ارقام معرفی‌شده مناسب باشد. علاوه بر این، نخود حساس به دماهای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در اوایل مرحله پُرشدن دانه است که بر این اساس، سال‌های خشک و گرم منجر به کاهش تعداد بذور، طول دوره پُرشدن دانه، اندازه بذور و کاهش عملکرد نخود می‌شود (Dreccer *et al.*, 2018). همچنین طول دوره

دامنه تغییرات ثبت‌شده برای صفت طول دوره پُرشدن دانه نخود دیم در بانک اطلاعاتی، ۱۳ تا ۷۵/۳ روز بود (شکل A5). در این دامنه، حد بهینه طول دوره پُرشدن دانه با داده‌های خام و میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی به‌ترتیب ۳۳/۱ و ۳۷/۷ روز (میانگین ۳۵/۴ روز) تعیین گردید که اعداد به‌دست‌آمده از این دو روش ۴/۶ روز تفاوت داشتند. حدود بهینه طول دوره پُرشدن دانه در این روش‌ها به‌ترتیب ۱۸/۸-۵۹/۸ و ۳۱/۹-۴۵/۹ روز بود که همانند صفت ارتفاع بوته و وزن ۱۰۰ دانه، دامنه به‌دست‌آمده برای طول دوره پُرشدن دانه در داده‌های خام گسترده‌تر (۳ برابر) از داده‌های میانگین‌گیری‌شده از بانک اطلاعاتی است (شکل A5 و B). طول دوره پُرشدن دانه در ارقام معرفی‌شده آنا، سالار و سعید برای مناطق سرد به‌ترتیب ۳۷، ۳۱/۱ و ۳۵ روز می‌باشد (Kanouni *et al.*, 2013; Saeed *et al.*, 2017). این نتایج نشان می‌دهد طول دوره پُرشدن دانه در دو رقم آنا و سعید نزدیک به حد بهینه به‌دست‌آمده از طریق میانگین‌گیری از بانک اطلاعاتی و طول

بالتری برخوردار است و تجمع مواد پرورده در آن بیشتر بوده که در نهایت باعث افزایش طول دوره پُرسیدن دانه، وزن نهایی دانه و افزایش عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود (Mansourifar et al., 2012).

پُرسیدن دانه تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد. با افزایش شدت تنش خشکی میزان، سهم و کارایی انتقال مجدد و سرعت پُرسیدن دانه افزایش می‌یابد ولی با طولانی شدن بیش از حد دوره پُرسیدن دانه، وزن نهایی دانه و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. در شرایط بدون تنش خشکی، گیاه از طول دوره رشد



شکل ۵- نمودار پراکنش عملکرد دانه و طول دوره پُرسیدن دانه نخود دیم در بانک اطلاعاتی خام (A) و میانگین‌گیری شده (B) در مناطق سرد ایران

Fig. 5. Scatter diagrams of grain yield and grain filling duration of dryland chickpea in data bank (A) and averaging data (B) under cold winter areas of Iran

دوره پُرسیدن دانه (در جهت مخالف با عملکرد دانه) و ارتفاع گیاه (هم‌جهت با عملکرد دانه) در مؤلفه دوم با توجیه ۲۳ درصد تغییرات قرار گرفتند. وزن ۱۰۰ دانه با حدود ۱۵ درصد توجیه تغییرات، مستقلاً در مؤلفه سوم قرار گرفت و ارزش ویژه آن هم جهت با عملکرد دانه بود، اما به دلیل پایین بودن مقدار ارزش ویژه^۱ آن (کمتر از یک) این مؤلفه از لحاظ آماری قابل انتخاب نیست (جدول ۲ و شکل A۶). این امر نشان می‌دهد که وزن ۱۰۰ دانه نخود دیم تنها اعتبار تجاری و بازاریابی دارد و عاملی نیست که اصلاحگران نخود دیم بتوانند از آن به عنوان صفت اصلی در گزینش ارقام استفاده نمایند. همچنین نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در جامعه دارای عملکرد بالا مشخص نمود که اصلاحگران نخود دیم باید به ترتیب از دو صفت تعداد روز تا گلدهی (بیشترین همبستگی با عملکرد دانه) و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و در مرتبه دوم از ارتفاع گیاه همراه با عملکرد دانه برای انتخاب ارقام نخود مناسب در شرایط دیم استفاده نمایند (شکل A۶). در جامعه دارای عملکرد پایین، سه صفت ارتفاع گیاه، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه در جهت هم

مقایسه حد بهینه صفات گیاهی به دست آمده از دو روش خطوط مرزی و میانگین‌گیری شده از جامعه دارای عملکرد بالا نشان داد که تفاوت در دو روش برای صفات وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع گیاه کم بوده و برآورد هر دو روش بسیار نزدیک به هم می‌باشد، اما در صفات تعداد روز تا گلدهی به ویژه برای کشت های پاییزه و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در کشت بهاره، برآورد دو روش خطوط مرزی و میانگین‌گیری تفاوت دارد. همچنین حدود بهینه تعیین شده برای صفات در هر دو روش کاملاً متفاوت می‌باشد (جدول ۱). یکی از مزایای استفاده از خطوط مرزی توجه به روند تغییرات واقعی داده‌ها در بانک اطلاعاتی است، لذا حد و حدود بهینه تعیین شده با استفاده از این روش دقیق‌تر و واقعی‌تر از روش میانگین‌گیری از بانک اطلاعاتی است و بیشتر با حد بهینه ارقام معرفی شده منطبق است (Feiziasl et al., 2010).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در جامعه دارای عملکرد بالا نشان داد که صفات عملکرد دانه، تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به صورت مثبت در مؤلفه اول با توجیه ۴۲ درصد از تغییرات بانک اطلاعاتی و دو صفت طول

1. Eigenvalue

در مؤلفه سوم قرار گرفت (جدول ۲ و شکل B۶). با توجه به اینکه اصلاحگران نبات تمایلی به انتخاب ارقام با عملکردهای پایین به عنوان رقم ندارند، لذا بحث بیشتر در خصوص این جامعه چندان مفید واقع نمی‌شود.

(مثبت) با توجه ۳۵ درصد از تغییرات این جامعه در مؤلفه اول قرار گرفتند. دو صفت تعداد روز تا گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک در جهت مخالف با عملکرد دانه با توجه ۲۸ درصد از تغییرات در مؤلفه دوم و صفت طول پُرشدن دانه با حدود ۲۰ درصد از تغییرات و هم جهت با عملکرد دانه مستقلاً

جدول ۱- حد و حدود بهینه تعدادی از صفات گیاهی نخود دیم با استفاده از روش میانگین‌گیری و خطوط مرزی

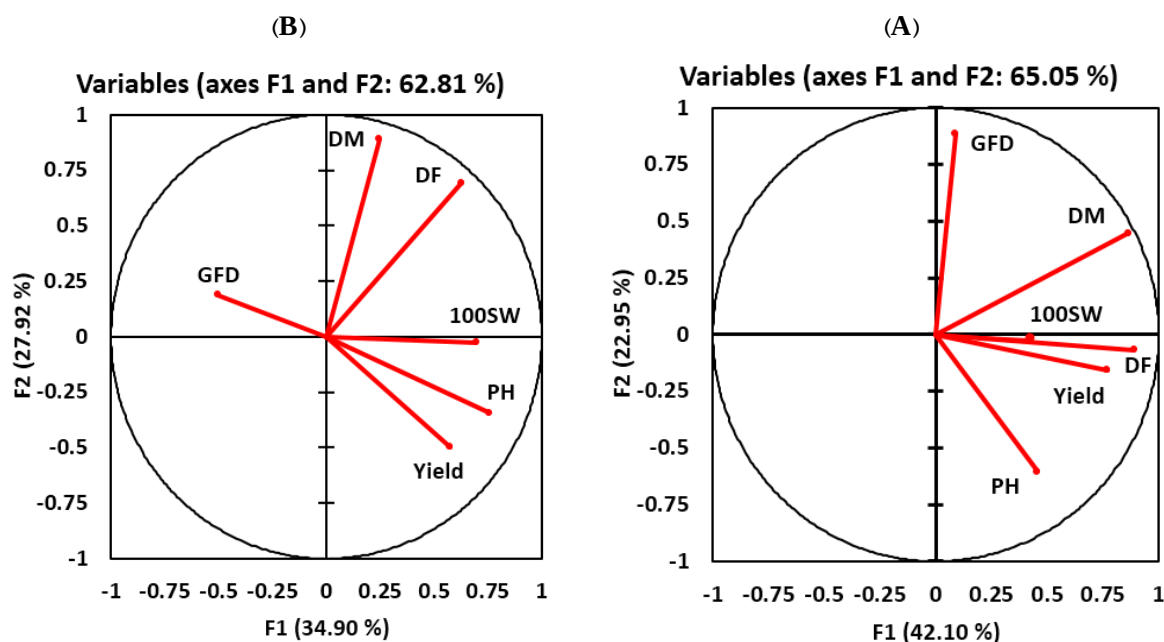
Table 1. Optimal levels of chickpea agronomic characteristics using averaging and boundary lines methods

Traits	صفات	روش میانگین‌گیری Averaging method		روش میانگین‌گیری Averaging method		روش خط مرزی Boundary line method		اختلاف حد بهینه دو روش Optimal difference of two methods
		حد بهینه Optimum level	انحراف S.D.	ضریب تغییرات C.V. %	حدود بهینه Optimum levels	حد بهینه Optimum level	حدود بهینه Optimum levels	
Date to flowering (day)	تعداد روز تا گلدهی (روز)	66.8	10.6 and 22.4	21.9-83.8 68.2-99.7	56.2 and 89.2	60.3-73.3	9.8	6.5
Date to maturity (day)	تعداد روز تا رسیدگی (روز)	105.6	16.2 and 7.1	76.1-121.1 90.6-136.9	89.4 and 120.8	98.5-112.7	6.8	7.1
Grain filling duration (day)	طول دوره پُرشدن دانه (روز)	38.8	6.7	18.8-59.8	32.1	34.7-42.9	10.6	4.1
Plant height (cm)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	26.7	3.1	20.2-41.1	29.8	25.0-28.4	6.4	1.7
100 Seed weight (g)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم)	35.7	1.7	20.1-50.5	34.0	32.5-38.9	8.9	3.2

جدول ۲- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و مقادیر ویژه و درصدهای واریانس عامل‌های مشترک در دو جامعه دارای عملکرد بالا و پایین نخود دیم

Table 2. Principal component analysis and eigenvalue and variability of dryland chickpea genotypes in high and low yielding groups

Traits	صفات	عملکرد بالا High yield			عملکرد پایین Low yield		
		عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor
Date to flowering	تعداد روز تا گلدهی	0.788	-0.005	-0.005	0.394	0.483	-0.104
Date to maturity	تعداد روز تا رسیدگی	0.747	0.200	-0.007	0.061	0.794	0.123
Grain filling duration	طول دوره پُرشدن دانه	0.008	0.783	-0.001	-0.254	0.036	0.699
Plant height	ارتفاع گیاه	0.207	-0.365	-0.004	0.571	-0.116	0.018
100 Seed weight	وزن ۱۰۰ دانه	0.182	-0.001	0.801	0.484	-0.001	0.092
Grain yield	عملکرد دانه	0.594	-0.025	-0.078	0.330	-0.245	0.153
Eigen values	مقادیر ویژه	2.5	1.4	0.9	2.1	1.7	1.2
Variability (%)	تغییرات (درصد)	42.1	23.0	14.9	34.9	27.9	19.8



شکل ۶- بای پلات عملکرد دانه و صفات زراعی نخود دیم در جامعه دارای عملکرد بالا (الف) و پایین (ب)
Fig. 6. Biplot of grain yield and crop properties of dryland chickpea in high (a) and low (b) yielding group

DM: Date to maturity; DF: Date to heading; GFD: grain filling duration; 100SW: 100 Seed weight; PH: Plant height; Yield: Grain yield

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در برخی صفات مانند وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع گیاه تعیین حد بهینه با استفاده از خطوط مرزی و میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا بسیار نزدیک به هم بود، اما در سایر صفات و همچنین حدود بهینه تفاوت زیادی در برآوردهای دو روش مشاهده شد. با توجه به این‌که روش خطوط مرزی روند پراکنش داده و داده‌های گم‌شده را در

بانک اطلاعاتی لحاظ می‌کند و از سوی دیگر حد بهینه تعیین شده از این طریق بسیار نزدیک به ویژگی‌های ارقام نخود دیم معرفی شده برای مناطق سرد بود، لذا برآوردهای آن در حد و حدود بهینه صفات دقیق‌تر و واقعی‌تر از روش میانگین‌گیری از جامعه دارای عملکرد بالا است و استفاده از این روش برای تعیین دقیق حد و حدود صفات به اصلاح‌گران نخود دیم توصیه می‌شود.

منابع

1. Amini, Z., Parsa, M., Nasiri Mahalati, M., and Banayan Aval, M. 2017. Effect of defoliation on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different amount of nitrogen fertilizer and irrigation regimes. Iranian Journal of Pulses Research 8(1): 9-21. (In Persian with English Summary).
2. Banik, M., Deore, G.N., Mandal, A.K., and Shah, P. 2017. Selection of yield contributing traits in chickpea genotypes by correlation and path analysis studies. The Pharma Innovation Journal 6(11): 402-405.
3. Dreccer, M., Fainges, J., Whish, J., Francis, C.O., and Sadras, V.O. 2018. Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. Agricultural and Forest Meteorology 248: 275-294.
4. Ebrahimi, M., Bihamta, M., Hosseinzadeh, A., Khial Parast, F., and Golbashy, M. 2016. Evaluation of yield and yield components and some agronomic traits of white bean genotypes under Karaj climate. Agroecology 2(1): 129-135.
5. Farnia, A., and Moradi, S. 2015. Study of the rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars response to planting dates in Kermanshah conditions. Journal of Applied Research of Ecophysiology 2(1): 47-64. (In Persian with English Summary).

6. Feiziasl, V., Alizadeh, K., Ansari, Y., Mousavi, B., and Ahmadpour Chenar, M. 2003. Application of crop properties balance index in wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs for cold dryland conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 19(2): 121-136.
7. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Amri, A., Ansari, Y., Mousavi, S.B., and Ahmadpour Chenar, M. 2010. Analysis of yield stability of wheat genotypes using new Crop Properties Balance Index (CPBI) method. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38(1): 223-228.
8. Kanouni, H. 2003. Study of seed yield and some associated characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress conditions of Kurdistan. *Iranian Journal of Crop Science* 5(2):146-155. (In Persian with English Summary).
9. Kanouni, H., Farayedi, Y., Sabaghpour, S., Sadeghzadeh- Ahari, D., Shahab, M., Kamel, M., Saeid, A., Mahmoodi, A., Pezeshkpour, P., Norollahi, K., Hasanpour- Hosni, M., Mahdie, M., Bahrami Kamangir, S., Mahmoodi, F., Nemati-Fard, M., and Ghasemi, M. 2013. Saral, new chickpea variety to expand autumn sowing in highland cold areas of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 2(4): 265-276. (In Persian with English Summary).
10. Kanouni, H., Khalily, M., and Malhotra, R.S. 2009. Assessment of cold tolerance of chickpea at rainfed highlands of Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 5(2): 250-254.
11. Khodashenas, A.R., Sadeghzadeh-Ahari, D., Dadmand, M., and Abbaszadeh, M. 2017. Assessment of planting date and seed density impact on yield and yield components of dryland chickpea genotypes in Mashhad condition. *Iranian Journal of Pulses Research* 10(1): 182-194. (In Persian with English Summary).
12. Kobraee, S., Shamsi, K., and Rasekhi, B. 2010. Investigation of correlation analysis and relation between grain yield and other quantitative traits in chickpea. *African Journal of Biotechnology* 9(16): 2342-2348.
13. Majnoon Hosseini, N., Mohammadi, H., Poustini, K., and Khanghah, H.Z. 2003. Effect of plant density on agronomic characteristics, chlorophyll content and stem remobilization percentage in chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 34(4): 1011-1019. (In Persian with English Summary).
14. Mansourifar, C., Shaban, M., Ghobadi, M., and Sabaghpour, S. 2012. Study of grain filling in chickpea cultivars under drought stress and N fertilizer. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(3): 591-602. (In Persian with English Summary).
15. Mirzaei Heydari, M., Maleki, A., Tahmasebi, A., and Fazel, Sh. 2011. Effect of plant density on yield and yield components of dryland chickpea cultivars under autumn and spring sowing in Ilam. *Journal of Research in Crop Science* 3(12): 41-56. (In Persian with English Summary).
16. Moosavi, S., Abdollahi, M., Kian-ersi, F., and Ahmadi-Dehrashid, D. 2017. Assessing genetic diversity and heritability of effective traits on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. *Iranian Journal of Pulses Research* 8(1): 192-208. (In Persian with English Summary).
17. Nasri, R., Heidari Moghadam, A., Siadat, A., Paknejad, F., and Sadeghi Shoaee, M. 2012. Path analysis of traits correlation and supplemental irrigation on yield and yield components of chickpea in Ilam. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding* 8(2): 161-172. (In Persian with English Summary).
18. Panda, D., Sen, A., Dhakre, D.S., and Mondal S. 2015. Correlation analysis of some growth, physiological parameters, yield and yield attributes of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Bio-Resource, Environment and Agricultural Sciences* 1(3): 90-95.
19. Pang, J., Turner, N.C., Khan, T., Du, Y.L., Xiong, J.L., Colmer, T.D., Devilla, R., Stefanova, K., and Siddique, K.H.M. 2017. Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set. *Journal of Experimental Botany* 68(8): 1973-1985.
20. Rezaeinia, M., Bihamta, M., Peyghambari, S., Abbasi, A., and Gharajedaghi, F. 2017. Genetic diversity and relationships between some agronomic traits of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under non-stress and terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research* 8(1): 83-96. (In Persian with English Summary).
21. Rezvani Moghaddam, P., and Sadeghi Samarjan, R. 2008. Effect of sowing dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) (Cultivar ILC 3279). *Iranian Journal of Agronomic Research* 6(2): 315-326. (In Persian with English Summary).
22. Sabaghpour, S.H., Ferayedi, Y., Kamel, M., Mahmoodi, A.A., Mahdeyeh, M., Mahmoodi, F., Saeed, A., Kanoni, H., Pouralibaba, H.R., Khaledahmadi, M., Shabani, A., Namatifard, M., Shahab, M.R., and Karami, I. 2017. Sameen, a new drought tolerance, large seed size and high potential yield chickpea

- cultivar for spring planting on cold dryland condition of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 6(2): 111-121. (In Persian with English Summary).
23. Sadeghzadeh Ahari, D. 2014. Study on genetic diversity of agronomic traits in ten Kabuli and Desi chickpea landraces from eastern Azarbaijan (Hashtrood region). In: Proceedings of the 5th Iranian Pulse Crops Symposium. May 15-16, 2014. KhorramAbad Agricultural Jihad Organization. p. 57-60. (In Persian).
24. Sadeghzadeh-Ahari, D. 2016a. Evaluation of yield and its components of two promising rain fed chickpea genotypes under autumn and hidden sowing at farmer fields. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 4(2): 127-139. (In Persian with English Summary).
25. Sadeghzadeh-Ahari, D. 2016b. Study on drought stress and seed size effects on germination and seedling characteristics of dryland chickpea genotypes. Iranian Dryland Agronomy Journal 5(1): 19-30. (In Persian with English Summary).
26. Saeed, A., Sabaghpour, S., Farayedi, Y., Kanouni, H., Sadeghzadeh Ahari, D., Kamel, M., Nematifard, M., Shahab, M., Mamudi, A., Shobeiri, S., Mostafayi, H., Jahangiri, A., Mahmudi, F., Mahdihyeh, M., Pezeshkpour, P., Seyedi, F., Karimizadeh, R., Armeiun, M., Abdolazimzadeh, R., Akbari Kukia, A., Azizi, A., and Seyed Mahmudian, E. 2017. Saeed, a new chickpea variety, suitable for autumn-entezari planting in template and cold regions at dryland conditions. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 6(2): 149-164. (In Persian with English Summary).
27. Sumner, M.E. 1977. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. Communications in Soil Science and Plant Analysis 8(3): 269-230.
28. Walworth, J.L., Letsch, W.S., and Sumner, M.E. 1986. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. Soil Science Society of America Journal 50:123-128.
29. Yadav, S.S., Redden, R.J., Chen, W., and Sharma, B. 2007. Chickpea Breeding and Management. CAB International Publisher.

Evaluation of crop traits range of dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.) in cold areas of Iran

Sadeghzadeh-Ahari¹, D., Feiziasl^{2*}, V., Kanouni³, H. & Saeid⁴, A.

1. Associate Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran; dsadeghzade@yahoo.com
2. Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran
3. Associate Professor, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran; hh5071@yahoo.com
4. Assistant Professor, West Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Uromieh, Iran; sdalisaeid@yahoo.com

Received: 5 December 2018

Accepted: 8 May 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.76502

Introduction

Pulses play an important role in human nutrition. Among the pulses, chickpea (*Cicer arietinum* L.) is the valuable food in terms of carbohydrates and protein. Chickpea with more than 8 million tons per year ranks third crop in the world. It is planting in 48 countries with more than 12.11 million hectares. The aim of any breeding program working for unpredictable and rainfed environments is to develop varieties with high and stable yields. Breeders take advantage of the selection for several traits to achieve maximum economic yield. The selection of genotypes based on indices using yield components was used by breeders for a long time. Breeders were believed that obtaining a linear function of traits or selection index could lead the selection of genotypes with better genetic values but including economic weights in this function have been expressed by many researchers. Simultaneous selection using characteristics with important and heritable economic values is more effective. Crop yield is a function of multiple interrelated variables and cannot be defined only by a single-variable equation. One of the most effective method is boundary lines that was introduced by Feiziasl *et al.*, (2003 and 2010) for the first time to determine the optimum levels of plant (dryland wheat) characteristics and yield stability analysis. In this paper, "Boundary Lines" and averaging methods and PCA are used to determine optimum levels for some traits of dryland chickpea in cold areas, Iran.

Materials and Methods

More than 8000 data for each trait were collected from national and international trials conducted in Dryland Agricultural Research Institute (DARI) experimental stations in Maragheh, Kurdistan, Zanzan, Uromieh and Ardabil from 1996- 2016. The traits were days to flowering, days to physiological maturity, grain filling period, plant height, 100 seed weight and grain yield. The Excel software was used to develop a scatter diagram showing the relationship between each trait with grain yield in each location. Two methods were used to determine the optimum value for a given trait. One is based on the boundary lines method where the maximum grain yield and the optimum value for the trait considered coincide with the crossing point of the two boundary lines. "Boundary Lines" method was used to determine the maximum limit for each trait. The scatter diagram is surrounded by two regression lines, one on the left and the other on the right called boundary lines. Then Maximum yield was obtained at the intersection of both boundary lines. The other approach, called averaging method, is based on subdividing the data into two groups: high and low yielding groups.

Results and Discussion

The boundary lines method determined the optimum levels for days to flowering, days to physiological maturity, grain filling duration, plant height and 100 seed weight which were 56.2 days for spring and 89.2

*Corresponding Author: vfeiziasl@yahoo.com

days for autumn, 89.4 days for spring and 120.8 days for autumn, 33.1 days, 29.8 centimeters and 34.0 grams, respectively. By averaging of high yielding group method, optimum values for days to flowering, days to physiological maturity, duration grain filling duration, plant height and 100 seed weight characteristics were 75.6 days, 108.8 days, 37.7 days, 30.2 centimeters, and 26.0 grams, respectively. The optimum values for plant height and 100 seed weight were almost the same in both methods while for other traits optimum levels were so different. Principle component analysis (PCA) show that, the most important traits to select high yielding chickpea varieties were days to flowering, days to physiological maturity, and plant height. These methods could help breeders to determine the range of optimum value for traits determining the adaptation of genotypes to a given environment. Boundary lines method is more reliable to determine of characteristic's optimum levels in comparison with the averaging method.

Conclusion

It can be concluded that, determining the optimum levels of some dryland chickpea characteristics were closely equivalent in boundary lines and averaging methods while, for some characteristics, the estimated optimum levels by these methods were so different. Because boundary lines method is considered the data distribution process and gap data in databank, therefore, its estimations for the optimum levels of the characteristics are more accurate and reliable than the averaging of the high yielding group.

Keywords: Boundary lines, Crop traits, Optimum level, Principle component analysis (PCA)

تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و راندمان مصرف آب در لوبیاقرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

سید فرهاد صابری علی^{۱*}، مرجان یوسفی فرد^۲ و کمال سادات اسیلان^۳

۱- استادیار گروه باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، خراسان رضوی، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور کرج، ایران؛ mrjusefifard@gmail.com

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه پیام نور تهران، ایران؛ Kamal.asilan@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

چکیده

بهبود راندمان مصرف آب از طریق مدیریت‌های زراعی از جمله مهم‌ترین راهکارهای مؤثر و کم‌هزینه در مدیریت آب مزارع کشاورزی است. به منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب در لوبیاقرمز، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش تیماری کرت‌های خردشده در منطقه ساوه و در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. تیمار کم‌آبیاری به عنوان عامل اصلی شامل آبیاری در سطح ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک (تیمار عدم تنش)، آبیاری در سطح ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و آبیاری در سطح ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک و عامل فرعی شامل مصرف کود نیتروژن در سطوح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژنی گیاه بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی در شرایط آبیاری بعد از ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، باعث کاهش شاخص سطح برگ، زیست‌توده گیاهی، تعداد دانه در واحد سطح و نهایتاً عملکرد دانه لوبیاقرمز شد؛ در صورتی که تنش خفیف رطوبتی (۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) کاهش معنی‌داری در تعداد دانه تولیدشده در واحد سطح و عملکرد نسبت به تیمار آبیاری مطلوب، ایجاد نکرد. همچنین راندمان آب مصرفی در هر دو سطح تیمار کم‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل در لوبیاقرمز افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که مصرف کود نیتروژن نسبت به عدم مصرف آن موجب بهبود صفات رشدی، عملکردی و نهایتاً راندمان مصرف آب در لوبیاقرمز گردید. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که مصرف ۵۰ درصد از کل نیاز نیتروژنی گیاه لوبیاقرمز در همه سطوح رطوبتی، می‌تواند منجر به تولید مطلوب دانه و راندمان مصرف آب در گیاه لوبیاقرمز گردد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه، رقم گلی، شاخص سطح برگ، کم‌آبیاری

مقدمه

راندمان مصرف آب از جمله راهکارهای مؤثر و کم‌هزینه مدیریت آب در مزارع کشاورزی تحت تنش آبی هستند که از آن جمله می‌توان به روش‌های کم‌آبیاری، تاریخ کاشت مناسب، تراکم مطلوب، ارقام مقاوم، استفاده ارقام زودرس و مدیریت تغذیه گیاه اشاره نمود.

در بیشتر گستره جغرافیای ایران، تمرکز بیشتر بارش‌ها در فصول سرد سال است و بحث مدیریت آب در محصولات فصول گرم (بهار و تابستانه) از اهمیت دوچندانی برخوردار است. حبوبات از جمله مهم‌ترین محصولات اقتصادی فصل گرم و تأمین‌کننده اصلی پروتئین گیاهی موجود در جیره غذایی مردم کشور است. جایگاه سوم سطح زیرکشت کشور در بین حبوبات بعد از نخود و عدس متعلق به لوبیا می‌باشد که گیاهی حساس به تنش کم‌آبی معرفی شده است (Majnoun-Hosseini, 2008; Agricultural Statistics, 2013). تنش کم‌آبی عملکرد دانه، اجزای عملکرد، زیست‌توده اندام هوایی، طول دوره رشد، شاخص برداشت، طول دوره پرشدن دانه، هدایت روزنه‌ای

آب، منبع حیات و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر امنیت، رشد و پیشرفت هر کشوری می‌باشد. ایران کشوری با اقلیم گرم و خشک است که بیش از ۸۵ درصد آن جزو مناطق خشک و نیمه خشک تقسیم‌بندی می‌شوند. ایران در طی سالیان دراز از مشکل کم‌آبی رنج برده است، با توجه به اثرات شدید تغییر اقلیم بر منابع آبی و مصرف بی‌رویه این منابع در گذشته، این مشکل امروزه در حال تبدیل به یک بحران ملی می‌باشد (Madani, 2014 Keshavarz et al., 2013). بخش کشاورزی در ایران بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. با در نظر گرفتن اهمیت آب در موضوع امنیت غذایی و بحران کم‌آبی در ایران، شاید مهم‌ترین رسالت پیش روی محققان بخش کشاورزی معرفی راهکارهای مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی باشد. راهکارهای زراعی مؤثر در افزایش

*نویسنده مسئول: sf.saberali@yahoo.com

عملکرد لوبیاقرمز، انجام این پژوهش ضروری به‌نظر می‌رسید. هدف اصلی این پژوهش، بررسی پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد لوبیاقرمز به تنش کم‌آبیاری با هدف افزایش راندمان مصرف آب در کنار حداقل افت عملکرد دانه بود. به‌علاوه تعیین سطح مطلوب کود نیتروژن مصرفی در هر سطح تنش آبی با هدف دستیابی به راندمان آب بالاتر، از دیگر اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور بررسی پاسخ رشد و عملکرد رقم گلی لوبیاقرمز به تنش کم‌آبیاری و سطح مصرف کود نیتروژن در منطقه ساوه (با طول جغرافیای ۵۰ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح دریا) در سال ۱۳۹۵ اجرا گردید. مشخصات خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش تیماری کرت‌های خردشده در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل مدیریت آبیاری در سه سطح آبیاری بعد از تخلیه ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصدی رطوبت قابل دسترس بود. تخلیه ۴۰ درصد به عنوان حد تخلیه مجاز رطوبتی برای دستیابی به حداکثر عملکرد (USDA-NRCS, 1997) و سایر سطوح رطوبتی به عنوان کم‌آبیاری در نظر گرفته شد. به‌طور متوسط میزان آب مصرفی در تیمارهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک حدود ۵۷۷۰، ۵۵۰۰ و ۵۳۰۰ مترمکعب در هکتار بود. لازم به ذکر است که مدیریت آبیاری به عنوان کرت اصلی در نظر گرفته شد. اعمال تیمارهای آبیاری بعد از استقرار کامل گیاه لوبیاقرمز یعنی دو هفته پس از سبز شدن آن انجام گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک برای اعمال تیمارهای آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (LUTRON PMS-714) و بعد از کنار زدن خاک خشک سطحی در لبه کناری پشته‌ها انجام گردید. برای تعیین زمان آبیاری، رطوبت خاک توسط رطوبت‌سنج به‌طور روزانه پایش شد و از رابطه ۲ برای تعیین زمان رسیدن خاک به سطح تخلیه مورد نظر استفاده گردید و بعد از رسیدن رطوبت خاک به سطح تخلیه مورد نظر آبیاری انجام گرفت. برای تعیین حجم آب آبیاری در هر تیمار آبیاری نیز از رابطه ۳ استفاده گردید (USDA-NRCS, 1997). میزان آب مصرفی برای هر کرت اصلی توسط کنتوری که روی لوله اصلی خروج آب تعبیه شده بود، اندازه‌گیری شد. عامل دوم مقادیر مصرف کود نیتروژن در چهار سطح ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه برای حصول بیشینه عملکرد در رقم گلی لوبیاقرمز در شرایط عدم تنش بود

و محتوای نسبی آب برگ در گیاه لوبیا را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Ramirez-Vallejo & Kelly, 1998; Maia et al., 2003). در گیاه لوبیا تعداد غلاف تشکیل‌شده در بوته و تعداد دانه در واحد سطح حساس‌ترین اجزای عملکرد در پاسخ به تنش رطوبتی معرفی شده‌اند (Santos et al., 2006).

وزارت کشاورزی آمریکا حد تخلیه رطوبتی مجاز خاک برای دستیابی به بیشینه عملکرد در لوبیا را ۴۰ درصد گزارش کرده است (USDA-NRCS, 1997). با این وجود تأثیر کمی رطوبت بر رشد و عملکرد دانه لوبیا بسته به طول مدت، شدت تنش و نیز نوع ژنوتیپ در معرض تنش می‌تواند متفاوت باشد (Maia et al., 2003; Frahm et al., 2004). به‌طوری که در تنش‌های خفیف رطوبتی با استفاده از روش‌های کم‌آبیاری اگرچه عملکرد دانه اندکی کاهش می‌یابد ولی تولید دانه به ازای واحد آب مصرفی می‌تواند افزایش یابد. پس استفاده بهینه از آب و بهبود عملکرد گیاه می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری برای تولید محصولات زراعی شود (Jalilian et al., 2010; Mansouri-Far et al., 2012). نتایج یک پژوهش در مورد لوبیا نشان داد که افت عملکرد ارقام مختلف لوبیاچیتی در پاسخ به تنش خفیف رطوبتی بسیار کمتر از تنش شدید رطوبتی است (Bayat et al., 2010). میزان کافی عناصر غذایی نیز همراه با فراهم‌بودن آب از عامل‌های مهم در دستیابی به عملکرد مناسب به‌شمار می‌رود. همچنین نتایج تحقیقات بیانگر این مطلب است که گیاهانی با تغذیه مناسب در برابر تنش آبی، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند (Davis, 1994; Bayat et al., 2010). در بین عناصر غذایی، کمبود نیتروژن به‌وفور در گیاه لوبیا مشاهده شده است که دلیل این امر ناشی از توانایی کم این گیاه از نظر تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (Bliss, 1993; Graham & Ranalli, 1997) و عدم مصرف کافی نیتروژن در زراعت این گیاه است (Majnoun-Hosseini, 2008). مصرف کود نیتروژن سبب افزایش سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ شده و نهایتاً میزان فتوسنتز و رشد گیاهان را می‌تواند بهبود دهد (Sinclair & Horie, 1989). این افزایش توانایی فتوسنتز گیاه در صورت مصرف متعادل کود نیتروژنی می‌تواند موجب تولید ماده خشک بیشتر در شرایط تنش آبی و نهایتاً افزایش راندمان مصرف آب شود (Santos et al., 2006). در تحقیقات متعدد گزارش شده است که تغذیه گیاه با سطح متعادل نیتروژن منجر به افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش آبی نیز شده است (Bayat et al., 2010; Santos et al., 2006).

با توجه به اهمیت تنش آب و کمبود نیتروژن در زراعت محصول لوبیاقرمز و برهمکنش شدید این دو عامل برای تعیین

برداشت شده به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف در آن‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد، خرمنکوبی و سپس دانه و کل ماده خشک به‌دست آمده توزین شدند. کارایی مصرف آب نیز از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید:

رابطه ۱:

(میزان آب آبیاری / عملکرد دانه) $\times 100$ = کارایی مصرف آب آبیاری

در رابطه فوق مقدار عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و میزان آب آبیاری اندازه‌گیری شده برحسب میلی‌متر بود.

رابطه ۲:

$$\frac{(\text{درصد رطوبت اندازه‌گیری شده خاک} - \text{درصد رطوبت ظرفیت مزرعه})}{(\text{درصد رطوبت نقطه پژمردگی} - \text{درصد رطوبت ظرفیت مزرعه})} = \text{درصد تخلیه}$$

درصد رطوبت حجمی خاک مزرعه در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به‌ترتیب ۲۱ و ۹/۵ درصد و عمق مؤثر ریشه ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (USDA-NRCS, 1997).

داده‌های حاصل از این آزمایش به روش آنالیز واریانس و سپس مقایسه میانگین تجزیه و تحلیل شد. تمامی تجزیه‌های آماری صورت گرفته در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS (V9.4) انجام پذیرفت. بدین ترتیب که قبل از انجام عمل تجزیه واریانس، از نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی در هر یک از تیمارها اطمینان حاصل شد که از آزمون نرمالیتی برای اطمینان از نرمال بودن توزیع خطا استفاده و در صورت وجود توزیع نرمال، داده‌ها تجزیه شدند. لازم به ذکر است که توزیع خطای تمامی صفات بر اساس هر چهار آزمون نرمالیتی نرم‌افزار، از جمله آزمون Anderson-Darling نرمال بود. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون LSD در سطح معنی داری پنج درصد انجام شد. لازم به ذکر است که برای مقایسه میانگین اثرات ساده از دستور means و برای اثرات متقابل از دستور lsmeans استفاده شد (Soltani, 2015). به‌علاوه برای تجزیه رگرسیون نیز از PROC REG استفاده گردید. شکل‌ها و نمودارها نیز توسط نرم‌افزار SigmaPlot ترسیم شدند.

(Saberli et al., 2012). مقادیر مصرف به‌ترتیب شامل ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن (از منبع اوره) در هکتار برای این رقم بود. برای محاسبه مقدار نیتروژن موردنیاز گیاه برای حصول بیشینه عملکرد از پتانسیل تولید دانه این رقم در منطقه، غلظت نیتروژن دانه و شاخص برداشت نیتروژن توسط دانه لوبیا استفاده گردید (Fageria et al., 2011). به منظور آماده‌نمودن بستر مناسب در پاییز سال قبل عملیات شخم عمیق بر روی قطعه موردنظر انجام شد و در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۵ قطعه مذکور مجدداً شخم سطحی زده شد و به منظور خردکردن کلوخه‌ها دو دیسک عمود بر هم در مزرعه اجرا گردید. بذور گیاه در تاریخ ۲۰ خرداد با فاصله ۵ سانتی متری از یکدیگر و در عمق ۳ سانتی‌متر روی ردیف‌های کاشت، کشت شدند. تراکم مطلوب و توصیه‌شده برای رقم گلی ۴۰ بوته در هر مترمربع در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی آزمایشی دارای شش ردیف کاشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و طول هفت متر و عرض سه متر بود. در کرت‌های اصلی با یک حاشیه دو متری از کرت مجاور و کرت‌های فرعی با یک حاشیه ۵۰ سانتی‌متری از کرت آزمایشی مجاور جدا شدند. در همه تیمارها کود نیتروژن در دو نوبت، نیمی در هنگام کاشت و مابقی با شروع غلافدهی لوبیا مصرف گردید. روش نمونه‌برداری تخریبی در طول فصل رشد و همچنین در هنگام رسیدگی لوبیا برای کمی کردن پاسخ رشدی لوبیا به تیمارهای ذکرشده انجام پذیرفت. در هر بار نمونه‌برداری نیز ۶۰ سانتی‌متر طولی ردیف کاشت برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه صفات رشدی (ماده خشک و سطح برگ) و عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در هر کرت آزمایشی به تفکیک اندازه‌گیری شد. سطح برگ سبز (برگ‌هایی که بیش از ۵۰ درصد سطح آن‌ها سبز بود) در اواسط دوره گل‌دهی لوبیا قلمز و بعد از نمونه‌گیری تخریبی با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج (مدل Delta-T) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، نمونه‌ها از دو خط میانی هر کرت و با رهاکردن فاصله ۵۰ سانتی متر ابتدا و انتهای هر ردیف برداشت شد. نمونه‌گیری تخریبی به منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد در انتهای فصل رشد، مصادف با ۱۰ مهرماه ۱۳۹۵ صورت پذیرفت. به منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد لوبیا تعداد ۱۰ بوته از میان بوته‌های

رابطه ۳:

$$\text{مساحت کرت} \times \text{عمق مؤثر ریشه} \times (\text{درصد رطوبت نقطه پژمردگی} - \text{درصد رطوبت ظرفیت مزرعه}) \times (\text{درصد تخلیه مجاز رطوبتی}) = \text{حجم آب آبیاری (متر مکعب)}$$

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1. Physicochemical characteristics of the soils in the experimental site at depth of 0-30 cm

بافت خاک Soil Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH (H ₂ O)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)
Sandy loam	1.2	7.7	1.09	19	129	491

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری و کود نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان شاخص سطح برگ در مرحله انتهایی گل‌دهی (حداکثر سطح برگ) معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که میزان سطح برگ در شرایط تنش آبی در سطح تخلیه ۵۰ و ۶۰ درصد رطوبتی خاک نسبت به تیمار عدم تنش (۴۰ درصد تخلیه رطوبتی) به ترتیب ۴ و ۱۵ درصد کاهش داشت (جدول ۳). کاهش محتوای آب برگ و کاهش تورژسانس و فراهمی کمتر مواد فتوسنتزی از جمله مهم‌ترین دلایل کاهش سطح برگ در شرایط تنش رطوبتی عنوان شده است (Rosales-Serna et al., 2004; Emam et al., 2010). نتایج اثر متقابل آبیاری و میزان کود نیتروژن مصرفی نیز نشان داد که در همه سطوح رطوبتی حداقل شاخص سطح برگ از تیمار عدم کوددهی به‌دست آمد. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۴۰ درصدی رطوبت خاک، حداکثر شاخص سطح برگ در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد (جدول ۳). در شرایط تنش رطوبتی (تخلیه ۵۰ و ۶۰ درصد رطوبتی خاک) نیز اختلاف معنی‌داری بین شاخص سطح برگ در سطوح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که پاسخ سطح برگ به میزان مصرف کود نیتروژن در همه سطوح آبیاری از یک روند درجه دوم پیروی کرده است و این پاسخ درجه دوم ۹۶ تا ۹۸ درصد تغییرات سطح برگ را توجیه می‌کند (شکل ۱الف). این نتایج نشان می‌دهد که با توجه به قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن در لوبیاقرمز، مصرف نیمی از حداکثر نیاز کودی این گیاه برای تولید شاخص سطح برگ حداکثر در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی خفیف کافی می‌باشد. گزارش شده است که بیش از ۵۰ درصد از نیتروژن جذب‌شده در گیاه در برگ و ساختار سیستم فتوسنتزی و یا آنزیم‌های دخیل در آن استفاده می‌شود (Makino et al., 1997). محققان در آزمایشات گوناگون نشان دادند که استقرار سطح برگ بیشتر با مصرف مطلوب کود نیتروژنی می‌تواند منجر به جذب بیشتر نور خورشید و افزایش میزان فتوسنتز در گیاه لوبیا و در نهایت

تولید ماده خشک بیشتر شود (Lynch & White, 1992; Bayat et al., 2010). از طرفی دلیل کاهش سطح برگ لوبیاقرمز در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در شرایط عدم تنش را نیز می‌توان به آیشویی احتمالی نیتروژن و سطح پایین‌تر تثبیت نیتروژن به‌دلیل مصرف حداکثر کود نیتروژن عنوان کرد. کاهش کارایی کود نیتروژن، به دلیل رطوبت زیاد خاک و آیشویی نیترات از منطقه ریشه نیز گزارش شده است (Singh et al., 2010). همچنین گزارش شده است که کاربرد زیاد نیتروژن در ابتدای فصل کاشت می‌تواند منجر به کاهش سطح تثبیت نیتروژن در حبوبات گردد (Westermann et al., 2011).

ماده خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر سطوح آبیاری و کود نیتروژن و اثرات متقابل آن‌ها بر ماده خشک تولیدی در لوبیاقرمز معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد مقدار زیست‌توده کل در سطح تخلیه ۵۰ و ۶۰ درصد رطوبتی نسبت به تیمار عدم تنش به ترتیب ۲ و ۸ درصد کاهش داشت (جدول ۳). نتایج یک تحقیق در کرج نشان داد که آبیاری دو رقم لوبیاقرمز پس از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر نسبت به تیمار شاهد (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر)، به ترتیب کاهش حدود ۲۵ و ۵۷ درصدی ماده خشک تولیدی را باعث شد (Bayati et al., 2017). کاهش سطح برگ (جدول ۳) و کاهش کارایی سیستم فتوسنتزی در شرایط تنش رطوبتی (Hu et al., 2013) می‌تواند منجر به کاهش تولید ماده خشک در شرایط کم‌آبی شده باشد. نتایج اثر متقابل آبیاری و میزان کود نیتروژن مصرفی نیز نشان داد در تمامی سطوح آبیاری با مصرف کود نیتروژن مقدار زیست‌توده کل افزایش یافت، با وجود این، میزان پاسخ ماده خشک تولیدی به میزان کود مصرفی به سطح آبیاری وابسته بود، به‌طوری‌که میزان ماده خشک تولیدی در سطح ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی در شرایط مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۱۷، ۲۵ و ۲۱ درصد افزایش داشت. با این حال، ماده خشک تولیدی در سطح ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی در

سطح تخلیه رطوبتی ۴۰ درصد تعداد غلاف تشکیل شده در بوته با مصرف ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۷/۲۰، ۶/۲۳ و ۳/۲۰ درصد افزایش داشت. این در حالی بود که در سطح تخلیه رطوبتی ۶۰ درصد، تعداد غلاف در بوته با مصرف ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۱/۱۷، ۲/۲۰ و ۱۰/۱۶ درصد افزایش داشت (جدول ۳). تحقیقات نشان داده است که اجزای عملکرد مانند تعداد و وزن غلاف در گیاه کلزا به طور معنی داری تحت تأثیر کاربرد نیتروژن قرار گرفته است (Bilborrow et al., 1993). همچنین گزارش شده است که مصرف مقدار کافی نیتروژن بر همه اجزای عملکرد دانه از جمله تعداد غلاف در بوته مؤثر است و کمبود نیتروژن در گیاه موجب کاهش تعداد غلاف تشکیل شده در بوته لوبیا می شود (Bayati et al., 2017).

تعداد دانه در واحد سطح

تأثیر تیمار آبیاری و مقدار مصرف کود نیتروژن و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر تعداد دانه در واحد سطح لوبیاقرمز معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میزان کاهش تعداد دانه در سطح تخلیه ۵۰ و ۶۰ درصدی رطوبت خاک نسبت به تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، به ترتیب ۱ و ۵ درصد بود (جدول ۳). کاهش تعداد غلاف تشکیل شده در بوته و تعداد دانه تشکیل شده در هر غلاف در لوبیاقرمز در پاسخ به تنش رطوبتی پیش تر نیز گزارش شده است (Bayati et al., 2017). کاهش شمار دانه تشکیل شده در واحد سطح در شرایط تنش خشکی، ناشی از عدم تأمین ماده خشک مورد نیاز برای تشکیل و توسعه اندام‌های زایشی و نهایتاً ریزش این اندام‌ها مانند گل‌ها و نیام‌ها است (Bayati et al., 2017).

در همه سطوح آبیاری، مصرف کود نیتروژن نسبت به عدم مصرف آن باعث افزایش معنی دار تعداد دانه تشکیل شده در واحد سطح گردید و میزان پاسخ تعداد دانه تشکیل شده به کود نیتروژن نیز به میزان آب مصرفی وابسته بود (جدول ۳)، به طوری که در سطح تخلیه رطوبتی ۴۰ درصد خاک، تعداد دانه تشکیل شده در مترمربع با مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم کود دهی به ترتیب ۱۰، ۱۶ و ۱۳ درصد افزایش داشت. در این حال، در سطح تنش شدید (تخلیه رطوبتی ۶۰ درصدی خاک) تعداد دانه تشکیل شده در مترمربع با مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۸، ۱۴ و ۹ درصد افزایش داشت.

شرایط مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۱۶، ۱۳ و ۱۳ درصد افزایش داشت. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین ماده خشک تولیدی در شرایط تخلیه رطوبتی ۴۰ و ۶۰ درصدی خاک، از تیمار کوددهی ۱۰۰ کیلوگرم مصرف نیتروژن در هکتار به دست آمد و مقدار کود مصرفی کمتر و بیشتر از آن مقدار موجب کاهش ماده خشک تولیدی گردید (شکل ۳). نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که پاسخ سطح برگ به میزان مصرف کود نیتروژن در همه سطوح آبیاری از یک روند درجه دوم پیروی می کرد و این پاسخ درجه دوم، ۹۸ تا ۹۹ درصد تغییرات تولید ماده خشک در لوبیاقرمز را توجیه می کند (شکل ۱، ب). سطح برگ بیشتر در پاسخ به مصرف کود نیتروژن (جدول ۳) می تواند عامل جذب نور بیشتر و نهایتاً تولید ماده خشک بیشتر در شرایط مصرف کود نیتروژن گردد. گزارش شده است که نیتروژن با تأثیر بر واکنش‌های بیوشیمیایی، سرعت فتوسنتز، استقرار سطح برگ بیشتر و افزایش طول دوره رویش، می تواند تولید ماده خشک بیشتر در گیاهان را باعث شود (Sinclair, 2004; Sinclair & Horie, 1989).

تعداد غلاف در بوته

تأثیر تیمار آبیاری و مقدار مصرف کود نیتروژن و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان غلاف تولیدی در بوته لوبیاقرمز معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که میزان کاهش تعداد غلاف در بوته در سطح تخلیه ۵۰ و ۶۰ درصد رطوبت نسبت به تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی به ترتیب حدود ۱ و ۵ درصد بود که مقدار کاهش تنها در سطح ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی معنی دار بود (جدول ۳). کاهش سطح دریافت نور و کاهش کارآیی دستگاه فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می تواند باعث کاهش نور دریافتی و نهایتاً کاهش فتوسنتز و تشکیل غلاف در بوته شود (Emam et al., 2010; Hopkins & Huner, 2004). همچنین مشاهده شد که در تمامی سطوح آبیاری با مصرف کود نیتروژن تا مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تعداد غلاف در بوته معمولاً از یک روند افزایشی برخوردار بود. نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که تعداد غلاف در بوته به میزان مصرف کود نیتروژن در همه سطوح آبیاری از یک روند درجه دوم پیروی می کرد و این پاسخ درجه دوم، ۹۵ تا ۹۶ درصد تغییرات تعداد غلاف در بوته لوبیاقرمز را توجیه می کند (شکل ۱، پ). نتایج همچنین نشان داد که پاسخ تعداد غلاف تشکیل شده در بوته به کود نیتروژن به میزان آب مصرفی وابسته بود (جدول ۳)، به طوری که در

جدول ۲- میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده لوبیاقرمز در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن
Table 2. Mean square of measured traits in Kidney bean in response to water deficit and nitrogen

راندمان مصرف آب Water use efficiency	عملکرد دانه Grain yield	تعداد غلاف Pod number	تعداد دانه Grain number	ماده خشک کل Total dry matter	شاخص سطح برگ Leaf area index	درجه آزادی Df	منابع تغییرات S.O.V
0.1715**	137816.7**	0.5447*	17000.7**	138641.6**	0.086*	2	تکرار Replication
0.3116**	120941.4**	2.0795***	17299.1**	1455837.0**	1.85**	2	آبیاری Irrigation
1.57	1259.2	0.0033	132.267	4212.4	0.0141	4	خطای کرت اصلی Error A
1.323**	405713.9***	7.70613***	70029.2***	4489720.0 ***	4.96**	3	نیتروژن Nitrogen
0.0463**	15251.4**	0.07525**	984.0**	80665.8 ***	0.12**	6	آبیاری*نیتروژن Irrigation*Nitrogen
0.0024	772.467	0.01207	57.18	2643.77	0.0026	18	خطای کرت فرعی Error B
16.7	22.1	9.9	19.2	16.3	8.3	-	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)

***, **, *: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵

***, **, *: Significance at P levels of 0.001, 0.01 and 0.05, respectively

مصرف نیتروژن در پی داشت (جدول ۳). کاهش جذب و تثبیت نیتروژن در سطح رطوبتی بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب رطوبتی می‌تواند دلیل چنین پاسخی باشد. آبتشویی بیشتر نیتروژن و کاهش سطح تنفس و رشد ریشه در سطوح بالای رطوبتی خاک و از طرفی کاهش رشد، توسعه و کارکرد ریشه در شرایط کمبود رطوبت از جمله عوامل مؤثر بر کاهش میزان جذب و تثبیت بیولوژیک نیتروژن در شرایط مختلف رطوبتی خاک هستند (Schubert, 1995; Hopkins & Huner, 2004; Finke et al., 1982).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری و مقدار مصرف کود نیتروژن و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه لوبیاقرمز معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر معنی‌دار تیمار کودی و آبیاری و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه لوبیاقرمز پیش‌تر نیز گزارش شده بود (Bayati et al., 2017). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که عملکرد دانه لوبیاقرمز در تیمار ۵۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک، به ترتیب ۱ و ۵ درصد نسبت به تیمار عدم تنش رطوبتی کاهش یافت (جدول ۳). کمبود آب موجب کاهش سطح سطح برگ، جذب نور و بسته‌شدن زودتر روزنه‌ها و کاهش توانایی برای جذب و تثبیت کربن در گیاهان می‌شود (Hopkins & Huner, 2004) که این امر موجب کاهش تعداد دانه و غلاف تشکیل‌شده در گیاه و نهایتاً افت عملکرد دانه در لوبیاقرمز شده است.

نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که پاسخ تعداد دانه تشکیل‌شده در واحد سطح به میزان مصرف کود نیتروژن در همه سطوح آبیاری از یک پاسخ درجه دوم که در برگ‌برنده ۹۹ درصد تغییرات آن بود، پیروی می‌کرد (شکل ۱، ت). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شرایط کم‌آبی میزان پاسخ به میزان مصرف کود نیتروژنی نسبت به شرایط مطلوب آبی کاهش یافته است. تأثیر کمبود رطوبت بر روی کاهش میزان سطح برگ، جذب نور و کارایی سیستم فتوسنتزی گیاه و کاهش تولید ماده پرورده تولیدی از دلایل عدم تأمین ماده خشک برای تشکیل دانه گزارش شده است (Hopkins & Huner, 2004). با توجه به وجود ارتباط بین سرعت رشد محصول و فراهمی مواد پرورده با سطح برگ گیاه در هنگام گلدهی و تأثیر مثبت کاربرد نیتروژن بر فرایندهای فتوسنتزی، افزایش تعداد دانه در اندام زایشی با افزایش مصرف نیتروژن قابل انتظار بود (Hopkins & Huner, 2004; Saberali et al., 2012). پیش‌تر نیز تأثیر مثبت مصرف کود نیتروژن بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در گیاه لوبیا ثابت شده بود (Bayati et al., 2017; Westermann et al., 2011). نتایج نشان داد که در سطح تخلیه رطوبتی ۴۰ و ۵۰ درصدی خاک، مصرف کود نیتروژن بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر تولید دانه تولیدی در واحد سطح نداشت. از طرفی در سطح تخلیه رطوبتی ۶۰ درصدی خاک، مصرف حداکثری کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم) کاهش تعداد دانه تولیدی در واحد سطح را نیز نسبت به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم

جدول ۳- میانگین شاخص سطح برگ، ماده خشک تولیدی، تعداد دانه، تعداد غلاف، عملکرد دانه و راندمان مصرف آب لوبیاقرمز به برهمکنش

سطح آبیاری و کود نیتروژن مصرفی

Table 3. Means of leaf area index, total dry matter, seed number, seed yield and water use efficiency of Kidney bean to interaction of irrigation and nitrogen fertilizer levels

سطح آبیاری Irrigation level	مقدار نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) N application rate (kg ha ⁻¹)	شاخص سطح برگ LAI	ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار) Total dry matter (kg ha ⁻¹)	غلاف (تعداد در بوته) Pod (number plant ⁻¹)	دانه (تعداد در متر مربع) Seed (number m ⁻²)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg ha ⁻¹)	راندمان مصرف آب (کیلوگرم بر میلی‌متر) Water use efficiency (kg mm ⁻¹)
I ₄₀	0	3.83d	7592.3d	9.67c	1289c	3288d	5.73c
	50	5.36c	8914.2c	11.67b	1420b	3637c	6.27b
	100	5.80a	9458.6a	11.94	1493a	3819a	6.58a
	200	5.59b	9223.9b	11.63	1453ab	3725b	6.48ab
	Mean (N)	5.15a	8797.3a	11.23a	1414a	3617a	6.22b
I ₅₀	0	3.75c	7487.7c	9.57c	1266c	3241c	5.98c
	50	5.08b	8703.6b	11.47b	1414b	3583b	6.48b
	100	5.45a	9046.91a	11.79a	1474a	3750a	6.77a
	200	5.49a	9115.2a	11.73ab	1461a	3792a	6.88a
	Mean (N)	4.94b	8588.3b	11.14a	1404a	3592a	6.52a
I ₆₀	0	3.61c	7344.6c	9.41c	1245 c	3170c	6.08b
	50	4.54b	8310.5b	11.03b	1360 b	3461b	6.47a
	100	4.72a	8552.6a	11.32a	1415 a	3613a	6.76a
	200	4.68a	8299.4b	10.92b	1351 b	3501b	6.64a
	Mean (N)	4.39c	8126.8c	10.67b	1343b	3436b	6.48a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.
I₄₀، I₅₀ و I₆₀: به ترتیب سطوح آبیاری در سطح تخلیه ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصدی رطوبت خاک

I₄₀, I₅₀ and I₆₀: Irrigation levels at 40, 50 and 60% of soil moisture depletion, respectively

In each column means with at least one similar letter, had no significant differences at the 5% level of probability.

نیتروژن در همه سطوح آبیاری از یک پاسخ درجه دوم که در برگ‌برنده ۹۹ درصد تغییرات آن بود، پیروی می‌کرد (شکل ۱، ث).

Bayati et al., 2017) نیز گزارش کردند که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد رقم اختر لوبیاقرمز شد، با این وجود تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم مصرف کود نیتروژن در هکتار گزارش نکردند. بررسی تأثیر کمبود نیتروژن بر گیاهان نشان داد که کمبود نیتروژن از طریق کاهش میزان نیتروژن و کلروفیل برگ، باعث تسریع پیری برگ و کارایی فتوسنتزی گیاه می‌شود (Sinclair & Horie, 1989). همچنین کاهش دسترسی به نیتروژن عملکرد کوانتومی انتقال الکترون در فتوسیستم‌ها و کارایی واکنش‌های تاریکی را کاهش می‌دهد (Hopkins & Huner, 2004; Sinclair & Horie, 1989). پس تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان بر واکنش‌های بیوشیمیایی، سرعت فتوسنتز، افزایش دوره رویش آن‌ها مؤثر بوده و از این طریق می‌تواند تجمع ماده خشک و در نتیجه عملکرد در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. دلیل کاهش عملکرد در سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود

نتایج همچنین نشان داد که در تمامی سطوح آبیاری مصرف کود نیتروژن نسبت به عدم مصرف آن موجب افزایش عملکرد دانه لوبیاقرمز شد (جدول ۳). به علاوه، افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی تا مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه لوبیاقرمز در همه سطوح رطوبتی شد. از طرفی مصرف کمتر و بیشتر از این مقدار کود نیتروژنی، کاهش عملکرد دانه لوبیاقرمز در سطح تخلیه رطوبتی ۴۰ و ۶۰ درصد خاک را به همراه داشت. نتایج همچنین نشان داد که پاسخ عملکرد دانه به کود نیتروژنی وابسته به میزان آب مصرفی بود (جدول ۳)، به طوری که در سطح تخلیه رطوبتی ۴۰ درصدی خاک، عملکرد دانه لوبیاقرمز با مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۱۱، ۱۶ و ۱۳ درصد افزایش داشت. در حالی که میزان افزایش عملکرد دانه با مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار عدم کوددهی به ترتیب ۱۰، ۱۶ و ۱۷ درصد در تیمار تخلیه رطوبتی ۵۰ درصد و حدود ۹، ۱۴ و ۱۰ درصد در تیمار تخلیه رطوبتی ۶۰ درصد بود. نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که پاسخ دانه تولیدی لوبیاقرمز به میزان مصرف کود

تغییرات راندمان مصرف آب در پاسخ به میزان مصرف کود نیتروژن از یک روند درجه دوم پیروی می‌کند (شکل ۱، ج). افزایش راندمان مصرف آب آبیاری با مصرف مقدار مناسب کود نیتروژن در گیاهان مختلف به اثبات رسیده است (Jalilian et al., 2012; Amiri & Abdzad Gohari, 2015).

(Amiri & Abdzad Gohari 2015) گزارش کردند که در همه سطوح آبیاری مصرف کود نیتروژن مصرفی بیش از ۶۰ کیلوگرم در هکتار تأثیری بر عملکرد یک رقم لوبیاقرمز محلی (ده سری) نداشت و حتی در شرایط تنش آبی شدید مصرف کود نیتروژنی بیشتر موجب کاهش راندمان مصرف آب گردید. به علت برهمکنش شدید بین سطح آب آبیاری و کود نیتروژن مصرفی، در هر گونه گیاهی یک سطح رطوبتی و کودی مشخص منجر به کسب بالاترین راندمان مصرف آب آن گونه خواهد شد (Megyes et al., 2004). در واقع به دلیل این که بهره‌برداری از آب رابطه نزدیکی با رشد و فعالیت ریشه در گیاهان دارد، تغذیه مناسب گیاه اثر مثبتی بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب خواهد داشت (Hopkins & Huner, 2004).

نهایتاً می‌توان بیان نمود که تحت شرایط کمبود آب در خاک که جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن کاهش می‌یابد (Hopkins & Huner, 2004)، برقراری تناسب میان فراهمی رطوبت در خاک و سطح نیتروژن مصرفی ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که آبیاری لوبیاقرمز رقم گلی در سطح تخلیه رطوبتی ۵۰ درصد خاک نسبت به آبیاری در سطح ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی، بدون کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌تواند موجب افزایش راندمان مصرف آب گردد. میزان آب صرفه‌جویی‌شده در طول دوره رشد، در تیمار ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک نسبت به تیمار ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک حدود ۲۷۰ متر مکعب در هر هکتار خواهد بود.

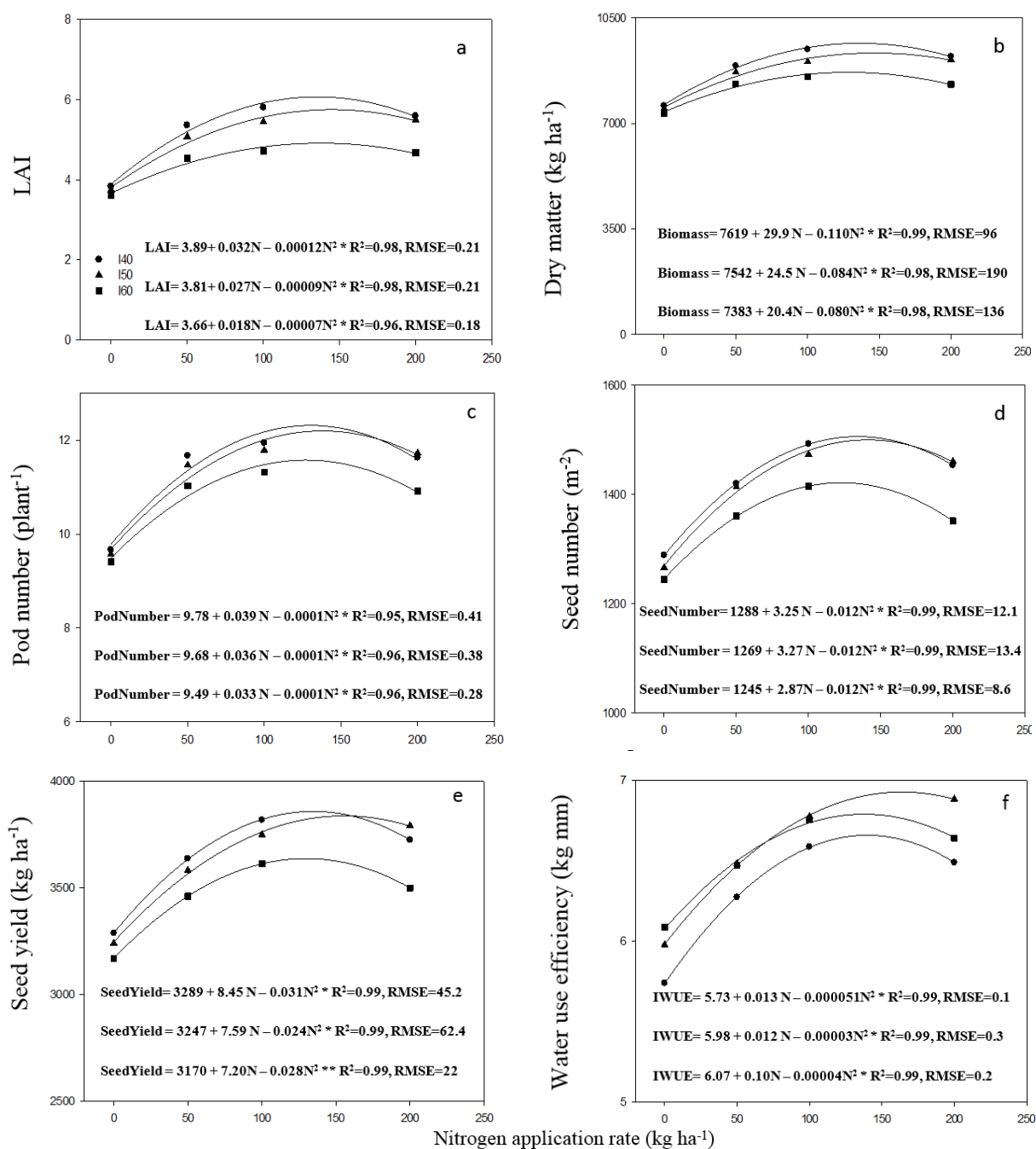
نتایج همچنین نشان داد مصرف ۵۰ درصدی از کل نیاز نیتروژنی گیاه لوبیاقرمز رقم گلی یعنی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در همه سطوح رطوبتی می‌تواند موجب تولید حداکثری عملکرد دانه و راندمان مصرف آب گردد. پس مدیریت کودی و آبی مناسب برای هر رقم و در هر منطقه رشدی، می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف نهاده‌ها و هزینه‌های تولید، گامی به سوی تولید پایدار و مدیریت بحران کم‌آبی در کشور باشد. در نهایت تلفیق روش‌های مدیریتی مختلف و اثرگذار در قالب یک برنامه مدیریتی کلان می‌تواند کاهش چشمگیر مصرف آب در بخش کشاورزی را فراهم آورد.

نیتروژن مصرفی نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در شرایط ۴۰ درصد و ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی را نیز می‌توان به کاهش جذب و تثبیت نیتروژن نسبت داد. پیش‌تر نیز کاهش میزان دسترسی گیاهان به نیتروژن، به‌خاطر کارایی کمتر فرایندهای جذب و تثبیت نیتروژن در سطوح بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب رطوبتی گزارش شده بود (Schubert, 1995; Hopkins & Huner, 2004; Finke et al., 1982; Antolin et al., 1995).

راندمان مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری و مقدار مصرف کود نیتروژن و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان راندمان مصرف آب در لوبیاقرمز معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که سطح آبیاری کمتر باعث افزایش کارایی مصرف آب در لوبیاقرمز شد (جدول ۳)، به‌طوری‌که راندمان مصرف آب در سطح آبیاری با تخلیه رطوبتی ۶۰ و ۵۰ درصد نسبت به سطح تخلیه رطوبتی ۴۰ درصد به ترتیب ۳ و ۴ درصد افزایش یافت (جدول ۴). افزایش راندمان مصرف آب در شرایط کم‌آبیاری در مطالعات متعدد گزارش شده بود (Jalilian et al., 2012; Mansouri-Far et al., 2010). مطالعه‌ای در کشور کاستاریکا نشان داد که کاهش رطوبت قابل دسترسی به میزان ۳۰ درصد باعث افزایش ۶ تا ۲۵ درصدی راندمان مصرف آب در ارقام مختلف لوبیا شد (De Costa & Ariyawansha, 1996). در مطالعه دیگری در کشور ازبکستان وقتی سطح تخلیه رطوبت قابل دسترسی خاک از ۴۵ درصد به ۶۰ درصد افزایش یافت، راندمان مصرف آب در لوبیا ۴ درصد افزایش نشان داد (Webber et al., 2006).

نتایج همچنین نشان داد که راندمان مصرف آب با مصرف کود نیتروژن نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت (جدول ۳). بالاترین مقدار کارایی مصرف آب در همه سطوح آبیاری از سطح مصرف ۱۰۰ یا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هر هکتار به‌دست آمد و اختلاف معنی‌داری نیز بین این دو مقدار مصرف کودی مشاهده نگردید (جدول ۳). در صورتی که نسبت تغییرات عملکرد و مصرف آب در پاسخ به مصرف کود نیتروژنی ثابت باشد، باعث عدم پاسخ راندمان مصرف آب به مصرف کود نیتروژن خواهد شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح مصرف کود نیتروژنی از ۱۰۰ کیلوگرم به ۲۰۰ کیلوگرم، متوسط تغییر سطح برگ که سطح تعرق گیاه را تعیین می‌کند ۱/۳ درصد و متوسط تغییر عملکرد ۱/۴ درصد بود، در نتیجه تغییرات راندمان مصرف آب بین این دو سطح کودی معنی‌دار نبوده است. نتایج تجزیه رگرسیون نیز نشان داد که ۹۹ درصد



شکل ۱- پاسخ شاخص سطح برگ (a)، ماده خشک (b)، تعداد غلاف در بوته (c)، تعداد دانه در مترمربع (d)، عملکرد دانه (e) و راندمان مصرف آب آبیاری (f) در لوبیاقرمز در سطوح مختلف آبیاری به کود نیتروژن مصرفی

Fig. 1. The response of LAI (a), dry matter (b), pod number per plant (c), seed number per m² (d), seed yield (e) and irrigation water use efficiency (f) in dry bean plants at various irrigation level to nitrogen application rates

منابع

1. Agricultural Statistics. 2013. Crop Plants (First volume). Ministry of Jihad-e-Agriculture. pp.118. (In Persian).
2. Amiri, E., and Abdzad Gohari, A. 2015. Effect of irrigation management and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency and estimated yield function of common bean (Case Study: Astaneh Ashrafiyeh). Agricultural Water Managment 22: 1-10. (In Persian with English Summary).
3. Antolin, M.C., Yoller, J., and Sancchez-Diaz, M. 1995. Effects of temporay drought on nitratedef and nitrogen-fixing alfalfa plants. Plant Science 107(3): 156-165.
4. Bayat, A.A., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Dorri, H.R. 2010. Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. Iranian Journal of Field Crop Science 12(1): 42-54. (In Persian with English Summary).
5. Bayati, Kh., Majnoun-Hosseini, N., Moghadam, H., and Basiri, R. 2017. Effects of drought stress and nitrogen on grain yield and some agronomic traits of red kidney bean cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science 48(4): 1069-1081.
6. Bliss, F.A. 1993. Breeding common bean for improved biological nitrogen fixation. Plant Soil 152(1): 71-79.
7. Davis, J.G. 1994. Managing plant nutrients for optimum water use efficiency and water conservation. Advances in Agronomy 53(1): 85-120.
8. Emam, Y., Shekoofa, A.F., and Salehi & Jalali, A.H. 2010. Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 9(5): 495-499.
9. De Costa, W.A.J., and Ariyawansha, B.D.S.K. 1996. Effect of water stress on water use efficiency of different variety of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka 24(4): 253-266.
10. Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Jones, V.A. 2011. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops (Third edition). CRC Press, Boca Raton, FL 33487-2742.
11. Finke, R.L., Harper, J.E., and Hageman, R.H. 1982. Efficiency of nitrogen assimilation by N₂-fixing and nitrate grown soybean plants (*Glycine max*). Plant Physiology 70(5): 1178-1184.
12. Frahm, M.A., Rosas, J.C., Mayek-Perez, N., Lopez-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J.A., and Kelly, J.D. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. Euphytica 1362: 223-232.
13. Graham, P.H. 1981. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaselous vulgaris* L. Rev. Field Crops Research 4(1): 93-112.
14. Hopkins, W.G., and Hüner, N.P.A. 2004. Introduction to Plant Physiology. John Wiley and Sons, Inc. USA. pp. 539-540.
15. Hu, W.H., Yan, X.H., Xiao, Y.A., Zeng, J.J., Qi, H.J., and Ogwen, J.O. 2013. 24-Epibrossinosteriod alleviate drought-induced inhibition of photosynthesis in *Capsicum annum*. Scientia Horticulturae 1502: 232-237.
16. Jalilian, J., Modarres-Sanavya, S.A.M., Saberalia, S.F., and Sadat-Asilan, K. 2012. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. Field Crops Research 127(1): 26-34.
17. Jones, H.G. 1980. Interaction and integration of adaptive responses to water stress: the implications of an unpredictable environment. In: N.C Turner and P.J. Kramer (Eds.). Adaptation on Plant to Water and High Temperutre Stress. p. 353-365, Wiley, New York.
18. Keshavarz M., Karami, E., and Vanclay, F. 2013. The social experience of drought in rural Iran. Land Use Policy 30(1): 120-129.
19. Lynch, J., and White, J.W. 1992. Shoot nitrogen dynamics in tropical common bean. Crop Science 322: 392-397.
20. Madani, K. 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies and Sciences 4(4): 315-328.
21. Maia Souza, G., Aidar, S.T., Giaveno, C.D., and de Oliveira, R.F. 2003. Drought stability in different common bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes. Crop Breeding and Applied Biotechnology 3(3): 203-208.
22. Majnoun-Hosseini, N. 2008. Grain Legume Production. Jihad-Daneshghahi Pub. University of Tehran. p. 283 (In Persian).
23. Makino, A., Sato, T., Nakano, H., and Mae, T. 1997. Leaf photosynthesis, plant growth and nitrogen allocation in rice under different irradiances. Planta 2032: 390-398.

24. Mansouri-Far, C., Modarres Sanavy, S.A.M., and Saberali, S.F. 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management* 97(1): 12-22.
25. Megyes, A., Ratonyi, T., and Huzsvai, L. 2004. Irrigation of maize (*Zea mays* L.) in relation to fertilization in a long-term field experiment. *Acta Agronomica Hungarica* 53(1): 41-46.
26. Nleya, T., Walley, F., and Vandenberg, A. 2001. Response of four common bean cultivars to granular inoculant in a short-season dryland production system. *Canadian Journal of Plant Science* 81(3): 385-390.
27. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99(1): 127-136.
28. Rosales-Serna, R., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J.A., Trejo-López, C., Ortiz-Cereceres, J., and Kelly, J.D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Research* 852: 203-211.
29. Saberali, S.f., Modarres-Sanavy, S.A.M., Bannayanb, M., Baghestani, M.A., Rahimian-Mashhadid, H., and Hoogenboome, G. 2012. Dry bean competitiveness with redroot pigweed as affected by growth habit and nitrogen rate. *Field Crops Research* 135(1): 38-45.
30. Salvagiotti, F., Cassman, K., Specht, J., Walters, D., Weiss, A., and Dobermann, A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. *Field Crops Research* 108(1): 1-13.
31. Santos, M.G., Ribeiro, R.V., Oliverira, R.F., Machado E.C., and Pimetel, C. 2006. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Science* 170(3): 659-664.
32. Schubert, S. 1995. Nitrogen assimilation by legumes processes and ecological limitations. *Fertilizer Research* 42(1): 99-107.
33. Sinclair, T.R. 2004. Improved carbon and nitrogen assimilation for increased yield. In: H.R. Boerma and J.E. Specht (Eds.). *Soybeans: Improvement, Production and Uses*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
34. Sinclair, T.R., and Horie H. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science* 29(1): 90-98.
35. Singh, Y., Rao, S.S., and Regar, P.L. 2010. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. *Agricultural Water Management* 97(6): 965-970.
36. Soltai, A. 2015. *Application of SAS in Statistical Analysis*. Jahad Daneshgahi Publishers (Ferdowsi University of Mashhad).
37. USDA-NRCS. 1997. *National Engineering Handbook, Part 652: Irrigation Guide*. Chapter 3, p. 7. Available at http://www.ks.nrcs.usda.gov/technical/ks_supplements/neh652.html
38. Webber, H.A., Madramootoo, C.A., Bourgault, M., Horst, M.G., Stulina, G., and Smith, D.L. 2006. Water use efficiency of common bean and green gram grown using alternate furrow and deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 86(3): 259-268.
39. Westermann, D., Terán, H., Muñoz-Perea, C., and Singh, S. 2011. Plant and seed nutrient uptake in common bean in seven organic and conventional production systems. *Canadian Journal of Plant Science* 9(5): 1089-1099.

Effect of different level of irrigation regimes and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency in kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Saberali^{1*}, S.F., Yosefi-Fard², M., and Sadat Asilan³, K.

1. Assistant Professor, Department of Horticulture, High Educational Complex of Torbat e Jam, Khorasan Razavi, Iran
2. MSc. Student, Department of Agronomy, Payame Noor, Karaj, Iran; mrjusefifard@gmail.com
3. Associate Professor, Department of Agronomy, Payame Noor University, Tehran, Iran; kamal.asilan@gmail.com

Received: 16 February 2019

Accepted: 25 May 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.79226

Introduction

Drought is the most important stress factor that affects agricultural production in the arid and semiarid areas and reduce crop production. Iran is a country with a warm and dry climate that more than 85% of it located in arid and semi-arid areas. Improving the water use efficiency through agronomic management is one of the most effective and low cost approaches for water management in the agricultural fields. The main objective of this study was to investigate the growth and yield response of kidney bean to deficit irrigation with the aim of increasing water use efficiency. In addition, the other objective of this study was to determine the desired level of nitrogen fertilizer at each level of water stress that make improve water uses efficiency.

Materials and Methods

In order to study the effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of kidney bean, an experiment was conducted as a randomized complete block design with a split plot arrangement of treatment in 2016 in Saveh, Iran. The deficit irrigation treatments as a main plot were irrigation at 40% of soil moisture depletion (non-stress treatment), irrigation at 50% of soil moisture depletion and at 60% of soil moisture depletion. The irrigation at 40% soil moisture depletion was considered as an acceptable moisture discharge rate for achieving maximum yield and other irrigation treatments considered as deficit irrigation. Sub-plot was included nitrogen fertilizer application rate at 0 (control), 25, 50 and 100% of maximum nitrogen requirement of dry bean plant. The middle two rows of 60 cm length were harvested for seed yield and LAI determination. At harvest time, a sub-sample of 10 plants were sampled from each plot to determine the number of pods per plant and seeds per pod. Biomass was obtained by drying plants at 70°C. After drying and threshing, grain yield was determined.

Results and Discussion

The results showed that drought stress under irrigation after 60% soil moisture depletion decreased leaf area index, dry matter, seed number per unit area and finally kidney bean seed yield. However, mild stress treatment (50% soil moisture depletion) had a significant decrease in seed number per unit area and seed yield compared to optimal irrigation treatment. Furthermore, water use efficiency in kidney bean was increased at both levels of deficit irrigation compared to the full irrigation treatment. The results also showed that growth and yield traits and water use efficiency of kidney bean improved with nitrogen fertilizer application compare to no nitrogen application. The results also showed that the response of seed yield to nitrogen fertilizer was dependent on the amount of applied irrigation water in different irrigation regimes. At irrigation regime by 40% soil moisture depletion, seed yield of kidney bean increased by 11, 16 and 13% with nitrogen application rates of 50, 100 and 200 kg ha⁻¹, respectively. While, seed yield was increased by 9, 14 and 10% with nitrogen application rates of 50, 100 and 200 kg ha⁻¹, respectively, when kidney bean plants irrigated at 60% soil moisture depletion. The water use efficiency of kidney bean had no significant differences between 100 and 200 kg N ha⁻¹. However, the N application rate less than 100 N ha⁻¹ caused a

*Corresponding Author: sf.saberali@yahoo.com

significant reduction in water use efficiency of kidney bean plant. The regression analysis also showed that the responses of seed yield and water use efficiency to nitrogen fertilizer application rate at all irrigation levels were quadratic, and this quadratic response explained 99 % of variation in these traits.

Conclusion

The results showed that the irrigation of kidney bean at 50% soil moisture depletion compared to irrigation at 40% soil moisture depletion could increase water use efficiency without any significant reduction in seed yield. The irrigation at 50% soil moisture depletion saved irrigation water about $270 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ compared to the irrigation at 40% soil moisture depletion. We also concluded that the application of 50 % of maximum nitrogen requirement for bean plant could produce maximum seed yield and water use efficiency in all irrigation regimes.

Keywords: Gholi cultivar, Irrigation deficit, Leaf area index, Nutrition

ارزیابی تنوع‌پذیری و شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد لاین‌های امیدبخش نخود تحت شرایط تنش خشکی

سید سعید موسوی^{۱*}، محمدرضا عبداللهی^۲، فاطمه عبدی^۳ و همایون کانونی^۴

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران؛ m.abdollahi@basu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران؛

fatemeh.abdi.ba@gmail.com

۴- دانشیار بخش تحقیقات زراعی باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، سنندج، ایران؛ hkanouni@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

چکیده

اولین گام جهت موفقیت در هر برنامه به نژادی، ارزیابی تنوع ژرم‌پلاس و برآورد پارامترهای ژنتیکی مرتبط با تنوع در صفات مختلف می‌باشد. اهداف اصلی این تحقیق، ارزیابی ۲۰ ژنوتیپ نخود با استفاده از روش‌های مختلف آماری، برآورد برخی از پارامترهای ژنتیکی صفات مهم اگرومورفولوژیکی و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر افزایش عملکرد دانه آن‌ها بود. جهت رسیدن به این اهداف، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط دیم در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان- ایستگاه سنندج در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ انجام شد. هرچند که مقدار زیاد مؤلفه اول و عامل اول، به‌عنوان «مؤلفه یا عامل عملکرد و اجزای عملکرد»، مورد نظر بود، ولی مقدار بینابین مؤلفه دوم و عامل دوم، به‌عنوان «مؤلفه یا عامل رشد رویشی» پیشنهاد شد. بیشترین هم‌راستایی مثبت صفات با مؤلفه و عامل اول، به‌ترتیب مربوط به زیست‌توده، عملکرد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته بود که بر این اساس، صفات زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته، به‌عنوان مهم‌ترین صفات مؤثر بر افزایش عملکرد دانه تحت شرایط دیم شناخته شدند. به‌طور معکوس، افزایش بی‌رویه صفت تعداد شاخه اصلی در بوته، بیشترین ارتباط منفی را با مؤلفه و عامل اول، یعنی با عملکرد دانه، نشان داد و به‌عنوان نامطلوب‌ترین صفت با تأثیر منفی بر عملکرد دانه در شرایط این آزمایش شناسایی شد. پراکنش مطلوب ژنوتیپ‌ها در هر چهار ناحیه بای‌پلات‌ها بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بالا در بین آن‌ها بود. از بین صفات مورد نظر، صفات وزن ۱۰۰ دانه، زیست‌توده و عملکرد دانه بیشترین تنوع ژنتیکی را نشان دادند. نتایج تجزیه خوشه‌ای بیانگر این بود که خوشه دوم، به‌عنوان «خوشه عملکرد دانه»، دارای بیشترین فاصله ژنتیکی با اعضای خوشه سوم بود که انجام تلاقی بین ژنوتیپ‌های این دو خوشه، منجر به بروز تنوع چشمگیری در اولین نسل تفرق خواهد شد. نتایج تجزیه تابع تشخیص، صحت گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای را به طور صددرصد تأیید نمود. طبق نتایج این آزمایش، انتخاب برای مقدار بیشتر صفات زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و مقدار کمتر تعداد شاخه اصلی در بوته، منجر به بهبود عملکرد دانه تحت شرایط دیم خواهد شد. از بین صفات، وزن ۱۰۰ دانه و زیست‌توده دارای بیشترین تنوع ژنتیکی بودند که از این تنوع موجود می‌توان در راستای انتخاب غیرمستقیم جهت بهبود عملکرد دانه در این ژرم‌پلاس و تحت شرایط دیم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه تابع تشخیص، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه عاملی، تنش خشک

مقدمه

لاین‌های امیدبخش و معرفی ارقام جدید سازگاری به شرایط نامطلوب محیطی، به‌ویژه ارقام متحمل به تنش خشکی را فراهم خواهد کرد. در حقیقت، با وجود سازگاری نسبی این گیاه به تنش رطوبتی (Moosavi et al., 2017)، متأسفانه یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده مقدار و پایداری عملکرد در این گیاه غنی از پروتئین، تنش خشکی آخر فصل می‌باشد (Imtiaza, 2010). در واقع از بین عوامل نامطلوب محیطی، تنش خشکی مهم‌ترین محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در سرتاسر جهان

در بین حبوبات، نخود زراعی پس از لوبیا و نخودفرنگی، رتبه سوم اهمیت جهانی را دارد و دارای نقش ویژه‌ای در تغذیه مردم جهان و ایران می‌باشد (Kanouni, 2001). یکی از مزایای قابل توجه برای به‌نژادی این گیاه در ایران، وجود ژرم‌پلاس بومی غنی و متنوع است که این امر امکان ایجاد

*نویسنده مسئول: s.moosavi@basu.ac.ir

های به‌نژادی است (Renganayaki *et al.*, 2001). دلایل زیادی برای نیاز به ارزیابی صحیح تنوع ژنتیکی درون و بین جمعیت‌های گیاهی وجود دارد. از این دلایل می‌توان به گواهی بذر، حمایت یا نگهداری صحیح تنوع ژنتیکی گیاهان (Dwevdi & Gaibriyal, 2009)، تجزیه تغییرپذیری ژنتیکی در ژنوتیپ‌ها، توزیع و نگهداری ژرم‌پلاسِم (Zheleva *et al.*, 2007) و انتخاب صحیح والد‌های برتر برای تلاقی‌ها (Tahir & Karim, 2011) اشاره کرد. جهت نیل به اهداف فوق، تحقیقات مختلفی در حال انجام می‌باشد.

Mohammadali-Pouryamchi *et al.*, (2012) تنوع صفات فنولوژیکی و رابطه بین عملکرد تک‌بوته و سایر صفات را ارزیابی کرده و تنوع معنی‌داری را برای بیشتر صفات گزارش کردند. تحقیقات مختلف نشان دادند که توده‌های نخود کابلی دارای تنوع معنی‌دار برای بیشتر صفات مهم آگرومورفولوژیکی بودند (Kanouni, 2001; Jahansouz *et al.*, 2005; Aghaei *et al.*, 2005; Najibnia *et al.*, 2008; Dwevedi & Gaibriyal, 2009; Chaghamirza *et al.*, 2012). تحقیقی (Hassan *et al.*, 2008) بیشترین مقدار وراثت‌پذیری به‌ترتیب مربوط به صفات تعداد شاخه فرعی، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد روز تا گلدهی بود. همچنین (Moosavi *et al.*, 2017) اظهار داشتند که به‌ترتیب صفات وزن ۱۰۰ دانه، زیست‌توده و عملکرد دانه دارای بیشترین و صفات فنولوژیکی، کمترین وراثت‌پذیری را تحت شرایط دیم داشتند. Ozveran Yucel *et al.*, (2006) در مطالعه گیاه نخود، وراثت‌پذیری صفت تعداد روز تا ۵۰ در صد گلدهی را پایین‌تر و وراثت‌پذیری صفات تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد غلاف در بوته را بالاتر از سایر صفات برآورد کردند. (Noor *et al.*, 2003) اظهار داشتند که صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد شاخه فرعی و وزن ۱۰۰ دانه وراثت‌پذیری بالایی نشان دادند. Arshad *et al.*, (2002) وراثت‌پذیری پایینی را برای صفات تعداد شاخه اصلی و فرعی گزارش کردند. در تحقیقی (Jackson, 1991) از روش تجزیه به عامل‌ها، قبل از تجزیه خوشه‌ای استفاده شد تا اهمیت متغیرهایی که در خوشه‌ها نقش دارند، روشن‌تر شود. در این تحقیق مشخص شد که اصلاح در جهت افزایش یا کاهش عامل‌ها، به وسیله تغییر در اجزاء آن‌ها امکان‌پذیر است. Toker (2003) در تحقیقی تعداد چهار عامل، با ۸۷ درصد واریانس را شناسایی کرد، در حالی‌که در تحقیقی دیگر (Toker & Cagiran, 2004) سه عامل مهم شناسایی شدند. Sabokdast & Khialparast (2008) سه عامل اصلی را در گیاه لوبیا استخراج کردند که ۷۸/۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کردند. (Dargahi, 2006) در تحقیقی نشان داد

می‌باشد (Ashraf & Harris, 2006). در بین کشورهای جهان، کشور ایران با متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال، جزو مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود (FAO, 2010) و این در حالی است که در ایران حدود ۹۸ درصد از سطح زیرکشت نخود به صورت دیم می‌باشد (Anonymous, 2009). بنابراین با توجه به وجود مشکل اساسی تنش خشکی و بر اساس وجود ژرم‌پلاسِم غنی این گیاه در ایران، ایجاد و ارزیابی لاین‌های امیدبخش جهت معرفی ارقام سازگار با عملکرد بالا امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است. در واقع، یکی از مشکلات اساسی کاشت این گیاه، عملکرد پایین آن است، به‌طوری‌که بر اساس گزارش‌های فائو (FAO, 2017)، متوسط عملکرد نخود در جهان و ایران به‌ترتیب حدود ۱۰۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است، در حالی که متوسط تولید نخود در ایران در مقایسه با میانگین کشورهای مهم تولید کننده نخود بسیار پایین‌تر از آمار فوق است. در راستای حل این مشکل، ارزیابی وجود تنوع اولیه در ژرم‌پلاسِم‌های بومی و ارزیابی لاین‌های پیشرفته تحت شرایط مختلف رطوبتی، لازمه شروع و ادامه یک برنامه به‌نژادی موفق در این زمینه و بعبارتی پیش نیاز معرفی ارقام جدید می‌باشد. در واقع، وجود سه عامل وراثت‌پذیری بالا، تنوع بالا و شدت گزینش، لازمه پاسخ به گزینش و در نتیجه عامل اصلی در به‌نژادی هر صفت می‌باشد (Falconer & Mackay, 1996). در این راستا، روش‌های تجزیه‌های چند متغیره، یکی از روش‌های مطلوب جهت ارزیابی ژرم‌پلاسِم‌های گیاهی و برآورد تنوع ژنتیکی در آن‌ها است. از آنجا که روش‌های آماری چندمتغیره به طور همزمان چندین اندازه‌گیری را مدنظر قرار می‌دهند، لذا در تجزیه و تحلیل تنوع ژنتیکی بر پایه داده‌های مورفولوژی، بیوشیمیایی و مولکولی کاربرد وسیعی دارند. از بین روش‌های مختلف تجزیه چندمتغیره، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه عاملی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص از مهم‌ترین این روش‌ها جهت تجزیه و تحلیل روابط ژنتیکی موجود در مواد اصلاحی می‌باشند (Mohammadi & Prasanna, 2003). انجام این‌گونه پژوهش‌ها خاص مقطع زمانی خاصی نمی‌شوند و انجام مکرر آن‌ها در هر منطقه متناسب با شرایط آب و هوایی خاص آن منطقه لازم و ضروری است. در واقع یکی از اهداف مهم به نژادی، گزینش به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها است و به منظور دستیابی به این هدف، جامعه مورد مطالعه باید از نظر صفات مورد بررسی دارای تنوع قابل توجهی باشد (Broughton, 2003) که آگاهی از این تنوع خود نیازمند ارزیابی ژرم‌پلاسِم می‌باشد (Ramirez, 1991). در واقع بهبود محصول از طریق استفاده از تنوع ژنتیکی، کلید موفقیت برنامه

متر و فاصله بین بوته‌ها در روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Moosavi et al., 2017). صفات روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، روز تا رسیدگی فیزیولوژی محتوای نسبی آب (Siddique et al., 1990)، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد شاخه اصلی در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه، با رعایت اثر حاشیه و براساس انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت، اندازه‌گیری شدند. همچنین جهت افزایش صحت اندازه‌گیری‌ها، صفات مهم عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت بر اساس میانگین کل بوته‌های کاشته شده در واحد سطح، پس از در نظر گرفتن اثر حاشیه، محاسبه شدند. جهت بررسی تنوع لاین‌ها براساس صفات مهم اگرومورفولوژیکی و برای نیل به اهداف مورد نظر، از روش‌های آماری مختلف از جمله تجزیه مؤلفه اصلی، تجزیه به عامل‌ها، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. کلیه محاسبات و تجزیه‌های آماری از طریق نرم‌افزارهای SPSS و Minitab انجام پذیرفت. ضریب تنوع ژنوتیپی و ضریب تنوع فنوتیپی به ترتیب با استفاده از روابط زیر به دست آمد. در رابطه ۱ و ۲ اجزای PCV ، GCV ، σ^2_{ph} ، σ^2_g و $\bar{x}$ به ترتیب نشان‌دهنده ضریب تنوع فنوتیپی، ضریب تنوع ژنتیکی، واریانس فنوتیپی، واریانس ژنتیکی و میانگین صفت مورد نظر می‌باشند. واریانس ژنتیکی و واریانس فنوتیپی در روابط ۱ و ۲ طبق روش Hallauer & Miranda, (1998) محاسبه شد.

به منظور تعیین میزان خویشاوندی لاین‌ها و گروه‌بندی آن‌ها بر مبنای صفات مورد بررسی، گروه‌بندی به روش وارد و با تشکیل ماتریس فاصله مربع پیرسون انجام شد.

$$PCV = \frac{\sqrt{\sigma_{ph}^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (1) \quad GCV = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

که هفت مؤلفه اصلی حدود ۶۵/۴۳ درصد از کل واریانس صفات را توجیه کردند. (Ray chadhury 2007) به منظور آشکارسازی روابط ژنتیکی، ارقام نخود فرنگی را به دو خوشه اصلی با دو زیر گروه در هر خوشه دسته‌بندی کردند. (Poryamachi et al., 2011) با انجام تجزیه خوشه‌ای، ۴ ژنوتیپ نخود را در چهار گروه قرار داده و اظهار داشتند که بیشترین تنوع بین ژنوتیپ‌های خوشه اول و سوم وجود دارد. محققان مختلف (Moosavi et al., 2015; Ghorbani, 2009) از روش تجزیه تابع تشخیص، برای آزمون صحت گروه بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در گیاهان مختلف استفاده کرده‌اند.

اهداف این پژوهش عبارت بودند از: ۱- ارزیابی و گروه بندی ژرم‌پلاسما مورد مطالعه، ۲- شناسایی مهم‌ترین صفات مرتبط با افزایش عملکرد دانه و ۳- برآورد برخی از پارامترهای ژنتیکی در صفات مهم اگرومورفولوژیکی تحت شرایط تنش خشکی.

مواد و روش‌ها

این تحقیق شامل ۱۸ لاین امیدبخش و دو رقم نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) بود (جدول ۱) که ژنوتیپ‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به صورت دیم و با استفاده از بارش‌های طبیعی در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان- ایستگاه سنجندج با عرض جغرافیایی ۱۴ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ اجرا گردید (جدول ۲). عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق، دو مرحله دیسک عمود بر هم و سپس تسطیح زمین توسط لولر بود. توزیع کودهای پایه نیتروژن، پتاس و فسفر بر اساس آزمایش خاک و توصیه‌های کودی مربوطه انجام گرفت. هر کرت آزمایشی از سه ردیف پنج‌متری تشکیل شد که فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد استفاده

Table 1. The characters of the used genotypes

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شجره ژنوتیپ	شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	شجره ژنوتیپ
Gen. number	Gen. name	Gen. pedigree	Gen. number	Gen. name	Gen. pedigree
1	ICCV10302	ICCV2 × ICC17109	11	ICCV10314	ICCV92311 × ICC17109
2	ICCV10303	ICCV2 × ICC17109	12	ICCV10315	ICCV92311 × ICC17109
3	ICCV10304	ICCV2 × ICC17109	13	Jam (Control 1)	ICCC37 × ICC12451
4	ICCV10305	ICCV2 × ICC17109	14	ICCV10105	ICCC37 × ICC12451
5	ICCV10307	ICCV92311 × ICC17109	15	ICCV10111	ICCC37 × ICC12451
6	ICCV10308	ICCV92311 × ICC17109	16	ICCV10112	ICCC37 × ICC12451
7	ICCV10309	ICCV92311 × ICC17109	17	ICCV10114	ICCC37 × ICC12451
8	ICCV10310	ICCV92311 × ICC17109	18	ICCV10115	ICCC37 × ICC12451
9	ICCV10311	ICCV92311 × ICC17109	19	ICCV10117	ICCV93954 × ICC11321
10	ICCV10312	ICCV92311 × ICC17109	20	Pirouz (Control 2) (Control2)	ICCV93954 × ICC11321

جدول ۲- اطلاعات متوسط بارندگی و متوسط دما درمحل اجرای آزمایش

Table 2. The information of the average of raining and temperature in the experiment sit

سال	1391	1392	1392	1392	1392	1392	1392
Year	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
ماه	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
Month	March	April	May	June	July	August	September
بارندگی (میلی‌متر) Raining (mm)	15.6	35.3	63.6	0	0	0	0
دما (سانتی‌گراد) Temperature (°C)	9.5	13.2	16.8	24.4	28.5	27.8	21

نتایج و بحث

تجزیه به مؤلفه اصلی

طبق نتایج (جدول ۳)، سه مؤلفه اصلی اول در کل، ۷۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. مؤلفه اول با توجیه ۴۷ درصد از تغییرات کل، در حالی که بیشترین ارتباط مثبت را به ترتیب با صفات زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، و تعداد دانه در بوته داشت، با صفات تعداد شاخه اصلی در بوته و شاخص برداشت دارای ارتباط منفی بود. با توجه به ارتباط مثبت و قوی این مؤلفه با صفات عملکرد و اجزای عملکرد، این مؤلفه به‌عنوان «مؤلفه عملکرد و اجزای عملکرد» نامیده شد که بر این اساس، مقدار بیشتر این مؤلفه مورد نظر بود. در واقع، افزایش مقدار این مؤلفه در یک ژنوتیپ خاص، منجر به افزایش عملکرد دانه در آن ژنوتیپ خواهد شد. نکته قابل توجه در این نتیجه، وجود ارتباط مثبت و قوی این مؤلفه با زیست‌توده است که چون بین افزایش زیست‌توده و شاخص برداشت رابطه معکوس وجود دارد، البته اگر بخش عمده زیست‌توده شامل بخش‌های رویشی و نه زایشی باشد، لذا رابطه این مؤلفه با شاخص برداشت منفی است. در حقیقت از این نتیجه شاید بتوان چنین استنباط کرد که در ژرم‌پلاسِم مورد مطالعه، لاین‌هایی که عملکرد بالایی داشته‌اند، این عملکرد بالا را از طریق زیست‌توده بالا و قدرت بالای انتقال از منبع^۱ به مخزن^۲ بدست آورده‌اند. به عبارتی دیگر با توانایی بالا در تولید زیست‌توده خود و از طرفی دیگر با افزایش سرعت انتقال مجدد از منبع (برگ‌ها و ساقه‌ها و...) به مخزن (دانه‌ها)، بخش عمده‌ای از وزن زیست‌توده خود را به افزایش وزن دانه‌ها اختصاص داده‌اند. مؤلفه دوم با توجیه حدود ۲۰ درصد از تغییرات کل، در حالی که با صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و وزن ۱۰۰ دانه بیشترین رابطه مثبت را نشان داد، با صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژی رابطه منفی و به نسبت قوی

۱. Source

۲. Sink

داشت. در واقع هرچقدر طول دوره رشدی گیاه کوتاه‌تر باشد، منجر به کاهش رشد رویشی خواهد شد. بنابراین با توجه به ماهیت این صفات می‌توان این مؤلفه را «مؤلفه رشد رویشی» نامید. از طرفی دیگر با توجه به محدودیت رطوبت در شرایط دیم و نیاز گیاه برای کاهش نسبی دوره رشدی خود، افزایش بیش از حد مؤلفه مربوط به رشد رویشی در شرایط تنش خشکی مطلوب نیست. این در حالی است که کاهش بیش از حد این صفات هم، از جمله وزن ۱۰۰ دانه، منجر به کاهش عملکرد نهایی خواهد شد. بنابراین بر اساس استدلال‌های فوق‌الذکر، مقادیر بینابین این مؤلفه مطلوب و مورد نظر می‌باشد. در نتیجه، با توجه به مقدار بیشتر مؤلفه اول و مقدار بینابینی مؤلفه دوم، مرز بین ناحیه اول و چهارم نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی، مطلوب و مورد نظر است. بر اساس این استدلال، ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۶، ۱۳ و ۱۹ به عنوان مطلوب‌ترین، و لاین‌های شماره ۱۷، ۷، ۸ و ۴ به عنوان نامطلوب‌ترین لاین‌ها، شناخته شدند. با توجه به نمودار بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی (شکل ۱)، می‌توان چنین استنباط کرد که تنوع ژنتیکی قابل توجهی در بین ژنوتیپ‌های مورد نظر وجود دارد، چراکه ژنوتیپ‌ها در هر چهار ناحیه بای‌پلات پخش شده‌اند و این بیانگر وجود تنوع چشمگیر در بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در حقیقت در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، علاوه بر کاهش حجم داده‌ها، وجود یا عدم وجود تنوع در ژرم‌پلاسِم مورد نظر نیز ارزیابی می‌شود (Malik et al., 2014). به عبارتی دیگر، روش تجزیه به مؤلفه اصلی با دادن اطلاعاتی در مورد گروه‌هایی که در آن‌ها صفات خاص اهمیت بیشتری دارد، به به‌نژادگران اجازه می‌دهد که برنامه‌های به‌نژادی را با آگاهی بیشتر انجام دهند (Salimi et al., 2012). محققان دیگر (Ghafoor, 2003; Ganjali et al., 2009; Hamayoon et al., 2011; Shiv et al., 2012; Malik et al., 2014) از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی جهت ارزیابی تنوع و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده کردند. در دو تحقیق جداگانه به ترتیب بر روی ۳۶ لاین نخود زراعی تیپ کابلی (Kamel & Moradi,)

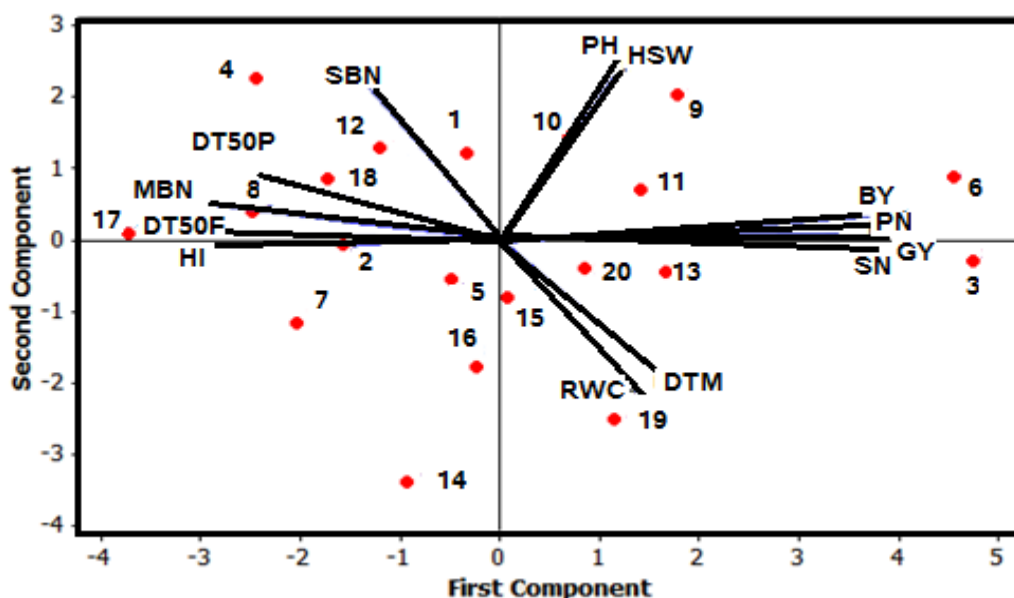
به عنوان مؤلفه اجزای عملکرد شناسایی شد که افزایش صفات مرتبط با این مؤلفه به عنوان نتیجه نهایی جهت بهبود عملکرد دانه پیشنهاد شد.

و ۱۵ ژنوتیپ نخود (Pezeshkpour *et al.*, 2018)، و تعداد چهار مؤلفه به‌دست آمد که به‌ترتیب در آن‌ها، ۷۷/۲ و ۸۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط این مؤلفه‌های اصلی تبیین می‌شد. در هر دو تحقیق، مؤلفه اول با بیشترین واریانس،

جدول ۳- ضرایب تجزیه به مؤلفه اصلی برای ۲۰ ژنوتیپ نخود زراعی تحت شرایط تنش خشکی

Table 3. Coefficients of principal component analysis for 20 chickpea genotypes under drought stress condition

صفات Traits	مؤلفه سوم Third com.	مؤلفه دوم Second com.	مؤلفه اول First com.
Relative water content	0.068	-0.358	0.097
Sub-branch number	-0.427	0.436	-0.113
Main-branch number	-0.229	0.134	-0.339
Seed number per plant	-0.172	0.028	0.398
Pod number per plant	0.001	0.060	0.420
Plant height	0.288	0.556	0.117
100-Seed weight	0.534	0.433	0.095
Harvest index	-0.015	-0.032	-0.295
Biomass	-0.131	0.065	0.426
Grain yield	-0.155	0.051	0.404
Days to physiologic maturity	0.396	-0.377	0.141
Days to 50% podding	0.122	0.112	-0.134
Days to 50% flowering	0.388	0.015	-0.192
Eigen values	1.6477	2.0743	4.8523
Cumulative variance	0.760	0.672	0.470



شکل ۱- نمودار بای پلات دو مؤلفه اصلی اول برای ۲۰ ژنوتیپ نخود تحت شرایط تنش خشکی

Fig. 1. Biplot graph of two-first principal components for 20 chickpea genotypes under drought stress condition

RWC, Relative water content (محتوای آب نسبی); SBN, Sub-branch number (تعداد شاخه فرعی); MBN, Main branch number (تعداد شاخه اصلی); SN, Seed number per plant (در بوته تعداد دانه); PN, Pod number per plant (تعداد غلاف در بوته); PH, Plant height (ارتفاع بوته); HSW, 100-Seed weight (وزن ۱۰۰ دانه); HI, Harvest index (شاخص برداشت); BY, Biomass (زیست‌توده); GY, Grain yield (عملکرد دانه); DTM, Days to physiologic maturity (روز تا رسیدگی فیزیولوژی); DT50P, Days to 50% podding (روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی); DT50F, Days to 50% flowering (روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی).

تجزیه به عامل‌ها

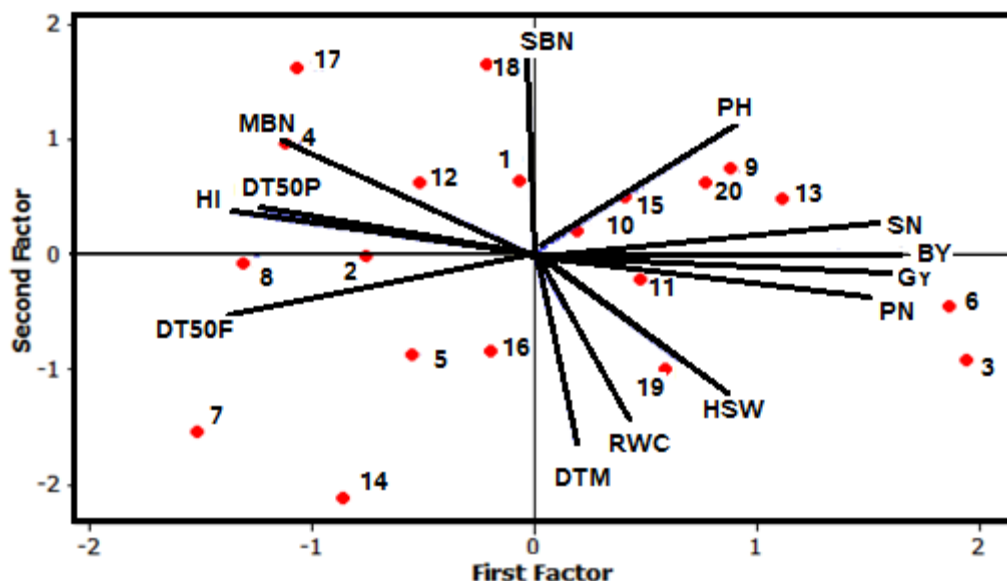
ماتریس ضرایب عاملی پس از چرخش وریماکس، بر مبنای روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد شدند (جدول ۴). سه عامل اصلی اول در مجموع ۷۵/۹ درصد از تغییرات موجود در کل داده‌ها را توجیه کردند. عامل اول به تنهایی حدود ۴۵ درصد از تغییرات کل را توجیه کرد و با صفات زیست‌توده، عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته بیشترین رابطه مثبت و با صفات تعداد شاخه اصلی و شاخص برداشت ارتباط منفی داشت. با توجه به رابطه مثبت و قوی عامل اول با صفات مهم فوق، عامل اول به‌عنوان «عامل عملکرد و اجزای عملکرد» شناخته شد که مقدار زیاد آن مورد نظر است. نکته قابل توجه، وجود بیشترین ارتباط قوی و مثبت بین این عامل و صفات زیست‌توده و عملکرد دانه است که از این نتیجه شاید بتوان استنباط کرد ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه بالایی داشته‌اند، افزایش عملکرد آن‌ها هم از طریق زیست‌توده بالا و هم از طریق توانایی انتقال بخش عمده‌ای از این زیست‌توده به مخازن از طریق داشتن پتانسیل بالا برای تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته می‌باشد. عامل دوم حدود ۱۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات تعداد شاخه فرعی و تعداد شاخه اصلی رابطه قوی و مثبت و با صفت روز تا رسیدگی فیزیولوژیک رابطه قوی و منفی داشت. بنابراین می‌توان این عامل را «عامل بنیه رویشی یا عامل رشد رویشی» نامگذاری کرد که مقدار بینابینی آن تحت شرایط

تنش خشکی مورد نظر است. بنابراین ناحیه مطلوب بای‌پلات تجزیه عاملی نیز، ناحیه بین ناحیه اول چهارم و بر عکس، ناحیه نامطلوب آن ناحیه بین ناحیه دوم و سوم بای‌پلات می‌باشد. بر این اساس مطلوب‌ترین ژنوتیپ، لاین‌های ۳ و ۶ و نامطلوب‌ترین لاین ۷، ۸، ۱۷ و ۴ می‌باشند. نکته قابل توجه در مقایسه نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها و تجزیه به عامل‌ها این است که با وجود نتایج تقریباً یکسان و تأییدکننده حاصل از هر دو روش، ضرایب عاملی، بهتر از ضرایب مؤلفه‌ها عامل‌ها را از یکدیگر جدا کرده است. نتایج بای‌پلات تجزیه عاملی (شکل ۲) نیز تأییدکننده نتایج تجزیه مؤلفه‌ها (شکل ۱) است که هر دو نشان‌دهنده وجود تنوع بالا در ژرم‌پلاسما مورد نظر است. میزان اشتراک، بخشی از واریانس یک متغیر است که به عامل‌های مشترک مربوط می‌شود که هرچه بیشتر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر در برآورد واریانس متغیر مربوطه می‌باشد (Jackson, 1991). همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، میزان اشتراک بیشتر صفات، بالا است که نشان می‌دهد تعداد عامل مورد انتخاب، مناسب بوده است و عامل‌های منتخب توانسته‌اند تغییرات صفات را به نحو مطلوبی توجیه نمایند (Naghavi *et al.*, 2005). با توجه به میزان اشتراک، صفات عملکرد زیست‌توده (۰/۹۱۲) به طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات مقدار عامل اول قرار می‌گیرد.

جدول ۴- ضرایب تجزیه به عامل‌ها برای ۲۰ ژنوتیپ نخود تحت شرایط تنش خشکی

Table 4. Coefficients of factor analysis for 20 chickpea genotypes under drought stress condition

صفات	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم
Traits	First com.	Second com.	Third com.
Relative water content	0.313	-0.478	-0.270
Sub-branch number	-0.016	0.868	0.027
Main branch number	-0.621	0.533	-0.185
Seed number per plant	0.901	-0.066	0.017
Pod number per plant	0.902	-0.193	0.210
Plant height	0.198	0.248	0.862
100-Seed weight	0.040	-0.070	0.946
Harvest index	-0.613	0.158	-0.150
Biomass	0.948	-0.080	0.101
Grain yield	0.912	-0.060	0.057
Days to physiologic maturity	0.094	-0.800	0.015
Days to 50% podding	-0.314	0.091	0.175
Days to 50% flowering	-0.551	-0.197	0.291
Eigen values	4.5341	2.0971	1.9431
Cumulative variance (%)	0.449	0.63	0.759



شکل ۲- نمودار بای پلات دو عامل اصلی اول برای ۲۰ ژنوتیپ نخود تحت شرایط تنش خشکی

Fig. 2. Biplot graph of two-first principal factors for 20 chickpea genotypes under drought stress condition

RWC, Relative water content (محتوای آب نسبی); SBN, Sub-branch number (تعداد شاخه فرعی); MBN, Main branch number (تعداد شاخ اصلی); SN, Seed number per plant (در بوته تعداد دانه); PH, Plant height (ارتفاع بوته); HSW, 100-seed weight (وزن ۱۰۰ دانه); HI, Harvest index (شاخص برداشت); BY, Biomass (زیست‌توده); GY, Grain yield (عملکرد دانه); DTM, Days to physiologic maturity (روز تا رسیدگی فیزیولوژیک); DT50P, Days to 50% podding (روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی); DT50F, Days to 50% flowering (روز تا ۵۰ درصد گلدهی).

خوشه دوم شامل لاین‌های با عملکرد دانه در بوته و اجزای عملکرد بالا بود که بر این اساس، این خوشه به‌عنوان «خوشه عملکرد دانه» شناسایی شد. این در حالی است که خوشه سوم با دربرداشتن لاین‌های با عملکرد پایین و صفات رویشی بالا، به عنوان «خوشه بنیه رویشی» شناخته شد. در واقع با توجه به بیشترین فاصله ژنتیکی بین دو گروه دوم و سوم (شکل ۳ و جدول ۵)، انجام تلاقی بین اعضای این دو خوشه، بیشترین میزان تنوع مصنوعی در اولین نسل تفرق (F_2) را ایجاد خواهد کرد. در تحقیقی (Naderi, 2013) انجام تلاقی بین ژنوتیپ‌های با فواصل ژنتیکی دور، جهت ایجاد بیشترین مقدار تنوع ژنتیکی پیشنهاد شد. در تحقیقی (Rao, 2007) تعداد ۱۹ لاین نخود زراعی و پنج ژنوتیپ از نخود وحشی (*Cicer veticulatum*) با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، در سه گروه مجزا قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های وحشی در یک خوشه مجزا گروه‌بندی شدند. در واقع روش‌های مختلف آماری انجام‌شده به نوعی نتایج یکدیگر را تأیید کردند، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در یک خوشه و ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین هم در یک خوشه مجزا قرار گرفتند. از آنجا که هر چه فاصله ژنتیکی ژنوتیپ‌ها بیشتر باشد، می‌توان به هتروزیس بیشتری دست یافت، می‌توان از لاین‌هایی که در گروه‌های دو و سه مجزا قرار گرفته‌اند و فاصله بیشتری از هم دارند، در برنامه تلاقی استفاده

(Mardi et al, 2003) در تحقیقی بر روی نخود، عامل

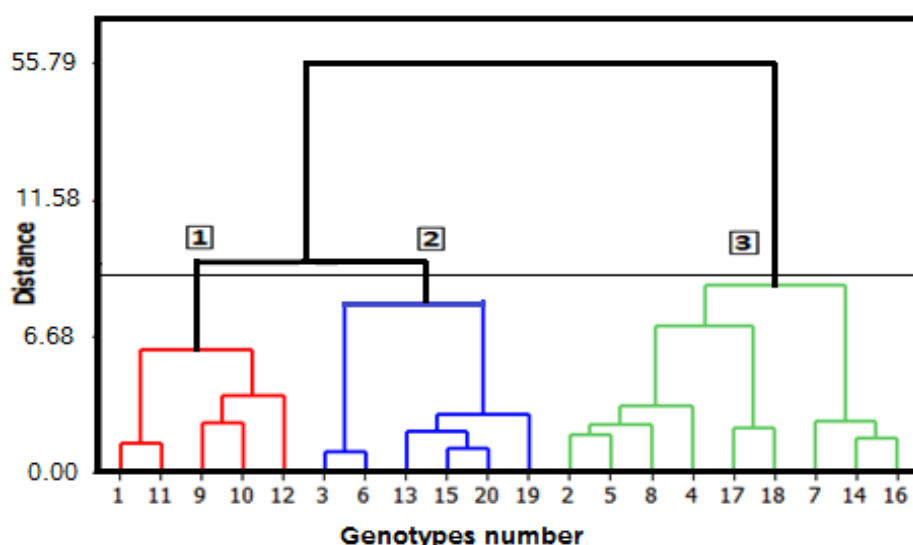
اول را که با صفات تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه رابطه قوی داشت، به‌عنوان «عامل عملکرد و اجزای عملکرد» معرفی کردند. با توجه به این که دو عامل اصلی اول و دوم، بیشترین تغییرات واریانس داده‌ها را توجیه کردند و صفات عملکرد دانه در بوته و اجزای عملکرد در این عامل‌ها قرار داشتند، از این دو عامل جهت به‌دست‌آوردن پراکنش و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دستگاه مختصات استفاده شد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد (شکل ۲) ژنوتیپ‌های ۳ و ۶ به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد و اجزای عملکرد بالا شناسایی شدند.

تجزیه خوشه‌ای

تجزیه خوشه‌ای هم به نوعی بیانگر وجود یا عدم وجود تنوع در بین لاین‌ها و در نتیجه تأییدکننده نتایج تجزیه‌های قبلی می‌باشد، به‌طوری‌که نتایج تجزیه خوشه‌ای (شکل ۳) نشان داد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه گروه مجزا دسته‌بندی شدند که پنج ژنوتیپ (۱، ۱۱، ۹، ۱۰، ۱۲) در خوشه اول، نه ژنوتیپ (۲، ۵، ۸، ۴، ۱۷، ۱۸، ۷، ۱۴، ۱۶) در خوشه دوم و شش ژنوتیپ (۳، ۶، ۱۳، ۱۵، ۲۰، ۱۹) در خوشه سوم قرار گرفتند. گروه‌بندی‌ها به‌طور کامل متمایزکننده بود، به‌طوری‌که

در خوشه اول از نظر میانگین صفات مختلف بیشترین مقدار را نشان دادند و ژنوتیپ‌های موجود در خوشه چهارم در اکثر صفات کمترین میزان میانگین را نشان دادند، بنابراین تلاقی ژنوتیپ‌های این دو خوشه امکان تولید هیبریدهای زودرس با میانگین عملکرد بالا را نشان می‌دهد (Shafiee Khorshidi *et al.*, 2012).

نمود. در مطالعه ۱۵ ژنوتیپ نخود زراعی با استفاده از تجزیه خوشه، لاین‌های مورد بررسی در سه گروه قرار گرفتند و با توجه به فاصله گروه‌های دو و سه، ژنوتیپ‌های این دو گروه می‌توانند به عنوان والدین تلاقی برای دستیابی به هتروزیس بیشتر انتخاب شوند (Pezeshkpour *et al.*, 2018). در تجزیه خوشه ژنوتیپ‌های مختلف لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.)، چهار خوشه به‌دست آمد که ژنوتیپ‌های موجود



شکل ۳- خوشه‌بندی ۲۰ ژنوتیپ نخود بر اساس ۱۳ صفت مختلف تحت شرایط تنش خشکی

Fig. 3. Clustering 20 chickpea genotypes according to 13 different traits under drought stress condition

جدول ۵- ماتریس فاصله بین خوشه‌های ۲۰ ژنوتیپ نخود بر اساس ۱۳ صفت مختلف تحت شرایط تنش خشکی

Table 5. Distance matrix among clusters of 20 chickpea genotypes under drought stress condition

	خوشه اول Cluster 1	خوشه دوم Cluster 2	خوشه سوم Cluster 3
خوشه اول Cluster 1	0	746	825
خوشه دوم Cluster 2		0	1035

تجزیه تابع تشخیص

جهت اطمینان از صحت گروه‌بندی‌های انجام‌شده توسط تجزیه خوشه‌ای، عمل تجزیه تابع تشخیص انجام شد (جدول ۶) که نتایج حاصله نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌ها به‌طور صددرصد صحیح گروه‌بندی شده‌اند. برای مثال نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که شش ژنوتیپی که دارای عملکرد بالایی بودند، با اطمینان صددرصد به درستی در خوشه دوم قرار گرفتند. محققان مختلف (Safari *et al.*, Moosavi *et al.*, 2015; Ghorbani, 2009; 2008) از روش تجزیه تابع تشخیص، برای آزمون صحت گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای در گیاهان مختلف استفاده کرده‌اند.

ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی

نتایج نشان داد که علاوه بر عملکرد دانه، صفات مهم وزن ۱۰۰ دانه، زیست‌توده، تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته دارای بیشترین ضریب تغییرات ژنتیکی بودند (جدول ۷). بنابراین انتخاب غیرمستقیم برای صفات زیست‌توده، تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته، در بین لاین‌های مورد مطالعه ممکن است که منجر به افزایش غیرمستقیم عملکرد دانه در شرایط دیم شود.

جدول ۶- نتایج تجزیه تابع تشخیص برای ۲۰ ژنوتیپ نخود تحت شرایط تنش خشکی

Table 6. Results of discriminant function analysis for 20 chickpea genotypes under drought stress condition

شماره خوشه Cluster No.	اعضای پیش‌بینی شده برای هر خوشه Predicted number for any cluster Predicted group membership	کل Total		
		1	2	3
1	تعداد	5	0	0
2	Count	0	6	0
3		0	0	9
1	درصد	100	0	0
2	Percent	0	100	0
3		0	0	100

این صفات است (Singh *et al.*, 2014). نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۷) نشان می‌دهد که در برخی صفات بین ضریب تغییرات فنوتیپی و ضریب تغییرات ژنوتیپی تفاوت ناچیزی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ناچیز بودن اثرات محیطی بر بیان صفات است، ولی چنانچه مقدار ضرایب فنوتیپی خیلی بیشتر از ضریب تغییرات ژنوتیپی باشد، دلالت بر بالابودن میزان اثرات محیطی است (Singh *et al.*, 2014). در تحقیقی بر روی نخود (Moosavi *et al.*, 2017) اظهار شد که بالاترین میزان وراثت‌پذیری، به‌ترتیب مربوط به صفات وزن ۱۰۰ دانه و زیست‌توده و کمترین وراثت‌پذیری مربوط به صفات روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز تا گلدهی و تعداد غلاف در بوته بود.

در حقیقت طبق نتایج این تحقیق، استفاده از این صفات در برنامه‌های به‌نژادی این لاین‌های امیدبخش در آینده قابل توصیه می‌باشد. در تحقیقی (Moucheshi, 2010) اظهار شد که بیشترین وراثت‌پذیری مربوط به صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه بود. در مطالعه تنوع ژنتیکی ۲۵ ژنوتیپ نخود زراعی (Dwevedi & Gaibriyal, 2009) ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنوتیپی بالایی به‌ترتیب جهت صفات تعداد غلاف در بوته و شاخص برداشت مشاهده گردید که استفاده از این دو صفت برای بهبود عملکرد دانه پیشنهاد گردید. همچنین بالابودن ضریب تغییرات ژنوتیپی و فنوتیپی برای صفات نشان‌دهنده دامنه گسترده تغییرات برای

جدول ۷- برآورد ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی برای صفات مختلف در ۲۰ ژنوتیپ نخود تحت شرایط تنش خشکی

Table 7. Estimation of GCV and PCV for different traits in 20 genotypes of chickpea under drought stress condition

Traits	صفات	ضریب تنوع ژنوتیپی (درصد) (GCV%)	ضریب تنوع فنوتیپی (درصد) (PCV%)
Relative water content	محتوای آب نسبی	15.83	19.65
Sub-branch number	تعداد شاخه فرعی	22.77	28.46
Main branche number	تعداد شاخه اصلی	21.80	27.87
Seed number per plant	تعداد دانه در بوته	22.24	27.92
Pod number per plant	تعداد غلاف در بوته	22.01	29.55
Plant height	ارتفاع بوته	18.50	22.75
100-Seed weight	وزن ۱۰۰ دانه	49.76	50.02
Harvest index	شاخص برداشت	7.71	10.69
Biomass	زیست‌توده	34.41	37.91
Grain yield	عملکرد دانه	28.99	32
Days to physiologic maturity	روز تا رسیدگی فیزیولوژیک	2.66	3.87
Days to 50% podding	روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی	2.67	3.29
Days to 50% flowering	روز تا ۵۰ درصد گلدهی	4.13	5.61

کردند. به‌طور مثال نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی تطابق خوبی با نتایج تجزیه عاملی و تجزیه خوشه‌ای داشت. از طرف دیگر، نتایج تجزیه تابع تشخیص، گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای را به‌طور صددرصد تأیید کرد. طبق نتایج حاصله، انتخاب برای مقدار

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های مختلف آماری، تنوع قابل توجهی را در این ژرم‌پلاسما نشان دادند و از طرفی دیگر، این روش‌ها نتایج یکدیگر را به‌طور قابل توجهی تأیید

دیگر، با توجه به وجود تنوع بالا برای صفت زیست‌توده و با توجه به بیشترین همراستایی آن با عملکرد دانه، انتخاب برای افزایش زیست‌توده، به‌طور غیرمستقیم منجر به بهبود عملکرد دانه در برنامه‌های آتی این ژرم‌پلاس خواهد شد. همچنین با توجه به بیشترین فاصله ژنتیکی بین اعضای دو خوشه دوم و سوم، ژنوتیپ‌های این دو گروه می‌توانند به عنوان والدین تلاقی برای دستیابی به بیشترین تنوع ژنتیکی و هتروزیس احتمالی پیشنهاد شوند.

بیشتر صفات زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته و مقدار کمتر تعداد شاخه اصلی در بوته، جهت بهبود عملکرد دانه تحت شرایط دیم و در شرایط مشابه با این آزمایش پیشنهاد می‌گردد، به‌طوری‌که دو صفت تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته به‌عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه تحت شرایط این آزمایش معرفی شدند و مشخص شد که مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌های این آزمایش بیشتر از طریق تعداد دانه در بوته و نه وزن ۱۰۰ دانه عملکرد خود را افزایش داده‌اند. از طرفی

منابع

1. Abhari, A., Azizi, E., and Hares Abadi, B. 2017. Effect of superabsorbent on yield and yield components of chickpea in drought stress conditions of the end of the season. Iranian Journal of Crop Production 3: 21-32. (In Persian).
2. Aghaei, M., Kohpaiegani, A., Vaezi, Sh., and Jahangiri, A. 2005. Potential of genetic diversity in Iranian Chickpea Collection. Articles of the First National Congress Pulses, Institute for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).
3. Akbari, L., Khodambashi-Emami, M., and Hoshmand, S. 2014. Genetic parameters of seed yield, yield components and plant height in lentil. Iranian Journal of Seed and Plant Improvement 3: 10-30. (In Persian).
4. Anonymous. 2009. Ministry of Jihad Agriculture. Agriculture Statistical Yearbook of Iran. Volume 1. (In Persian).
5. Ashraf, M., and Hariss, P.J.C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. Journal of Photosynthetic 51(2): 163-190.
6. Broughton, W.J.G., Hernández, M, Blair, S., Beebe, P.G., and Vanderleyden J. 2003. Beans model food legume. Plant Soil 252: 55-128.
7. Chegami, Sh., Chegami, K., and Mohammadi, R. 2012. Study of genetic variation in cultivars and landraces of chickpea based on agronomic traits in dry land conditions. Iranian Journal of Agriculture Science 1(1): 108-119. (In Persian).
8. Dwevdi, K.K., and Gaibriyal, M. 2009. Assessment of genetic diversity of cultivated chickpea (*Cicer arietinum* L.). Asian Journal of Agriculture Science 1(1): 7-18.
9. Falconer, D.S., and Mackay, F.C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Publisher, Longman New York, Fourth edition. 464 pp.
10. FAO. 2010. FAOSTAT. Available in <http://faostat.fao.org/> (28 May 2010).
11. FAO. 2017. Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy (<http://www.apps.fao.org>).
12. Ganjali A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2009. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance. Iran Agronomic Researches Journal 7(1): 183-194.
13. Ghafoor, A., Gulbaaz, F.N., Afzal, M., Ashraf M., and Arshad, M. 2003. Inter-relationship between SDS-PAGE markers and agronomic traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 35: 613-624.
14. Ghorbani, H., Samizadeh Lahiji, H.A., Rabiei, B., and Allahgholipour, M. 2009. Grouping different rice genotypes using factor and cluster analyses. Sustain Agriculture 21(3): 89-105.
15. Hallauer, A.R., and Miranda, J.B. 1998. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press, Ames Iowa.
16. Hamayoon, R., Khan, H., Shah, S., Naz, L., Munir, I., Arif, M., Khalil I.A., and Khan, A.Z. 2011. Performance of chickpea genotypes under two different environmental conditions. African Journal of Biotechnology 10: 1534-1544.
17. Hassan, A.S., Okuofu, C.A., and Balogun, J.K. 2008. The use of biological index of pollution (BIP) in assessing quality of rural water sources in Zaria, Nigeria. Science World Journal 3(2): 101-105.
18. Imtiaz, M. 2010. A quantitative genetic approach to drought tolerance in chickpea. ASA, CAAS. And SSSA International Annual Meetings Long Beach, California, 31 Oct.-4 Nov.
19. Jackson, J.E. 1991. A user's Guide to Principle Components. Wiley Inter-Science. New York, U.S.A. 569 pp

20. Jahansouz, M., Naghavi, M., and Dolati, M. 2005. A study of relationships between different traits in white and black chickpea. *Iranian Journal of Agriculture Science* 35(3): 573-579. (In Persian).
21. Kamel, M., and Moradi, P. 2008. Determination of traits effective on seed yield of 36 lines of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in northwest provinces of Iran in dry land conditions. *Seed and Plant Journal* 24(2): 347-257.
22. Kanouni, H. 2001. The yielding ability and adaptability of chickpea cultivars under rain-fed conditions of Kurdistan. *Seed and Plant Journal* 17(1): 1-11.
23. Mahmoodi, F., and Keshavarz, K. 2010. A new chickpea cultivar for dryland moderate and semi warm climate of Iran. *Seed and Plant Improvement* 26(2): 293-296. (In Persian with English Summary).
24. Majnoon-Hosieni, N. 1993. Legumes in Iran. Tehran University Publisher. P 240. (In Persian).
25. Malik, S.R., Shabbir, G., Zubir, M., Iqbal, S.M., and Ali, A. 2014. Genetic diversity analysis of morphogenetic traits in Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Agriculture and Biology* 16: 956-960.
26. Mardi, M., Taleei, A., and Omid, M. 2003. A study of genetic diversity and identification of yield components in Desi chickpea. *Iranian Journal of Agricultural Science* 34(2): 345-351. (In Persian).
27. Mohammadali-Pouryamchi, H., Bihamta, M.R., Peighambari, S.A., and Naghavi, M.R. 2012. Effect of terminal drought stress on grain yield and yield components in Kabuli chickpea genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 14(3): 202-217. (In Persian).
28. Mohammadi, S.A., and Prasanna, B.M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plant-salient statistical tools and consideration. *Crop Science* 43: 1235-1248.
29. Moosavi, S.S., Abdollahi, M.R., Kian-Ersi, F., and Ahmadi Dehrashid, D. 2017. Assessing genetic diversity and heritability of effective traits on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rain-fed condition. *Iranian Journal of Pulses Research* 8(1): 192-208. (In Persian with English Summary).
30. Moosavi, S.S., Kian-Ersi, F., Afuni, D., and Abdollahi, M.R. 2016. Assessing grain yield of bread wheat promising lines and identifying agro-morphological traits related to yield under terminal moisture stress. *Journal of Crop Production and Processing Winter* 5(18): 91-104. (In Persian).
31. Moucheshi, A., Heidari, B., and Dadkhodaie, A. 2010. Genetic variation and agronomic evaluation of chickpea cultivars for grain yield and its components under irrigated and rain fed growing conditions. *Iran Agricultural Research* 29: 10-21. (In Persian).
32. Nabovati, S., AghaeiSarbarze, M., Chokan, R., Ghanavati, F., and Najafian, Gh. 2010. Genetic variation in agronomic characteristics and grain quality traits of durum wheat genotypes. *Seed and Plant Journal* 26(3): 205-218.
33. Naderi, H., Shokrpour, M., Asghari, A., Kanouni, H., and Esfandiari, E. 2013. Evaluation of cold tolerance in winter sowing of chickpea (*Cicer arietinum* L.) using morphological and phenological traits in Kurdistan region. *Iranian Journal of Pulses Research* 4(1): 69-80. (In Persian).
34. Naghavi, M.R., and Jahansouz, M.R. 2005. Variation in the agronomic and morphological traits of Iranian chickpea accessions. *Journal of Integrative Plant Biology* 47(3): 375-379.
35. Najibnia, S., Nezami, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2008. Study of phenological and morphological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cold tolerant genotypes in fall planting. *Iran Agronomic Research Journal* 6(1): 183-192.
36. Naz, N., Hamed, M., Ashraf, M., Arshad, M., and Sajid Aqeel Ahmad, M. 2010. Impact of salinity on species association and phytosociology of halophytic plant community in the Cholistan desert. *Pakistan Journal of Botany* 42(4): 2359-2367.
37. Ozveren Yucel, D., Anlarsal, A.E., and Yücel, C. 2006. Genetic variability, correlation and path analysis of yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Turkish Journal of Agricultural and Forestry* 30: 183-188.
38. Pezeshkpour, P., and Afkar, S. 2018. The study of genetic diversity, heritability and genetic advance of morphological traits, yield and yield components in different chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes. *Journal of Crop Breeding* 9(24): 61-68.
39. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
40. Rao, L.S., Ran, U.P., Deshmukh, P.S., Kumar, P.A., and Panguluri, S.K. 2007. RAPD and ISSR fingerprinting in cultivated chickpea (*Cicer arietinum* L.) and its wild progenitor *Cicer reticulatum*. *Genetic Resource Crop Evolution* 54: 1235-1244.
41. Renganayaki, K., Read, J.C., and Fritz, A.K. 2001. Genetic diversity among Texas bluegrass (*Poa arachnifera* Torr.) revealed by AFLP and RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics* 2: 1037-1045.

42. Salimi, S., Lahiji, H.S., Abadi, G.M., Salimi, S., and Moradi, S. 2012. Genetic diversity in soybean genotypes under drought stress condition using factor analysis and cluster analysis. *World Applied Science Journal* 16: 474-478.
43. Shafiee Khorshidi, M., Bihamta, M.R., Khialparast, F., and Naghavi, M.R. 2012. Assessment of genetic variation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under drought condition using cluster and canonical discriminant analysis (CDA). *Journal of Crop Breeding* 4: 1-17. (In Persian).
44. Shiv, S., Iquebal, M.A., Singh, N.P., Solanki, R., and Sarika, K. 2012. Genetic diversity studies in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm. *Journal of Food Legumes* 25: 31-36.
45. Siddique, M.R.B., Hamid, A., and Islam, M.S. 1999. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Science* 40: 141-145.
46. Singh, R.K., and Chaudhary, B.D. 1979. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. p: 303. Kelyani Publisher, New Delhi, India.
47. Singh, T.P., Raiger, H.L., Kumari, J., Singh, K., and Deshmukh, P.S. 2014. Evaluation of Chickpea genotypes for variability in seed protein content and yield components under restricted soil moisture condition. *Indian Journal of Plant Physiology* 19: 273-280.
48. Tahir, N.A.R., and Karim, H.F.H. 2011. Determination of genetic relationship among some varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Sulaimani by RAPD and ISSR markers. *Jordan Journal of Biological Sciences* 4: 77-86.
49. Toker, C., and Cagirgan, M.I. 2004. The use of phenotypic correlations and factor analysis in determining characters for grain yield selection in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Hereditas* 140: 226-228.
50. Zheleva, D., Todorovska, E., Chirstov, N., Ivanov, P., Ivanov, I., and Todorov, I. 2007. Assessing the genetic variation in Bulgarian bred wheat varieties by biochemical and molecular methods. *Biotechnology and Biotechnology Equipment* 12: 311-321.

Assessing variability and detecting the effective traits on yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) promising lines under drought stress condition

Moosavi^{1*}, S.S., Abdollahi², M.R., Abdi³, F. & Kanouni⁴, H.

1. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran; m.abdollahi@basu.ac.ir
3. PhD. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran; fatemeh.abdi.ba@gmail.com
4. Associate Professor, Kordestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran; hkanouni@gmail.com

Received: 24 April 2018

Accepted: 20 May 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.70383

Introduction

Chickpea is one of the most important pulses in the world and it plays a key role in feeding of people in Iran. Iran is one of the original centers of chickpea. This plant has a significant genetic diversity and has favorable conditions for breeding and introducing new cultivars in Iran. According to FAO reports (2014), the average grain yield of chickpea in Iran with a cultivated area of 565 thousand hectares and an average yield of 557 kg per hectare is very low compared to the average of the major countries producing chickpeas. In order to solve this problem, identification of the initial variety of lines and cultivars to start the program is of particular importance. In fact, three factors of heredity, high diversity and severity of selection are effective factors in increasing the response to selection. In this regard, there are various methods for estimating genetic variation in plant species, one of the most important of these methods is multivariate analysis. It is necessary to use these methods for the classification of germplasm and the analysis of the genetic relationships existing between the modifying materials. Among the various methods of multivariate analysis, the principal component analysis, factor analysis, cluster analysis and decomposition function analysis are among the most important of these methods. In fact, one of the important goals of an outbreak is to select the best genotypes. In order to achieve this goal, the studied population should have a significant variation in terms of the characteristics studied, which knowledge of this diversity requires evaluation of the germplasm.

Materials and Methods

This study included 20 chickpea (*Cicer arietinum* L.) promising lines were planted in a randomized complete block design with three replications in 2013 growing season. To evaluate the diversity of lines based on important agro-morphological traits and to achieve the desired goals, various statistical methods including principal component analysis, factor analysis, cluster analysis and decomposition function analysis were used. Genotypic coefficient of variance (GCV) and phenotype coefficient of variance (PCV) using genotype variance and phenotype variance, respectively, were calculated. All calculations and statistical analyzes such as component analysis, cluster analysis, and decomposition function analysis were performed using SPSS and Minitab software.

*Corresponding Author: s.moosavi@basu.ac.ir

Results and Discussion

The lowest and the highest coefficient of genotypic changes were related to day physiology (2.66%) and 100-seed weight (49.76%). The results showed that the three main first components explained 76% of the total variance of the traits totally. The first and second components were named as "component of grain yield increase" and "vegetative growth component". The results of factor analysis were consistent with the results of the principal component analysis. In order to cluster the studied lines and for their grouping based on the studied traits, Ward method and Pearson's square distance matrix were used. According to the cluster analysis, the genotypes were located in three distinct groups, so that the second and third clusters had the highest genetic distance and they were recognized as "yield clusters" and "vegetative growth cluster", respectively. Therefore, crossing between the two above mentioned-groups, will result to high artificial diversity in the future generations. According to the cluster analysis, the lines were divided into three separate clusters. Discriminant function analysis confirmed the cluster grouping completely. In a study, nineteen chickpea lines and five genotypes of wild chickpea (*Cicer veticulatum*) were classified into three distinct groups using cluster analysis, so that wild-type genotypes in one group and two lines of cropping lines were grouped separately from other lines. Ganjali *et al*, (2009), applied the multivariate bi-plot analysis to evaluate the variation in chickpea germplasm for drought resistance.

Conclusion

There was a remarkable genetic diversity for the current germplasm, therefore existence a high level of genetic diversity and a remarkable GVC for the trait of 100-seed weight indicating that this trait can be used as a suitable character for yield improvement in the germplasm and under this experiment conditions. Finally, selection for high levels of biomass, pod number per plant and seed number per plant, and a low amount of main branches number, will increase the grain yield in the future breeding program.

Keywords: Cluster analysis, Discriminant function, Drought stress, Factor analysis, Principal component analysis

اثر کشت مخلوط تأخیری نخود با جو، روی صفات بیوشیمیایی و عملکرد در شرایط تنش خشکی انتهای فصل

نگین محاویه اسعدی^۱، احسان بیژن‌زاده^{۲*}، علی بهپوری^۳ و وحید براتی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز؛ negin.asadi2020@gmail.com

۲- دانشیار بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۳- استادیار بخش آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز؛

(vahid.barati.s@gmail.com و ali.behpoori@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۲

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی انتهای فصل و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری نخود با جو بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله شیرید شدن دانه جو) به عنوان فاکتور اصلی و ترکیب‌های کشت مخلوط تأخیری شامل کشت‌های خالص رقم جو شش ردیفه زهک، کشت‌های خالص نخود رقم داراب و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط شامل جو آذر+نخود آذر، جو آذر+نخود دی، جودی+نخود آذر و جو دی+نخود دی با نسبت ۱ به ۱ به عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی انتهای فصل بر همه صفات به جز تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰۰ دانه، پروتئین دانه نخود و عملکرد دانه جو اثر معنی‌داری داشت. در گیاه نخود، تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل *a* در همه تیمارها گردید و کمترین میزان کاهش محتوای کلروفیل *a* در کشت مخلوط جو دی+نخود دی ماه به میزان ۲۲/۳ درصد به دست آمد. همچنین تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل *b* در همه تیمارها به جز تک‌کشتی نخود دی‌ماه شد در صورتی که تنش خشکی باعث افزایش میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردید که بیشترین میزان افزایش آن‌ها به ترتیب با ۷۴/۰۴ و ۸۱/۳۶ درصد در کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه و جو آذر+نخود آذر ماه به دست آمد. تنش خشکی به ترتیب باعث افزایش ۵۸ و ۲۵ درصدی LER نخود و کل نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد. در شرایط تنش خشکی بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه به دست آمد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً در شرایط تنش خشکی انتهای فصل استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط تأخیری جو آذر با نخود دی‌ماه راهکاری مناسب برای تولید پایدارتر این گیاهان نسبت به تک‌کشتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، جو شش ردیفه، قطع آبیاری، کلروفیل *a*

مقدمه

ترکیه با ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد را دارد. ایران با میانگین عملکرد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کمترین تولید در واحد سطح را دارد که کاهش نزولات جوی به ویژه برخورد گیاه با گرما و تنش خشکی انتهای فصل، عامل کاهش عملکرد محصول بهاره می‌باشد. (Sabbaghpour et al., 2010,) (FAO, 2017). در استان فارس سطح زیر کشت نخود حدود ۲۴۰۰ هکتار با تولید ۲۴۸۰ تن می‌باشد (Niksirat et al., 2018). تنش خشکی همانند سایر گیاهان زراعی با تغییر در خصوصیات فیزیولوژیک رشد سبب کاهش عملکرد نخود می‌شود. تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌های نخود از نظر صفاتی که تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند و همچنین میزان کاهش عملکرد وجود دارد (Safari et al., 2011). مقاومت

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی خانواده بقولات است که از نظر اهمیت تولید مواد غذایی در بین حبوبات جایگاه سوم را با تولید حدود ۱۴ میلیون تن در سطح زیر کشتی معادل ۱۴/۵ میلیون هکتار به خود اختصاص داده است (FAO, 2017). سطح زیر کشت نخود در ایران حدود ۶۶۷۷۶۰ هکتار است که ۹۰ درصد آن در شرایط دیم کشت می‌شود. ایران از نظر سطح زیر کشت این گیاه چهارمین رتبه جهان پس از هندوستان، پاکستان و ترکیه را دارد. میانگین عملکرد جهانی نخود ۸۲۰ کیلوگرم در هکتار است و

* نویسنده مسئول: bijanzd@shirazu.ac.ir

اواخر زمستان بود. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که اعمال تاریخ‌های کاشت زود هنگام یا دیر هنگام رژیم‌های دمایی نامطلوب در طول دوره رشد، سبب کاهش محصول و اجزای عملکرد می‌شود و بالاترین عملکرد دانه از تاریخ کاشت مناسب به‌دست می‌آید (Bashir, 2010). تاریخ کاشت تأخیری بر روی مراحل نمو و انتقال مواد از مبدأ به مقصد به‌طور چشمگیری اثر می‌گذارد و باعث کوتاه‌شدن ارتفاع بوته، کاهش فاصله بین گره‌ها و کوتاه‌شدن دوره پرشدن دانه و سرانجام کاهش عملکرد دانه می‌شود (Alisian et al., 2005). با توجه به آب و هوای گرم و خشک منطقه داراب و روبه‌روشدن دوره رشد گیاهان این منطقه با گرمای آخر فصل و تنش خشکی، هدف از انجام این پژوهش دستیابی به مناسب‌ترین سیستم‌های کشت مخلوط و تاریخ کاشت مناسب نخود با جو در راستای تولید پایدار این گیاهان در شرایط کمبود آب در اواخر فصل رشد و تغییرات بیوشیمیایی از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیمی گیاه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز با موقعیت عرض جغرافیایی ۲۸ درجه ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برخی خصوصیات آب و هوایی منطقه در جدول ۱ آورده شده است. فاکتورهای مورد مطالعه شامل رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری مطلوب (N) و قطع آبیاری (S) در ابتدای شیریشدن دانه جو (ZGS۷۱) (Zadoks et al., 1974) به عنوان فاکتور اصلی و تیمارهای مختلف کشت شامل کشت‌های خالص رقم جو (*Hordeum vulgare* L.) شش ردیفه به‌نام زهک (b) و خالص نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم داراب (c) به عنوان فاکتور فرعی بود که در تاریخ کاشت‌های آذرماه و دی‌ماه به صورت تأخیری شامل جو آذر ماه (b₁)، جو دی‌ماه (b₂)، نخود آذرماه (c₁)، نخود دی‌ماه (c₂) و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط ردیفی شامل جو آذر+نخود آذر (b₁c₁)، جو آذر+نخود دی (b₁c₂)، جو دی+نخود آذر (b₂c₁) و جو دی+نخود دی (b₂c₂) با نسبت ۱ به ۱ بودند. جو رقم زهک جزو ارقام شش ردیفه جو می‌باشد که نیمه‌زودرس بوده، دارای ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر و با میانگین وزن ۱۰۰۰ دانه ۳۵ گرم، مقاوم به ریزش دانه است. همچنین نخود رقم داراب متوسط‌طرس، با ارتفاع بوته

گیاهان به تنش خشکی به علت پیچیده‌بودن اثرات متقابل بین فاکتورهای تنش و نیز تنوع پدیده‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مؤثر بر رشد و نمو گیاه بسیار پیچیده است و بنابراین شناخت آثار تنش خشکی در گیاهان ضروری به نظر می‌رسد (Hui-ping et al., 2012). کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته شناخته شده که به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mahfouze & Migawer, 2004). در بین سیستم‌های مختلف کشت مخلوط، ترکیب گیاهان غلات با گیاهان تثبیت کننده نیتروژن (لگوم‌ها) از جمله معمولی‌ترین و قدیمی‌ترین این سیستم‌ها در نقاط مختلف دنیا به ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (Amani Machiani et al., 2018). استفاده از گیاهان لگوم مانند نخود به خصوص در سال‌های آیش علاوه بر کنترل فرسایش آبی و خاکی، باعث افزایش مواد آلی و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن شده و از طرف دیگر استفاده از کود سبز به‌دست آمده از نخود ضمن کاهش تقاضا برای مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند در افزایش بهره‌وری محصولات زراعی و گیاهانی که بعد از آن کشت می‌گردند، مؤثر باشد (Chapagain & Riseman, 2014).

(Rezvani Moghadam & Moradi, 2013) در بررسی کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) نشان دادند که میزان شاخص LER در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از یک بوده و بیانگر برتری سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گیاه است. کشت تأخیری یکی از روش‌های کشت مخلوط است که در آن گیاهان تابستان‌های مثل سویا (*Glycine max* L.) داخل گیاهان زمستانه مثل گندم (*Triticum aestivum* L.) کشت می‌شود. کلمه تأخیری زمانی به کار می‌رود که محصول دوم داخل محصول اول و قبل از برداشت محصول اول کشت می‌شود (El-Hawary, 2009). Lopez-Bellido et al, (2008) نیز رشد نخود کابلی را در شرایط آب و هوایی مدیترانه و در چهار تاریخ کاشت (اواخر پاییز، اوایل زمستان، اواسط زمستان و اواخر زمستان) مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که با افزایش طول دوره رشد نخود مقادیر وزن خشک کل، دوام سطح برگ، تعداد شاخه در بوته و ارتفاع بوته افزایش معنی‌داری نشان دادند. عملکرد دانه نیز در کشت‌های اواخر پاییز، اوایل زمستان و اواسط زمستان در حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد بیشتر از کشت در

2006, *et al.*). مراحل محاسبه نیاز آبی گیاه نخود به‌طور خلاصه به شرح زیر ارائه شده است:

رابطه (۲)

تبخیر - تعرق گیاه (ET_c) در مراحل مختلف رشد گیاه با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (*Grimes et al.*, 1978).

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

ET_c : تبخیر - تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، ET_0 :

تبخیر - تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c : ضریب گیاهی است. تبخیر - تعرق گیاه مرجع ET_0 با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب به‌دست آمد.

رابطه (۳)

میزان آب آبیاری در هر دور آبیاری با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$IR = ET_c (Ea \times LR)$$

IR: میزان آب آبیاری، Ea: راندمان مصرف آب، LR:

میزان آبشویی.

پس از اندازه‌گیری میزان آب، آبیاری برای تمام کرت‌ها تا مرحله گلدهی به‌صورت یکسان و به‌صورت نشتی و با فواصل ۸-۱۲ روز انجام شد و در ابتدای شیری‌شدن دانه جو، تیمار قطع آبیاری در کرت‌های تعیین‌شده متوقف شد. در مجموع، میزان آب مصرفی برای تیمار آبیاری و کشت‌های آذر و دی ماه به ترتیب با ۱۰ دور آبیاری ۵۷۳۳ متر مکعب و ۹ دور ۴۵۹۱ متر مکعب و برای تنش خشکی از اوایل شیری‌شدن دانه جو برای کشت‌های آذر و دی‌ماه به ترتیب با ۸ دور آبیاری ۴۴۶۵ متر مکعب و ۷ دور آبیاری ۴۲۷۰ متر مکعب در هکتار بود. تنها کود مورد استفاده ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره بود که به صورت سرک در سه مرحله کاشت، پنجه‌دهی و ابتدای ساقه رفتن گیاه جو به کرت‌ها اضافه شد.

۲۸ سانتی‌متر حالت نیمه‌ایستاده داشته که وزن ۱۰۰۰ دانه آن ۳۵۰ گرم می‌باشد که مساعد برای نواحی گرم و خشک است. اندازه کرت‌های اصلی ۱۴۴ مترمربع و کرت‌های فرعی شش مترمربع و مجموع آن‌ها ۴۸ کرت بودند. فاصله دو تکرار از یکدیگر نیز دو متر و فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر نیز ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در هریک از کرت‌های فرعی شش ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر ایجاد شد و بذرهاى نخود و جو به‌صورت ردیفی کشت‌شدند. مزرعه در سال قبل از آزمایش به- صورت آیش بوده و کاشت در ۱۵ آذرماه و ۱۵ دی‌ماه صورت گرفت. تراکم کاشت برای گیاه جو ۴۰۰ بوته در مترمربع و برای نخود ۴۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. بذر جو و نخود از مرکز تحقیقات حسن‌آباد داراب تهیه شد.

میزان آب مورد نیاز برای هرکرت براساس ظرفیت زراعی مزرعه (۲۴/۵ درصد وزنی) محاسبه شد (*Grimes et al.*, 1978). در این روش ابتدا قطعه زمینی به مساحت دو مترمربع مشخص شد و به شکل حوضچه درآمد. سپس این حوضچه به طور سنگین آبیاری شد و بر روی آن پلاستیک پوشانده شد. پس از قطع آبیاری و نفوذ آب، در فواصل زمانی هر ۱۲ ساعت یکبار از عمق ۰ تا ۱ متری توسعه ریشه نمونه‌برداری و مقدار رطوبت آن به روش وزنی اندازه‌گیری شد. این عمل آن‌قدر ادامه داده شد تا سرانجام مقدار رطوبت در دو اندازه‌گیری پشت سرهم تقریباً با هم برابر شدند که این مقدار رطوبت براساس رابطه زیر برابر با رطوبت ظرفیت زراعی گردد (*Daneshmand et al.*, 2006).

رابطه (۱)

= مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی

$$100 \times [\text{وزن خاک خشک} / (\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک تر})]$$

نیاز آبی گیاه به‌صورت روزانه با استفاده از میانگین روزانه داده‌های پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب و با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (*Daneshmand*).

جدول ۱- داده‌های هواشناسی شهرستان داراب در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷

Table 1. Climatic data of Darab during 2017-2018 growing season

ماه‌ها Months	اردیبهشت May	فروردین April	اسفند March	بهمن February	دی January	آذر December	آبان November	مهر October
حداقل دما Minimum temperature (°C)	16.9	12.1	8.6	4.5	3.3	4.7	9.5	15.9
حداکثر دما Maximum temperature (°C)	34.2	28.6	22.5	21.4	20.1	19.5	27.4	33
متوسط دما Average temperature (°C)	24.5	20.4	15.6	12.9	11.7	12.1	18.5	24.5
بارندگی Rainfall (mm)	1.7	6.4	62	0.4	1.3	26.2	1.9	0.0

گیری آنزیم‌های فوق در دمای 20°C - نگهداری شدند (Chance & Maehly, 1955).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز شامل بافر فسفات 50 میلی مولار، 15 میلی مولار پراکسید هیدروژن و 50 میکرو لیتر از عصاره آنزیمی بود. پس از اضافه کردن عصاره آنزیمی میزان جذب در طول موج 240 نانومتر به مدت 30 ثانیه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) ثبت شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی ($39/4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) به صورت میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده و به صورت واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر بیان شد (Aebi, 1984).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز

مخلوط واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز شامل بافر فسفات 50 میلی مولار، 10 میلی مولار گایاکول، 15 میلی مول پراکسید هیدروژن و 50 میکرو لیتر عصاره آنزیمی بود. میزان جذب در طول موج 470 نانومتر به صورت 60 ثانیه قرائت شد. محلول شاهد شامل تمامی این مواد به جز عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم پراکسیداز به عنوان میزان ترا گایاکول تشکیل شده واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) با ضریب خاموشی ($26/6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) محاسبه شد (Chance and Maehly, 1955).

همچنین نمونه برداری در مرحله رسیدگی گیاهان زراعی از یک متر مربع در تاریخ 23 اردیبهشت ماه برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی انجام گردید. پس از برداشت صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن 1000 دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و پروتئین دانه گیاه نخود اندازه‌گیری شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه (9.4) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس این صفت نشان داد که اثر تیمار آبیاری، ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و اثر متقابل بین تیمار آبیاری و کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل a معنی دار بود (جدول ۲). نتایج برهمکنش اثر تیمارهای آبیاری و کشت مخلوط بر محتوای کلروفیل a

پس از برداشت صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن 1000 دانه، پروتئین دانه و عملکرد گیاه نخود اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه نخود از روی میزان نیتروژن نمونه و با استفاده از دستگاه میکروکلیدال مدل (K-360) Kjelflex ساخت شرکت BUCHI سوئیس محاسبه شد. به این ترتیب که با اندازه‌گیری میزان نیتروژن، میزان پروتئین دانه گیاه نخود از حاصل ضرب درصد نیتروژن در عدد $6/25$ به دست آمد (Lopez - Bellido & Lopez - Bellido, 2001).

نمونه‌گیری جهت اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b) و صفات بیوشیمیایی (آنزیم کاتالاز و پراکسیداز) دو هفته بعد از اعمال تنش صورت گرفت.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای استخراج و سنجش میزان کلروفیل a و b از روش (Arnon, 1967) استفاده شد به این منظور $0/5$ گرم از نمونه های تر برگ پس از توزین در داخل هاون با 10 میلی لیتر استون 80 درصد عصاره گیری شد. سپس عصاره حاصل در تاریکی و در دمای 4°C در یخچال نگهداری شد و مواد جامد اضافی به مدت 15 دقیقه در سانتریفیوژ با دور 6000 در دقیقه رسوب داده شد. آنگاه یک میلی لیتر از محلول شفاف رویی را با 9 میلی لیتر استون 80 درصد به حجم 10 میلی لیتر رسانده و میزان جذب عصاره استخراج شده با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) ساخت شرکت Shimadzu ژاپن در طول موج های (643 و 645) نانومتر قرائت گردید و سپس میزان رنگیزه های فتوسنتزی از روابط زیر محاسبه شد.

رابطه (۴)

$$\text{Chlorophyll } a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \text{ V}/100\text{W}$$

رابطه (۵)

$$\text{Chlorophyll } b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) \text{ V}/100\text{W}$$

V = حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)؛ A = جذب نور در طول موج های 643 و 645 نانومتر؛ W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

اندازه‌گیری آنزیم‌ها

برای استخراج آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، $0/1$ گرم از نمونه برگ با استفاده از هاون چینی کاملاً سرد و با نیتروژن مایع ساییده شد و سپس به آن 5 میلی لیتر از بافر فسفات ($\text{pH} = 7$) اضافه شد و پس از انتقال به میکروتیوپ های 2 ml با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ مدل (Z326K) ساخت کشور آلمان با 15000 دور در دقیقه و دمای 4°C به مدت 15 دقیقه سانتریفیوژ شد. نمونه‌های استخراج شده تا زمان اندازه

می‌گیرند، به دلیل وجود نیتروژن بالا در خاک و جذب آن توسط گیاه می‌باشد. (Baharloei, 2013) نیز در کشت مخلوط نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) مشاهده نمود کلروفیل *b* نخودفرنگی در تیمار کشت مخلوط به طور معنی داری نسبت به کشت خالص افزایش یافت. (Rasti sani et al, (2014 در بررسی صفات فیزیولوژیک گیاه لوبیا مشاهده کردند که با افزایش تنش خشکی شاخص کلروفیل در گیاهچه‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی به طور معنی داری افزایش یافت. می‌توان بیان کرد که علت کاهش محتوای کلروفیل *b* در کشت مخلوط جو دی+نخود آذرماه نسبت به سایر تیمارها در شرایط تنش خشکی به این علت باشد که کشت به موقع نخود در آذرماه و تأخیر در کاشت جو در دی‌ماه باعث شده است که گیاه نخود مراحل نموی خود را سریع‌تر از گیاه جو طی نماید و به مرحله رشد زایشی برسد و از سایه‌اندازی گیاه جو بر روی نخود کاسته شود و در نتیجه محتوای کلروفیل این تیمار کاهش یابد (شکل ۲).

آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس آنزیم کاتالاز نشان داد که اثر تیمار آبیاری، ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و اثر متقابل تیمار آبیاری و کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی میزان آنزیم کاتالاز در همه تیمارها افزایش یافت و بیشترین میزان افزایش آنزیم کاتالاز با ۷۴/۰۴ در کشت مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه و کمترین میزان افزایش آن با ۱۲/۱۷ درصد در تک‌کشتی نخود آذرماه به دست آمد که با کشت مخلوط جو آذر+نخود آذرماه تفاوت آماری معنی داری نداشت (شکل ۳). در این آزمایش در شرایط تنش خشکی میزان آنزیم کاتالاز در همه تیمارها افزایش یافت، ولی تیمار تک‌کشتی نخود آذرماه با ۱۲/۱۷ کمترین درصد افزایش آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص داد و می‌توان گفت که این تیمار مقاومت کمتری را در مقابل با سایر تیمارها در مقابل تنش خشکی داشته است و تیمار حساس‌تری نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. همچنین تأخیر در کاشت نخود دی‌ماه و کشت به موقع جو آذرماه باعث شده است که گیاه جو به خاطر حفظ رطوبت خاک در اوایل فصل رشد و فراهمی رطوبت مورد نیاز در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، با کاهش رقابت برون‌گونه‌ای مواجه شود که در نهایت باعث افزایش میزان آنزیم کاتالاز و در نتیجه افزایش عملکرد در کشت

نشان داد که بیشترین میزان این صفت در کشت مخلوط جو دی+نخود دی با ۱/۴۸ میلی گرم بر گرم در وزن تر در شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد و کمترین میزان آن در کشت مخلوط جو آذر+نخود آذر با ۰/۵۲۳ میلی گرم بر گرم در وزن تر به دست آمد که با کشت مخلوط جو دی+نخود آذر تفاوت معنی داری نداشت. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی انتهای فصل محتوای کلروفیل *a* در همه تیمارها کاهش یافت و بیشترین و کمترین میزان کاهش آن به ترتیب با ۴۶/۶ و ۲۲/۳ درصد در کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی و جو دی+نخود دی‌ماه به دست آمد (شکل ۱). مطابق با نتایج پژوهش حاضر کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در اثر تنش خشکی در لوبیاقرمز (Zedeh-Begheri et al., 2014) و ماش (Naresh et al., 2013) گزارش شده است. تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در تولید آنزیم‌های ازبین برنده رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد که این امر منجر به افزایش پراکسیداسیون چربی‌های غشایی و در نتیجه خسارت به غشاء سلولی و همچنین تخریب رنگدانه‌ها می‌شود (Masoumi et al., 2010). نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان داد که در شرایط تنش خشکی انتهای فصل تیمارهای کشت مخلوط نخود دی‌ماه محتوای کلروفیل *a* بالاتری نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط داشتند (شکل ۱). می‌توان گفت تأخیر در کاشت نخود دی‌ماه باعث شده است که بوته‌های گیاه جو در اوایل دوره فصل رشد توسعه بیشتری نسبت به گیاه نخود پیدا کند و سبب سایه‌اندازی بوته‌های جو بر روی نخود و در نهایت جذب بهتر نیتروژن و کاهش رقابت برای جذب نیتروژن بین این دو گیاه گردد و در نتیجه باعث افزایش محتوای کلروفیل *a* شده است.

محتوای کلروفیل *b*

نتایج تجزیه واریانس این آزمایش بر محتوای کلروفیل *b* نشان داد که اثر تیمار آبیاری، ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و اثر متقابل تیمار آبیاری و کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر محتوای کلروفیل *b* گیاه نخود معنی دار بود (جدول ۲). نتایج برهمکنش اثر تیمار آبیاری و کشت مخلوط بر محتوای کلروفیل *b* در گیاه نخود نشان داد که در شرایط تنش خشکی انتهای فصل محتوای کلروفیل *b* در همه تیمارها به جز تک‌کشتی نخود دی‌ماه کاهش یافت و بیشترین درصد کاهش محتوای کلروفیل *b* با ۴۵/۵ درصد در کشت مخلوط جو دی+نخود آذرماه به دست آمد (شکل ۲). (Argenta et al (2004 گزارش کردند که افزایش محتوای کلروفیل برگ در گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار

مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه نسبت به سایر ترکیب‌های مختلف کشت نخود شده است (شکل ۳).

کاتالاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های جمع‌آوری‌کننده پراکسید هیدروژن به‌شمار می‌آید که افزایش فعالیت این آنزیم باعث افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی و در نتیجه موجب افزایش عملکرد محصول می‌شود (Hasanpour *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های نخود انجام شد، مشاهده گردید که تنش خشکی منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در مقایسه با شرایط آبیاری مطلوب شد (Rahbarian *et al.*, 2012). Poursmaeil (2009) اظهار

داشت که تنش خشکی سبب کاهش صفات زراعی لوبیاقرمز و افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله کاتالاز و پراکسیداز شده است و همچنین بیان کرد که افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده اثر این آنزیم‌ها در کاهش خسارت‌های تنش اکسیداتیو و نقش مهم آن‌ها در مقابله با گونه‌های اکسیژن فعال می‌باشند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، (Anjun *et al.*, 2012) نیز افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز را در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب گزارش نمودند.

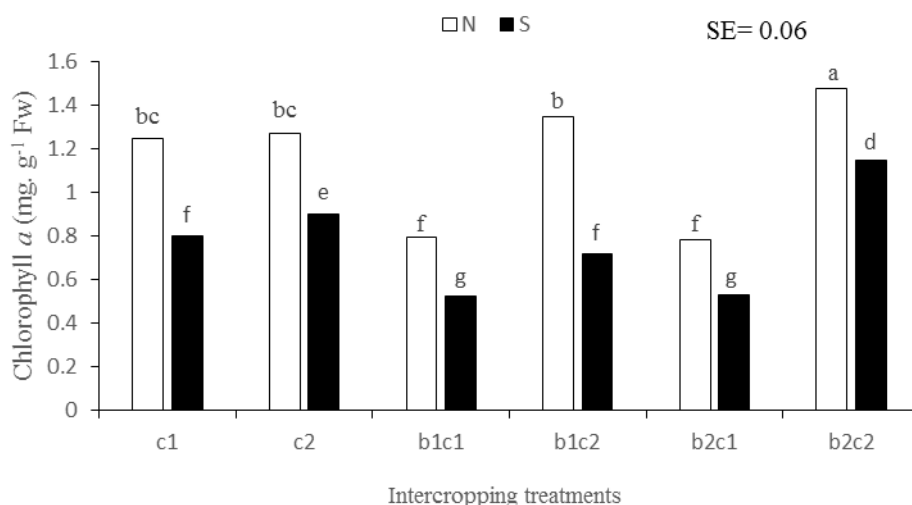
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمار رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط با جو بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی و عملکرد و اجزای عملکرد نخود

Table 2. Analysis of variance for the effects of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on photosynthetic pigments, enzyme activity, yield and yield components of chickpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS									
		کلروفیل <i>a</i> Chlorophyll <i>a</i>	کلروفیل <i>b</i> Chlorophyll <i>b</i>	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	تعداد غلاف در بوته Number of pods/plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed/pods	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-Seed weight	پروتئین دانه Seed protein	عملکرد دانه نخود Seed yield of Chickpea	عملکرد دانه جو Seed yield of Barley
تکرار Replication	2	0.008	0.0001	0.035	0.047	0.107	0.001	1304.8	0.732	7934.5	317711.9 _{4^{ns}}
رژیم آبیاری Irrigation regime (A)	1	1.32**	0.036**	15.5**	154**	33.5**	0.049 ^{ns}	357.8 ^{ns}	0.352 ^{ns}	203347600*	573967.7 _{6^{ns}}
خطای اصلی Main error A	2	0.0006	0.0001	0.026	0.162	0.008	0.014	1474.6	0.817	56608.3	47017
کشت مخلوط Intercropping (B)	5	0.405**	0.011**	4.61**	10.1**	231.2**	0.063**	9138**	26.6**	2386388.7**	**47017
(A) × (B) اثر متقابل	5	0.29**	0.014**	2.74**	13.5**	1.022 ^{ns}	0.011 ^{ns}	3499.9**	8.6**	1457546.6**	2048095.47 ^{ns}
خطای فرعی Sub error B	20	0.003	0.001	0.100	0.135	0.446	0.004	426.1	1.9	9231.08	327421.9 ₉
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.36	12.49	19.2	7.09	4.22	6.43	35.7	5.46	31.9	17.14

ns, *, **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, **, *: Non-significant and significant difference at ($p \leq 0.01$) and ($p \leq 0.05$) probability levels, respectively



شکل ۱- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط با جو بر محتوای کلروفیل *a* نخود

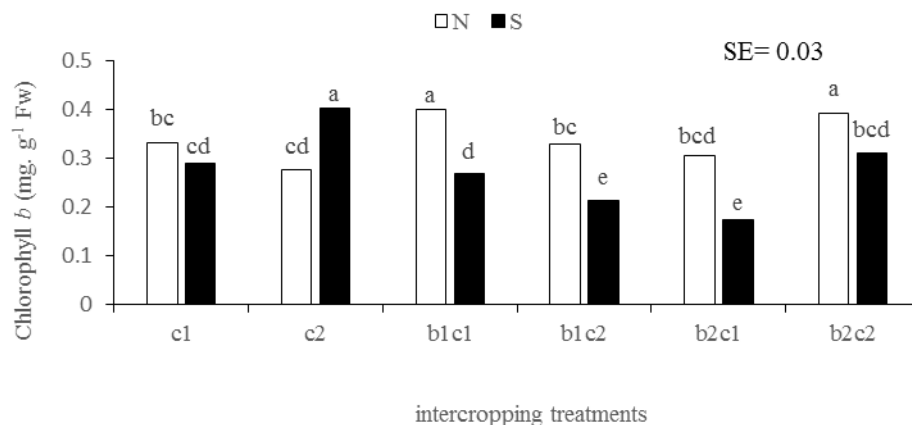
N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیری شدن دانه جو

c₁, c₂, b₁c₁, b₁c₂, b₂c₁ and b₂c₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively. Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD (p ≤ 0.05) test.

Fig. 1. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea chlorophyll *a* content

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c₁, c₂, b₁c₁, b₁c₂, b₂c₁ and b₂c₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively. Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD (p ≤ 0.05) test.



شکل ۲- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط با جو بر محتوای کلروفیل *b* نخود

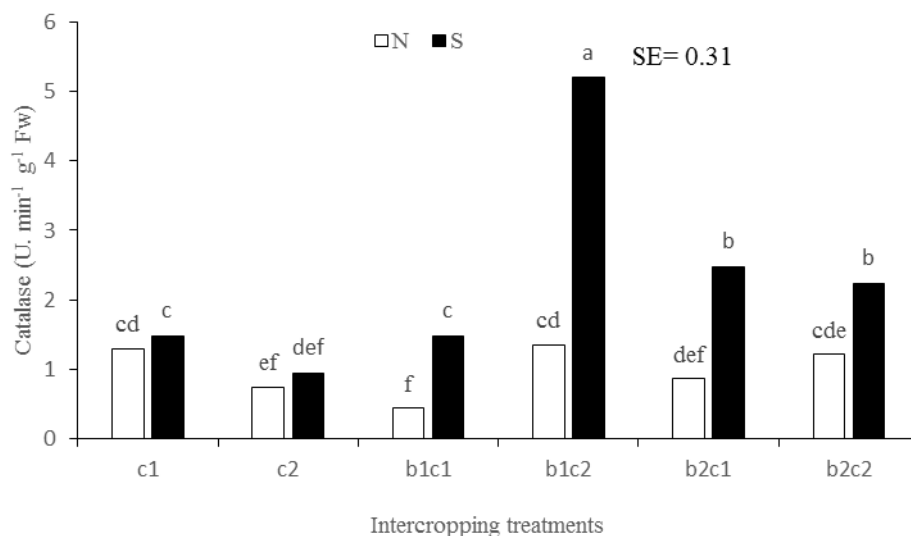
N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیری شدن دانه جو

c₁, c₂, b₁c₁, b₁c₂, b₂c₁ and b₂c₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively. Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD (p ≤ 0.05) test.

Fig. 2. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea chlorophyll *b* content

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c₁, c₂, b₁c₁, b₁c₂, b₂c₁ and b₂c₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively. Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD (p ≤ 0.05) test.



شکل ۳- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط با جو بر مقدار آنزیم کاتالاز نخود

N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیریدگی دانه جو

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, respectively. LSD = 0.05, Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

Fig. 3. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea catalase enzyme content

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

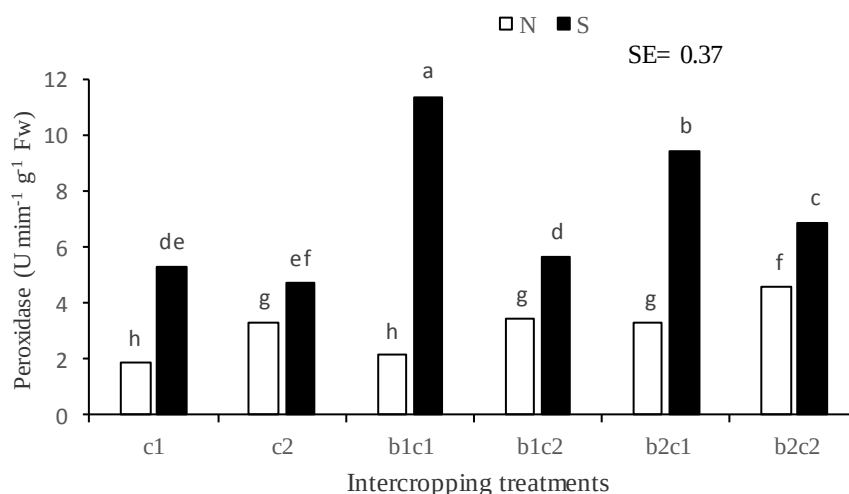
c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, respectively. LSD = 0.05, Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس تعداد غلاف در بوته نخود نشان داد که تیمارهای تنش خشکی و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غلاف در بوته نخود بودند. این درحالی است که برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری بر این صفت نبودند (جدول ۲). نتایج نشان داد که تعداد غلاف در بوته نخود در شرایط آبیاری مطلوب ۱۶/۷۹ غلاف در بوته نخود به‌دست آمد که پس از اعمال تیمار تنش خشکی انتهای فصل این مقدار به ۱۴/۸۶ غلاف در بوته نخود کاهش یافت که با تیمار آبیاری مطلوب اختلاف ۱۱/۵ درصدی داشت (جدول ۳). Amiri Deh (2010) در آزمایشی اثر تنش خشکی را در مراحل مختلف فنولوژیک گیاه نخود بررسی کرده و نتیجه گرفتند که بیشترین کاهش تعداد غلاف در بوته در اثر تنش خشکی در مرحله گلدهی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته نخود با ۲۴/۸۳ غلاف در کشت مخلوط جو دی+نخود آذرماه و کمترین میزان در تک‌کشتی نخود آذرماه با ۱۰ غلاف به‌دست آمد (جدول ۳).

آنزیم پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس آنزیم پراکسیداز نشان داد که اثر تیمار آبیاری، ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و اثر متقابل بین تیمار آبیاری و کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر میزان آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی میزان آنزیم پراکسیداز در همه ترکیب‌های مختلف کشت نخود افزایش یافت و بیشترین و کمترین میزان این آنزیم در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب با ۸۱/۳۶ و ۲۹/۷۵ درصد در کشت مخلوط جو آذر+نخود آذرماه و تک‌کشتی نخود دی‌ماه به‌دست آمد (شکل ۴). می‌توان گفت که یکی از دلایل افزایش آنزیم پراکسیداز در کشت مخلوط جو آذر+نخود آذرماه افزایش میزان پروتئین باشد (شکل ۹). از دیگر دلایل افزایش آنزیم پراکسیداز در کشت مخلوط نخود آذر+جو آذرماه می‌تواند وجود باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باشد. Pomplli et al, (2010) افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را در پاسخ به تنش خشکی گزارش نموده‌اند. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، Abedi & Pakniyat (2010) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی میزان آنزیم پراکسیداز افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۴- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط با جو بر مقدار آنزیم پراکسیداز نخود

N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیریشدن دانه جو

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

Fig. 4. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea peroxidase enzyme content

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively. Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس تعداد دانه در غلاف گیاه نخود نشان داد که ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در غلاف گیاه نخود بودند. این در حالی است که اثر تیمارهای آبیاری و برهمکنش بین تنش خشکی و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط دارای اثر معنی‌داری بر این صفت نبودند (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تک‌کشتی نخود دی‌ماه با ۱/۲۳ دانه در غلاف و کمترین میزان این صفت با ۰/۹۷ دانه در غلاف در کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی و جو دی+نخود دی به‌دست آمد (جدول ۳) که با نتایج Rezvani Moghadam & Moradi6 (2013) در کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله مطابقت داشت.

می‌توان بیان کرد که علت کاهش تعداد غلاف در بوته نخود در تیمارهای تک‌کشتی، وجود رقابت شدید در جذب منابع و کاهش منابع محیطی در دسترس گیاه می‌باشد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که وجود ردیف‌های طراحی‌شده جو دی‌ماه به‌عنوان کشت تأخیری در داخل ردیف‌های نخود آذرماه باعث فراهم کردن رطوبت و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای به ویژه رقابت بر سر نور شده و همچنین کشت به‌موقع نخود آذرماه باعث شده است که گرده‌افشانی و دوره پرشدن دانه‌ها در شرایطی که درجه‌حرارت محیط کمتر است، صورت گیرد؛ در نتیجه باعث افزایش تعداد غلاف در بوته نخود شده است. Niksirat et al, (2016) در آزمایشی اثر تنش خشکی را بر روی عملکرد نخود و باقلا در ارقام جو بررسی کرده و گزارش کردند که تنش خشکی انتهای فصل باعث کاهش ۳۷ درصدی تعداد غلاف در بوته می‌شود که در پژوهش حاضر تنش خشکی انتهای فصل باعث کاهش ۱۴/۸۶ درصدی تعداد غلاف در بوته نخود گردید.

جدول ۳- میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده نخود تحت رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط

Table 3. Mean comparisons for measured chickpea traits under different irrigation regimes and intercropping treatments with barley

صفات اندازه‌گیری شده Measured traits	رژیم آبیاری Irrigation regimes		تیمارهای کشت مخلوط Intercropping treatments					
	N	S	c ₁	c ₂	b ₁ c ₁	b ₁ c ₂	b ₂ c ₁	b ₂ c ₂
تعداد غلاف در بوته Number of pods/plant	16.79 ^a	14.86 ^b	10.00 ^e	11.12 ^d	15.34 ^c	22.00 ^b	24.83 ^a	11.67 ^d
تعداد دانه در غلاف Number of grain /pods	1.04 ^b	1.11 ^a	1.16 ^{ab}	1.23 ^a	1.05 ^{cd}	0.975 ^d	1.083 ^{cb}	0.975 ^d

N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیری شدن دانه جو

c₁, c₂, b₁c₁, b₁c₂, b₂c₁ and b₂c₂ به ترتیب تک‌کشتی نخود آذر ماه، کشت مخلوط جو آذر+نخود آذر، جو آذر+نخود دی، جو دی+نخود آذر، جو دی+نخود دی میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c₁, c₂, b₁c₁, b₁c₂, b₂c₁ and b₂c₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January intercropping, respectively.

Means with similar letters in each row have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

۳۵/۳۲ درصدی داشت (شکل ۵). در تیمارهای کشت مخلوط به دلیل افزایش جذب نور توسط پوشش گیاهی و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی بالاتر، در گیاه نخود مواد فتوسنتزی بیشتری به مقصد (دانه‌ها) اختصاص یافته و باعث افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه شد (Banik et al., 2006).

Hamzei et al, (2012) در آزمایشی که بر روی کشت مخلوط نخود و جو در رقابت با علف‌های هرز انجام دادند، نتیجه گرفتند که بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه در هر دو شرایط عاری از علف هرز و آلوده به علف‌هرز در تیمارهای کشت مخلوط به دست آمد. می‌توان گفت که یکی از دلایل افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه در تیمار جو دی+نخود آذرماه افزایش تعداد دانه در غلاف باشد. تأخیر در کاشت جو و کشت به موقع نخود در کشت مخلوط جو دی+نخود آذرماه باعث شده است تا بوته های نخود در اوایل دوره رشد استقرار یابند و در مراحل توسعه شاخ و برگ، کمتر تحت تأثیر غالبیت جو و رقابت بین گونه‌ای قرار گیرند، در نتیجه وزن ۱۰۰۰ دانه افزایش یابد. تنش خشکی باعث افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گردید که بیشترین میزان افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه با ۲۳/۸۶ درصد مربوط به کشت مخلوط و جو آذر+نخود آذر بود (شکل ۵).

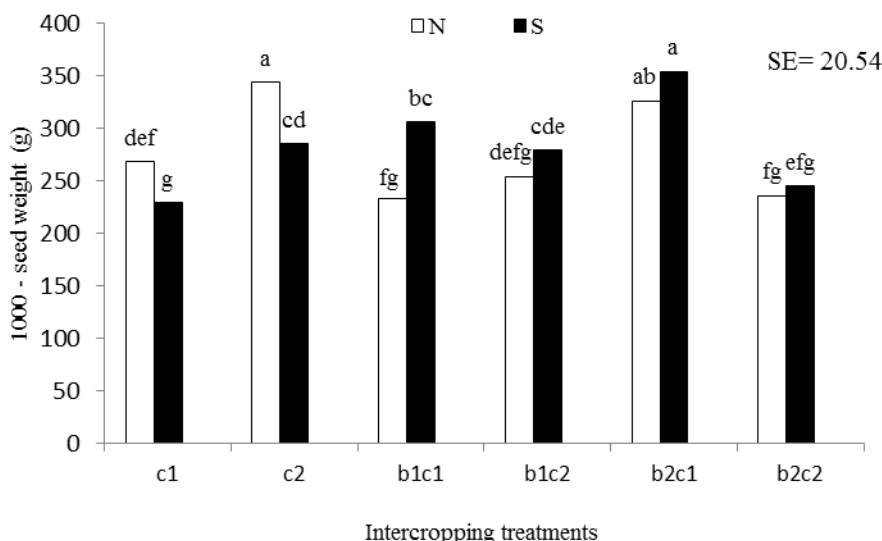
پروتئین دانه نخود

نتایج تجزیه واریانس پروتئین دانه گیاه نخود نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و برهمکنش بین تیمارهای آبیاری و کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر میزان پروتئین دانه گیاه نخود معنی‌دار بود. این در حالی بود که تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲).

در این آزمایش بین تیمارهای تک‌کشتی نخود آذرماه و نخود دی‌ماه و کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی، جو آذر+نخود آذر، جو دی+نخود دی و همچنین بین تیمارهای کشت مخلوط جو دی+نخود آذر و جو آذر+نخود آذر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که علت افزایش تعداد دانه در غلاف در تیمارهای تک‌کشتی نسبت ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط کاهش تعداد غلاف در بوته باشد، به این صورت که با کاهش تعداد غلاف در بوته تک کشتی‌های نخود برای رشد و تکامل دانه‌ها مواد پرورده بیشتری را به دانه‌ها منتقل کرده و باعث افزایش تعداد دانه در غلاف شده است. مطابق با نتایج پژوهش حاضر Koocheki et al, (2010) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نیز گزارش کردند که تعداد دانه لوبیا در کشت مخلوط به طور معنی‌داری کاهش یافت.

وزن ۱۰۰۰ دانه

نتایج تجزیه واریانس وزن ۱۰۰۰ دانه نشان داد که اثر تیمارهای مختلف کشت مخلوط و برهمکنش تیمارهای رژیم آبیاری و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر وزن ۱۰۰۰ دانه نخود معنی‌دار بود، در صورتی‌که تیمار رژیم آبیاری اثر معنی‌داری بر وزن ۱۰۰۰ دانه نخود نداشت (جدول ۲). نتایج برهمکنش اثر تیمارهای آبیاری و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر وزن ۱۰۰۰ دانه گیاه نخود نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰۰ دانه نخود در کشت مخلوط جو دی+نخود آذرماه با ۳۵۴ گرم در شرایط تنش خشکی به دست آمد که با تک‌کشتی نخود دی‌ماه در شرایط آبیاری مطلوب اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان این صفت در شرایط تنش خشکی و در تک‌کشتی نخود آذرماه با ۲۲۹ گرم به دست آمد که با تیمار جو دی+نخود آذرماه اختلاف



شکل ۵- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط با جو بر وزن ۱۰۰۰ دانه نخود

N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیرید شدن دانه جو

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 : به ترتیب تک کشتی نخود آذرماه، نخود دی‌ماه، کشت مخلوط جو آذر+نخود آذر، جو آذر+نخود دی، جو دی+نخود آذر، جو دی+نخود دی میانی‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

Fig. 5. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea 1000 seed weight

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

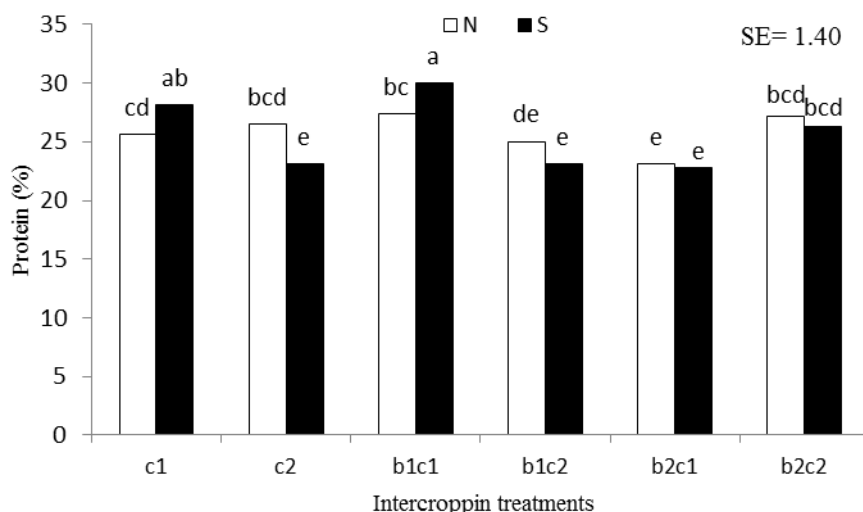
عملکرد دانه نخود

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه نخود و نیز اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط و همچنین برهمکنش تیمارهای آبیاری و ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه نخود معنی‌دار بود (جدول ۲).

بیشترین عملکرد دانه نخود در تک کشتی نخود دی‌ماه با ۳۰۱۵/۵ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد و کمترین میزان آن در شرایط تنش خشکی و در کشت مخلوط جو دی+نخود دی‌ماه با ۳۱۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که با کشت مخلوط جو آذر+نخود دی و جو آذر+نخود آذر در شرایط آبیاری مطلوب اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۷).

بیشترین میزان پروتئین دانه نخود در شرایط تنش خشکی با ۳۰ درصد در کشت مخلوط جو آذر+نخود آذر و کمترین میزان آن در کشت مخلوط جو دی+نخود آذر با ۲۲/۸۱ به دست آمد که با تک کشتی نخود دی‌ماه و کشت مخلوط جو آذر+نخود دی در شرایط تنش خشکی و کشت مخلوط جو دی+نخود آذر و جو آذر+نخود دی در شرایط آبیاری مطلوب اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (شکل ۶).

Shaker koohi et al, (2014) در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و ماش (*Vigna radiate* L.) دریافتند که میزان پروتئین دانه در هر دو گونه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت. بالاتر بودن درصد پروتئین در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری می‌تواند به دلیل کاهش طول دوره رشد در شرایط تنش خشکی باشد که با مشاهدات Jalilian et al, (2005) در ارقام نخود مطابقت دارد.



شکل ۶- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط بر پروتئین دانه نخود

N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیری شدن دانه جو

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی داری نمی‌باشند.

Fig. 6. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea protein seed

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

جو آذر+نخود دی‌ماه نسبت به سایر تیمارها افزایش بیشتر میزان آنزیم کاتالاز در این تیمار باشد (شکل ۳).

عملکرد دانه جو

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه گیاه جو نشان داد که عملکرد دانه جو به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای کشت قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه جو در کشت مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه با ۴۲۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۸). در این آزمایش به نظر می‌رسد که جو آذرماه به دلیل خصوصیات ظاهری و ارتفاع بیشتری که نسبت به نخود دی‌ماه دارد، گیاه غالب بوده و نخود دی‌ماه رقابت کمتری با جو ایجاد می‌کند و باعث دسترسی بیشتر جو به منابع شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد در کشت مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه شد.

Piroozi et al, (2012) اظهار کردند که تأخیر در کشت

لوبیا در کشت مخلوط ذرت با لوبیا باعث افزایش عملکرد ذرت نسبت به کشت همزمان و یا کشت تأخیری ذرت در مخلوط ذرت با لوبیا شد. بیشترین عملکرد دانه نخود در تک‌کشتی نخود دی‌ماه با ۳۰۱۵/۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۸).

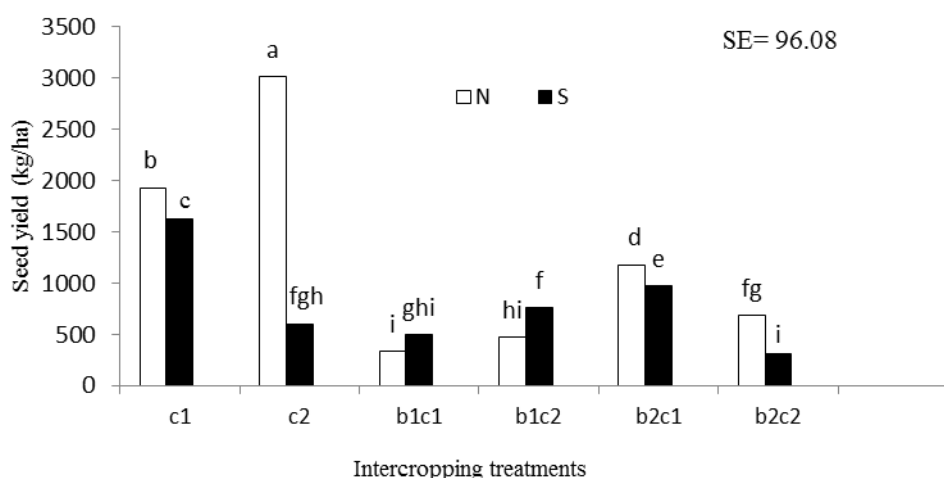
به‌طور کلی بیشترین عملکرد دانه گیاه نخود در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی با توجه به تراکم کشت بالاتر از تیمارهای تک‌کشتی جو آذر و جو دی‌ماه به‌دست آمد و تیمارهای تک‌کشتی نسبت به کشت مخلوط برتری داشتند که با نتایج (2013) Namdari & Mahmoodi در کشت مخلوط نخود و کلزا مطابقت داشت.

Rezaei chiyaneh et al, (2014) در بررسی الگوهای

مختلف کشت مخلوط زیره سبز و عدس در کشت دوم دریافتند که بیشترین عملکرد دو گونه، از کشت خالص و کمترین میزان آن‌ها از الگوی کشت مخلوط نواری شش ردیف عدس با دو ردیف زیره سبز به‌دست آمد.

در بررسی عملکرد گیاه دارویی سیاه‌دانه در کشت مخلوط با نخود و لوبیا مشخص شد که عملکرد دانه هر سه گیاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و میانگین این صفت در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بالاتر بود (Koocheki et al., 2014).

در این آزمایش پس از اعمال تنش خشکی انتهای فصل عملکرد دانه نخود در همه تیمارها به‌جز در کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه و جو آذر+نخود آذرماه نسبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت (شکل ۷). می‌توان بیان کرد که علت افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در کشت مخلوط



شکل ۷- برهمکنش رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط بر عملکرد دانه نخود

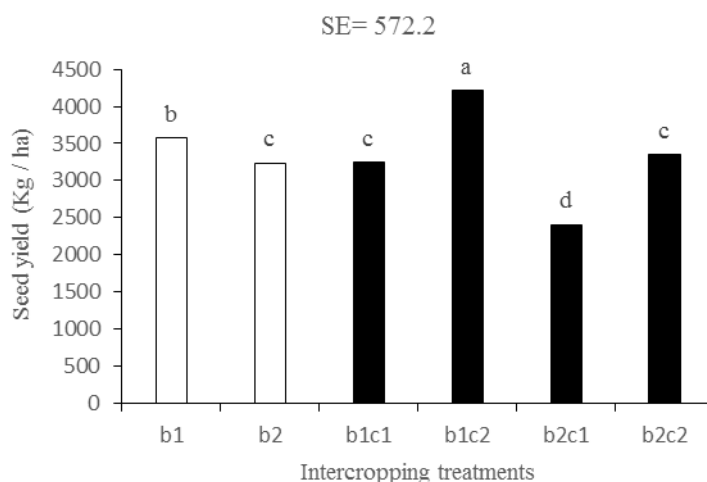
N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیریدگی شدن دانه جو

c1، c2، b1c1، b1c2، b2c1 و b2c2: به ترتیب تک کشتی نخود آذرماه، نخود دی ماه، کشت مخلوط جو آذر+نخود آذر، جو آذر+نخود دی، جو دی+نخود آذر، جو دی+نخود دی میانی‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی داری نمی باشند.

Fig. 7. Interaction effect of irrigation regimes and intercropping treatments with barley on chickpea seed yield

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.



شکل ۸- عملکرد دانه جو در تیمارهای کشت مخلوط

c1، c2، b1c1، b1c2، b2c1 و b2c2: به ترتیب تک کشتی نخود آذرماه، نخود دی ماه، کشت مخلوط جو آذر+نخود آذر، جو آذر+نخود دی، جو دی+نخود آذر، جو دی+نخود دی میانی‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی داری نمی باشند.

Fig. 8. The mean comparison barley seed yield intercropping treatments

c1, c2, b1c1, b1c2, b2c1 and b2c2 were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January, intercropping, respectively Means with similar letters in each treatment for each traits have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

نسبت برابری زمین (LER)

نتایج تجزیه واریانس شاخص نسبت برابری زمین نشان داد که برهمکنش تنش خشکی و الگوهای کشت مخلوط اثر معنی داری بر LER نخود و کل داشت (جدول ۴). تنش خشکی به ترتیب باعث افزایش ۵۸ و ۲۵ درصدی LER نخود و کل نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد (جدول ۴). بیشترین میزان LER نخود و کل در کشت مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۱/۴۶ و ۲/۴۵ بود (جدول ۵). افزایش جذب عناصر غذایی و آب به وسیله سیستم ریشه‌ای متفاوت در کشت مخلوط (Stolz & Nadeau, 2014) و از طرفی افزایش LER نخود در شرایط تنش خشکی باعث شد که LER کل افزایش یابد که با نتایج (Niksirat et al, 2018) در بررسی کشت مخلوط جو با حبوبات مطابقت داشت.

در آزمایشی دیگر که روی کشت مخلوط ریحان و ذرت انجام گردید، نسبت LER در همه الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک به دست آمد (Mabudi & Salmasi, 2017).

Zhang et al, (2007) در مطالعه‌ای که روی کشت

مخلوط تأخیری گندم و پنبه انجام دادند، گزارش کردند که همه تیمارهای کشت مخلوط باعث افزایش نسبت برابری زمین شدند که در میان آن‌ها آرایش‌های کاشت ۳:۱، ۳:۳، ۴:۳

بالاترین نسبت برابری زمین ($LER = 1/39$) را نشان دادند که در مقایسه با آرایش (۶:۲) با ($LER = 1/28$) اختلاف معنی‌داری مشاهده شد.

همچنین در این آزمایش می‌توان بیان کرد که یکی از دلایل افزایش LER در کشت مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه افزایش عملکرد در این تیمار نسبت به سایر تیمارها در شرایط تنش خشکی باشد (شکل ۲). از طرفی افزایش LER در این تیمار ($LER = 2/45$) نسبت به سایر تیمارها می‌تواند به این علت باشد که کشت زود هنگام گیاه جو در آذرماه و تأخیر در کاشت گیاه نخود در دی‌ماه باعث شده است که گیاه نخود در زمانی کشت شود که جو آذرماه در اوایل فصل رشد، سریع‌تر استقرار یافته و به مرحله رشد رویشی رسیده و کاشت نخود در دی‌ماه باعث کمتر شدن رقابت برون‌گونه‌ای بین این دو گیاه و در نهایت افزایش LER گردیده است. بنابراین در این تیمار گیاه نخود با توجه به نسبت برابری زمین در نخود و کل از فواید کشت مخلوط با جوسودمندی بیشتری برده است (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری و تیمارهای کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین جو، نخود و کل

Table 4. Analysis of variance (mean of squares) for irrigation regimes and intercropping treatments on land equivalent ratio of barley, chickpea and total

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		نسبت برابری زمین Land equivalent ratio		
		LER _{barley}	LER _{chickpea}	LER _{total}
تکرار Replication	2	0.0047 ^{ns}	0.0017 ^{ns}	0.057 ^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (A)	1	0.023 ^{ns}	1.052 ^{**}	0.764 ^{**}
خطای اصلی Main error A	2	0.0832	0.0031	0.067
تیمارهای کشت مخلوط Intercropping treatments (B)	3	0.012 ^{ns}	0.37 ^{**}	0.518 ^{**}
A×B	3	0.019 ^{ns}	0.564 ^{**}	0.547 ^{**}
خطای فرعی Sub error B	12	0.0066	0.0067	0.012
CV (%)		8.47	16.33	7.57

ns و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد

ns and **: Non-significant and significant difference at ($p \leq 0.01$) probability level, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین نخود و کل

Table 5. The mean comparisons for land equivalent ratio of chickpea and total

رژیم آبیاری Irrigation regimes	تیمارهای کشت مخلوط Intercropping treatments	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio	
		LER _{chickpea}	LER _{total}
N	b ₁ C ₁	0.17 ^{cd}	1.18 ^{cd}
	b ₁ C ₂	1.15 ^d	1.20 ^{cd}
	b ₂ C ₁	0.60 ^b	1.55 ^b
	b ₂ C ₂	0.22 ^{cd}	1.20 ^{cd}
S	b ₁ C ₁	0.30 ^c	1.13 ^d
	b ₁ C ₂	1.46 ^a	2.45 ^a
	b ₂ C ₁	0.54 ^b	1.57 ^b
	b ₂ C ₂	0.52 ^b	1.41 ^{bc}
SE		0.08	0.11

N: آبیاری نرمال، S: تنش خشکی در مرحله شیری شدن دانه جو

c₁, c₂, b₁C₁, b₁C₂, b₂C₁ and b₂C₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January intercropping, respectively.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف برای هر صفت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

N: Normal irrigation, S: Drought stress at milk development of barley seed

c₁, c₂, b₁C₁, b₁C₂, b₂C₁ and b₂C₂ were chickpea in mono cropping on December and January, barley on December+chickpea on December, barley on December+chickpea on January, barley on January+chickpea on December, barley on January+chickpea on January intercropping, respectively.

Means with similar letters in each row have not significant difference based on LSD ($p \leq 0.05$) test.

نتیجه‌گیری

کاهش میزان نزولات آسمانی، منابع آب‌های زیرزمینی و همچنین آلوده‌بودن مزارع شهرستان داراب به علف‌های هرز و هزینه بالای استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی، سطح زیرکشت مزارع در منطقه کاهش یافته و باعث آثار تخریبی این مواد بر اکوسیستم‌های زراعی شده است، به همین دلیل تنها راه باقیمانده افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد. استفاده از گونه‌های گیاهی با فنولوژی و خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت که کمترین رقابت را در یک آشیان اکولوژیک ثابت از نظر دریافت عوامل محیطی در مکان و زمان با یکدیگر ایجاد کند، گام مهمی در موفقیت کشت مخلوط در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. استفاده از کشت مخلوط تأخیری به دلیل کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای از طریق استفاده بهینه از عوامل محیطی موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد هر دو گونه زراعی می‌شود. در این آزمایش با توجه به این که تیمار جو آذر+نخود دی‌ماه از میزان عملکرد بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار بود، می‌تواند برای کشت در منطقه داراب توصیه گردد. بنابراین کشت مخلوط تأخیری با ایجاد تنوع در اکوسیستم‌های کشاورزی و همچنین ایجاد پایداری و ثبات تولید می‌تواند در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور چشمگیری مؤثر باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که به‌طور کلی تنش خشکی انتهای فصل باعث کاهش میزان کلروفیل *a* گردید و بیشترین کمترین میزان کاهش آن به‌ترتیب با ۴۶/۶ و ۲۲/۳ درصد در کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی و جو دی+نخود دی‌ماه به دست آمد همچنین تنش خشکی میزان کلروفیل *b* را در همه تیمارها به‌جز نخود دی‌ماه کاهش داد، در صورتی که تنش خشکی باعث افزایش میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردید که بیشترین میزان افزایش آن‌ها به‌ترتیب با ۷۴/۰۴ و ۸۱/۳۶ درصد در کشت‌های مخلوط جو آذر+نخود دی‌ماه و جو آذر+نخود آذرماه به‌دست آمد. تنش خشکی به‌ترتیب باعث افزایش ۵۸ و ۲۵ درصدی LER نخود و کل نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد. در بین تیمارهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه جو و نخود در شرایط تنش خشکی در کشت مخلوط جو آذر+ نخود دی‌ماه به‌دست آمد که می‌تواند علت افزایش عملکرد در این تیمار در شرایط تنش خشکی را افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز بیان کرد. تنش خشکی تعداد غلاف در بوته را به میزان ۱۱/۵ درصد کاهش داد. همچنین بیشترین وزن ۱۰۰۰دانه و پروتئین دانه نخود در شرایط تنش خشکی به ترتیب با ۳۵۴ گرم و ۳۰ درصد در تیمارهای کشت مخلوط جو دی+نخود آذر و جو آذر+نخود آذر به‌دست آمد. با توجه به

منابع

1. Abedi, T., and Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics Plant Breeding 46(1): 27-34.
2. Aebi, H., 1984. Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology 105: 121-126.

3. Alisan, M., Arian, M.A., Khanzada, S., Nagvi, M.H., Lemardahal, M., and Nizamani, N.A. 2005. Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing data and high temperature stress. *Pakistan Journal of Botany* 3: 576-584.
4. Amani Machiani, M., 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: 529-537.
5. Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., and Ganjeali, A. 2010. The effects of drought stress at different phenology stage on morphological traits and yield components of a chickpea (*Cicer arietinum* L.) under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 301-317.
6. Anjum, S.A., Farooq, M., Xie, X.Y., Liu, X.J., and Ijaz, M.F. 2012. Antioxidant defensesystem and proline accumulation enables hot pepper to perform better underdrought *Scientia Horticulturae* 140: 66-73.
7. Argenta, G., Da Silva, P.R.F., and Sangoi, L. 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter predicts nitrogen fertilization in maize. *Ciencia Rural* 34(5): 1379-1387.
8. Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy* 23: 112-121.
9. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghase, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in additive series experiment: advantages and smothering. *Agronomy Journal* 24: 324-332.
10. Bashir, M.U., Akbar, N., Iqbal, A., and Zaman, H. 2010. Effect of different sowing date on yield and yield components of direct seed coarse rice. *Pakistan Journal of Agriculture Science* 74(4): 361-365.
11. Baharloei, S. 2013. Effect of plant competition on nitrogen requirements for pea (*Pisum sativum* L.) and canola (*Brassica napus* L.) intercropping. MSc.Thesis University of Shahrekord, Iran. (In Persian with English Summary).
12. Chapagain, T., and Riseman, A. 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research* 166: 18-25.
13. Chance, B., and Maehly, A.C., 1955. Assay of catalases and peroxidase. *Methods in Enzymology* 2: 764-775.
14. Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H., and Ardakani, M.R. 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Journal of Agronomy Research* 1: 48-60.
15. El-Hawary, N.A. 2009. Formulas for relay intercropping and crop sequence systems evaluation. *Journal of Applied Sciences Research* 5: 2074-2082.
16. FAO. 2017. <http://faostat.Fao.Org>.
17. Grimes, D.W., Yamada, H., and Hughes, S.W. 1987. Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation cheduling. *Agriculture and Water Management* 12: 293-304.
18. Hamzei, J., Seyedi, M., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M.A. 2012. The effect of additive intercropping on weed suppression, yield and yield components of chickpea and barley. *Journal of Crop Production and Processing* 2: 43-56. (In Persian with English Summary).
19. Hui-Ping, D., Chan-juan, S.H., An-Zh, W., and Tuxi, Y. 2012. Leaf senescence and photosynthesis in foxtail (*Sataria italica* L.) varieties exposed to drought conditions. *Australian Journal of Crop Science* 6(2): 232-237.
20. Jalilian, J., Sanawi, A.M., and Sabbaghpour, H. 2005. Effect of plant density and supplementary irrigation on yield and yield components of chickpea cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 12(5): 1-9. (In Persian with English Summary).
21. Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalehgani, B. 2010. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativa* L.) in intercropping with cereals, pulses & medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7(1): 173-182. (In Persian with English Summary).
22. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, M., and Jafari, L. 2014. Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseoluse vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(1): 1-8. (In Persian with English Summary).
23. Lopez-Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, L. 2001. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean condition: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research* 71: 31-46.
24. Lopez-Bellido, F.J., Lopez-Bellido, R.J., Kasem Khalil, S., and Lopez-Bellido, L. 2008. Effect of planting date on winter Kabuli chickpea growth & yield under rainfed Mediterranean conditions. *Journal of Agronomy* 100(4): 954-964.
25. Mahfouz, H., and Migawer, E.A. 2004. Effect of intercropping, weed control treatment and their interaction on yield and its attributes of chickpea and canola. *Egyptian Journal of Applied Science* 19(4): 84-101.

26. Masomi, A., Kafi, M., Khazaei, H.R., and Davari, K. 2010. Effect of drought stress on water status, electrolyte leakage and enzymatic antioxidants of *Kochia (Kochia scoparia)* under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany* 42(5): 3517-3524.
27. Mabudi Bilesuar, H., and Zehtab Salmasi, S. 2017. Evaluation of yield and advantages of corn (*Zea mays* L.) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) intercropping. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 27(1): 1-11.
28. Namdari, M., and Mohmoodi, S. 2013. Evaluation of yield and productivity indices in planting ratios of intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and canola (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Crop Science* 14(4): 346-357. (In Persian with English Summary).
29. Naresh, R.K., Purushottam, S.P., Dwivedi, A., and Kumar, V. 2013. Effects of water stress on physiological processes and yield attributes of different mungbean varieties. *African Journal of Biochemistry Research* 7(5): 55-62.
30. Niksirat, S.H., and Bijanzadeh, E. 2018. Effect of late season drought stress and different combination of intercropping with barley on yield and yield components of chickpea and faba bean. *Iranian Journal of Pulses Research* 9: 177-191. (In Persian with English Summary).
31. Niksirat, H., Biganzadeh, E., and Naderi, R. 2018. Effect of cutting off irrigation on yield and competition and economic Indices of intercropping Barley (*Hordeum* spp.) with legumes. *Journal of Agroecology* 10(2): 444-458. (In Persian with English Summary).
32. Piroozi, B., Hosseini, S.M.B., Mazaheri, D., and Heidari, H., 2012. Evaluation of sowing time and intercropping on vegetative and reproductive traits of bean (*Phaseolus vulgaris*) and biological yield of forage maize (*Zea mays*). *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)* 104: 62-68. (In Persian with English Summary).
33. Pompelli, M.F., Barata-Luís, R., Vitorino, H.S., Gonc, alves, E.R., Rolim, E.V., Santos, M.G., Almeida Cortez, J.S., Ferreira, V.M., Lemos, E.E., and Endres, L. 2010. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass and Bioenergy* 34: 1207-1215.
34. Pooresmaeil, P. 2006. Investigation on the use of super adsorbent polymer in increasing the yield and activity of antioxidant enzymes in different bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress. MSc.Thesis University of Islamic Azad Karaj.
35. Rahbarian, J., and Emam, Y. 2012. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. *Journal of Crops production and Processing* 1(2): 65-78. (In Persian).
36. Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R. 2013. Evaluation of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essence quantity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 43(2): 217-230. (In Persian with English Summary).
37. Sadat Rasti Sani, M., Lahouti, M., and Ganjeali, A. 2014. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research* 5(1): 103-116. (In Persian with English Summary).
38. Sabaghpour, S.H., Sfykhany, M., Pezeshkpur, P., Jahangiri, A., Sarparast, R., Karami, A., Pursyahbydy, M., Shahriari, D., Mahmoudi, F., and Keshavarzi, K. 2010. Azad, a new chickpea cultivars for dryland moderate and semi warm climate of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 26(2): 293-295. (In Persian with English Summary).
39. Safari, M., Malekzadeh Shafaroudi, S., Ganjeali, A., and Bagheri, A. 2011. Study of root & shoot characteristics in reaction to drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Pulses Research* 2: 39-52. (In Persian with English Summary).
40. Shaker-Koochi, S., Nasrollahzadeh, S., and Raei, Y. 2014. Evaluation of chlorophyll value, protein content and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.)-mungbean (*Vigna radiate* L.) intercropping. *International Journal of Biosciences* 4(8): 136-143.
41. Stolz, E., and Nadeau, E. 2014. Effect of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N inorganically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 169: 21-29.
42. Zadeh-Bagheri, M., Javanmardi, S.h., Alozadeh, O., and Kamelmanesh, M.M. 2014. Effects of drought on grain yield and some physiological characteristics of red bean genotypes. *Journal of Plant Ecophysiology* 6(18): 2-11 (In Persian with English Summary).
43. Zadokes, J.C., Chang, T.T., and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.

Effect of relay intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with barley (*Hordeum vulgare* L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress

Mohavieh Assadi¹, N., Bijanzadeh^{2*}, E., Behpouri³, A & Barati³, V.

1. MSc. Student, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University; negin.asadi2020@gmail.com
2. Associate Professor, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University
3. Assistant Professor, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University; (ali.behpouri@gmail.com & vahid.barati.s@gmail.com, respectively)

Received: 6 January 2019
Accepted: 2 June 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78361

Introduction

Intercropping is an old cropping practices, possibly as old as the settled agriculture, and is widespread especially in low-input cropping systems. One of the most popular intercropping practices is the cultivation of certain annual legumes with cereals. Intercropping of two or more crop species not only improves yield on a given land area by making more efficient use of the available growth resources but also enhances biological activities in the soil and suppresses weeds, pests and diseases. Intercropping of barley and chickpea improves the use of plant growth resources, i.e. species do not compete precisely for the same niches. Relay intercropping refers to a cropping system in which the lifecycle of one crop overlaps that of another crop. Usually the second crop is planted after the first crop has reached its reproductive stage of growth but before it is ready for harvest. The purpose of this experiment was to detect the most suitable intercropping system and appropriate planting dates for chickpea and barley for sustainable production of these plants under water stress conditions at late growing season.

Material and Methods

An experiment was carried out as a factorial split plot based on randomized complete block design with three replications at College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University during 2017-2018 growing season. The cropping systems included of two factors. The main plot was two water regimes including cutting off irrigation at the beginning of milk development stage and normal irrigation. Sub plot was 8 relay intercropping ratios as additive series consisted of monoculture of Zehak six-rowed barley cultivar (b), monoculture of Darab chickpea cultivar (c) cultivation of barley on December (b₁), cultivation of barley on January (b₂), cultivation of chickpea on December (c₁), cultivation of chickpea on January (c₂) and different combinations of relay intercropping consisted of cultivation of barley on December+chickpea on December (b₁c₁), cultivation of barley on December+chickpea on January (b₁c₂), cultivation of barley on January+chickpea on December (b₂c₁) and cultivation of barley on January+chickpea on January (b₂c₂) with a ratio of 1:1. Two weeks after drought stress the traits of chlorophyll *a*, *b*, catalase, peroxidase, were measured and at crop maturity, plants were hand harvested to measure biological yield, yield and yield components including number of pods/plant, number of seed/plant, 1000-seed weight, grain protein and land equivalent ratio. Finally, analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS v. 9.4 software and the means compared by LSD test at 5 % probability level ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

Analysis of variance showed that late season drought stress had a significant effect on all plant traits except the number of seed/pod, 1000-seed weight and chickpea seed protein. In chickpea drought stress reduced the amount of chlorophyll *a* in all treatments and minimum amount of chlorophyll *a* was achieved in intercropping of barley on January. Also drought stress reduced the amount of chlorophyll *b* in all treatments

*Corresponding Author: bijanzd@shirazu.ac.ir

except for the cultivation of chickpea on January. Interestingly, drought stress increased the amount of catalase (74.04%) and peroxidase enzymes (81.36%) in intercropping of barley on December+chickpea on January and barley on December+chickpea on December, respectively. Water stress increased 58% and 25% land equivalent ratio chickpea and total compared to the normal irrigation conditions. Finally, the maximum seed yield was obtained under drought stress conditions in barley on December+chickpea on January intercropping.

Conclusion

The result of this study showed that in general, late season drought stress reduced the amount of chlorophyll *a* and the maximum and minimum amount of reduction was 46.6 and 22.3% in intercropping barley on December+chickpea on January and barley on January+chickpea on January, respectively. Also drought stress reduced the amount of chlorophyll *b* in all treatments except chickpea on January, while drought stress increased the amount of catalase and peroxidase enzymes with the maximum increase of 74.04 and 81.36% intercropping barley on December+chickpea on January and barley on December+chickpea on December respectively. In this experiment, in barley on December+chickpea on January intercropping treatment, drought stress increased 58% and 25% land equivalent ratio of chickpea and total compared to the normal irrigation conditions, respectively. The results can be recommended for intercropping in some areas. Therefore, relay intercropping can greatly increase the economic efficiency and productivity of agricultural land use.

Keywords: Chlorophyll *a*, Cutting off irrigation, Peroxidase, Six-rowed barley

اثر رقابت و سطوح مس بر وزن خشک گیاهچه و غلظت عناصر مس، فسفر، پتاسیم و منیزیم در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)

سمیه بیات^۱، گودرز احمدوند^{۲*} و علی سپهری^۲

۱- دانشجوی دکتری رشته علوم علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران؛
s.bayat64@gmail.com

۲- دانشیار زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران؛
(به ترتیب gahmadvand@basu.ac.ir و a_sepohri@basu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۲

چکیده

به منظور درک کافی از میزان جذب عنصر مس و تجمع سایر عناصر توسط گیاه لوبیا و علف‌هرز تاج‌خروس در غلظت‌های مختلف مس، آزمایشی به صورت آب‌کشت (هیدروپونیک)، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت مس در سه سطح ۱، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس (CuSO_4) و مخلوط جایگزینی لوبیا (B) و تاج‌خروس (P) با نسبت‌های ۱۰۰ درصد لوبیا+۰ درصد تاج‌خروس (1B: 0P)، ۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد تاج‌خروس (0.75B: 0.25P)، ۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد تاج‌خروس (0.5B: 0.5P)، ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد تاج‌خروس (0.25B: 0.75P) و ۰ درصد لوبیا+۱۰۰ درصد تاج‌خروس (0B: 1P) بود. نتایج نشان داد در غلظت ۱ میکرومولار سولفات مس، غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس در نسبت جایگزینی (0.25B: 0.75P) به ترتیب به میزان ۷ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا کاهش و در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس به ترتیب به میزان ۱۰ و ۱۵ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا، افزایش نشان داد. در غلظت ۲۵ میکرومولار سولفات مس، غلظت فسفر و منیزیم در ریشه لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25B: 0.75P به ترتیب به میزان ۱۷ و ۱۸ درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار، به میزان ۲۱ و ۲۶ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافت. در شرایط فزونی مس، همجواری علف‌هرز تاج‌خروس با لوبیا سبب کاهش آلودگی لوبیا به مس و ایجاد تعادل در جذب عناصر ضروری گیاه لوبیا شد. جذب فلز مس توسط علف‌هرز تاج‌خروس، سبب بهبود رشد لوبیا تحت شرایط فزونی مس شد. بنابراین مدیریت اکولوژیکی گیاهان تجمع‌دهنده فلز مس نظیر تاج‌خروس ریشه‌قرمز در مقابل ریشه‌کن کردن این علف‌هرز، در مزارع لوبیای دارای آلودگی مس، راهکار مناسبی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: علف‌هرز، عناصر غذایی، فلز سنگین

مقدمه

در مقدار زیاد برای گیاه سمیت ایجاد می‌کنند (Wuana & Okieimen, 2011). مس نیز از این قاعده مستثنی نیست و گرچه در فرایندهای متابولیکی مختلف نقش مهمی ایفا می‌کند، ولی در غلظت‌های بالا برای گیاهان و حیوانات سمی است (Gaetke & Chow, 2003).

همچنین فزونی فلز مس بر جذب سایر عناصر غذایی تأثیرگذار می‌باشد (Ke et al., 2007). عدم تعادل عناصر غذایی، منجر به بروز علائم سمیت فلزات سنگین در گیاهان می‌شود. در مقایسه با سایر عناصر از جمله منگنز، روی و یا عناصر غیرضروری نظیر کادمیم، سمیت ناشی از افزایش فلز مس برای گیاهان بیشتر می‌باشد (Gajewska & Sklodowska, 2010; Dresler et al., 2014). حلالیت مس به pH و مقدار ماده آلی خاک بستگی داشته (Bravin et al.,

فعالیت‌های طبیعی و انسانی نظیر استخراج معادن، عملیات کشاورزی و تخلیه فاضلاب‌ها منابع اصلی افزایش فلز مس در خاک می‌باشند. خاک‌های کشاورزی، اغلب مقدار قابل توجهی از فلز مس (Cu) را به دلیل آلودگی محیط‌زیست و فعالیت‌های انسانی دریافت می‌کنند (Mico et al., 2006). علاوه بر این، استفاده بیش از حد از قارچ‌کش‌ها، باکتری‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها برای کنترل آفات و بیماری‌ها، سبب افزایش فلز مس در لایه سطحی خاک‌های کشاورزی شده است (Michaud et al., 2007). مس همچنین یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای تغذیه گیاهان می‌باشد. عناصر کم مصرف

*نویسنده مسئول: gahmadvand@basu.ac.ir

آلوده به فلز روی، ۳۰ درصد افزایش داد (Whiting et al., 2001).

روند صنعتی شدن کشور، احتمال افزایش آلودگی به فلزات سنگین را دوچندان کرده است. در این شرایط، محافظت از گیاهان زراعی و کاهش آلودگی محصولات و فرآورده‌های گیاهی، از طریق راهکارهای زیست‌بوم سازگار، یکی از رسالت‌های مراکز علمی و اجرایی مرتبط با بخش کشاورزی می‌باشد. یکی از این راهبردها می‌تواند استفاده از قابلیت پالایش فلزات سنگین توسط گیاهان هرز باشد. بر همین اساس، نظر به این که گیاه لوبیا، نسبت به زیادی مس در خاک، از حساسیت بالایی برخوردار است و از طرفی علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز به عنوان یکی از علف‌های هرز اختصاصی در مزارع لوبیا (Horak & Loughin, 2000)، از قابلیت جذب و تجمع عنصر مس برخوردار است، پژوهش حاضر به منظور بررسی رقابت لوبیا و تاج‌خروس تحت شرایط فزونی مس و بررسی امکان کاهش آلودگی لوبیا به این عنصر از طریق خاصیت تجمع‌دهندگی علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های ۱، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس (CuSO_4) (Bouazizi et al., 2010) و مخلوط جایگزینی لوبیا (B) و تاج‌خروس (P) با نسبت‌های ۱۰۰ درصد لوبیا+۰ درصد تاج‌خروس (1B: 0P)، ۷۵ درصد لوبیا+۲۵ درصد تاج‌خروس (0.75B: 0.25P)، ۵۰ درصد لوبیا+۵۰ درصد تاج‌خروس (0.5B: 0.5P)، ۲۵ درصد لوبیا+۷۵ درصد تاج‌خروس (0.25B: 0.75P) و ۰ درصد لوبیا+۱۰۰ درصد تاج‌خروس (0B: 1P) بود. تراکم بوته لوبیا و تاج‌خروس در کشت خالص معادل چهار بوته در گلدان در نظر گرفته شد. آزمایش به صورت آب‌کشت (هیدروپونیک) اجرا گردید و از محلول غذایی هوگلند (Bouazizi et al., 2010) برای تغذیه گیاهان استفاده شد. از گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر (ظرفیت حدود شش کیلوگرم) استفاده شد. از پمپ هوا مدل ACO-010 برای هوادهی محلول استفاده شد. محلول غذایی هر پنج روز یکبار تعویض گردید. دمای گلخانه در طول روز و شب به ترتیب معادل 30 ± 2 و 16 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی معادل ۷۰ درصد و میزان تشعشع در گلخانه، ۸۰۰ فوتون بر متر مربع در ثانیه بود. دوره روشنایی و تاریکی به ترتیب معادل ۱۴ و ۱۰ ساعت بود و کمبود نور توسط

و در pH کمتر از ۶، قابلیت دسترسی آن برای گیاه افزایش می‌یابد (Brun et al., 2001). از سوی دیگر گیاهان تیره بقولات (Fabaceae) با افزایش نیتрат خاک، فراهمی فلزات سنگین را در خاک افزایش می‌دهند (Li et al., 2001). سیستم ریشه‌ای گیاهان زراعی در تماس با سیستم ریشه ای گیاهان مجاور (اعم از گیاه زراعی یا علف‌هرز) در مقایسه با کشت خالص گیاهان زراعی، دارای ویژگی‌های متفاوت از نظر جذب فلزات سنگین می‌باشد (Ashrafi et al., 2015). موقعیت موضعی محیط ریشه^۱ علف‌های هرز تجمع‌دهنده فلزات سنگین، ممکن است جذب فلزات توسط گیاهان زراعی مجاور را در مزارع آلوده، تحت تأثیر قرار دهد. علف‌های هرز تجمع‌دهنده فلزات، با کاهش و یا تخلیه فلزات از محیط ریشه گیاهان مجاور، سبب مصونیت این گیاهان در مقابل سمیت فلزات می‌شوند (Su et al., 2008).

رقابت بین گیاهان علاوه بر منابع ضروری رشد، برای مواد سمی نیز وجود دارد (Hoffman & Lavy, 1978). در مقایسه با گیاهان زراعی، علف‌های هرز در شرایط محیطی نامساعد محیطی مقاوم‌تر می‌باشند و ظرفیت بالایی برای جذب آب و عناصر غذایی دارند (Wei & Zhou, 2006).

(Zimdahl, 2007) به خصوصیات ارزشمند علف‌های هرز از لحاظ منبع غذایی، دارویی، کشاورزی، زینتی و کنترل آلودگی، اشاره کرده است. ویژگی جذب فلزات سنگین توسط برخی از علف‌های هرز، یکی از خصوصیات بسیار سودمند و مفید این گیاهان می‌باشد (Zimdahl, 2007). قابلیت جذب بالای فلزات سنگین در گیاهان خانواده تاج‌خروس (Amaranthaceae) گزارش شده است (Bigaliev et al., 2003). برای مثال، در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays*) و تاج‌خروس (*Amaranthus paniculatus*) در خاک آلوده به کادمیم، ۶۰ روز پس از کاشت، غلظت کادمیم در ریشه ذرت در مقایسه با شاهد (تک‌کشتی ذرت) کاهش معنی‌داری داشت (Li et al., 2009). در پژوهش مذکور مشخص شد، تاج‌خروس یک گیاه تجمع‌دهنده کادمیم بوده و جذب کادمیم در گیاه اصلی (ذرت) را به‌طور معنی‌داری کاهش داده است. همچنین ماده خشک ذرت همراه با تاج‌خروس، کاهش معنی‌داری نسبت به تک‌کشتی ذرت نداشت. در بررسی اثرات همجواری دو گونه گیاه کیسه‌چوپان مشخص شد که همجواری گونه *Thlaspi caerulescens* (گونه تجمع‌دهنده فلز سنگین) وزن خشک گونه *Thlaspi arvense* (گونه غیرتجمع‌دهنده) را در خاک

نسبت به کشت خالص لوبیا (شاهد) کاهش یافت. در غلظت ۵۰ میکرومولار سولفات مس، غلظت مس در ریشه لوبیا در کشت خالص ۱/۵۶، در نسبت جایگزینی 0.25P: 0.75B، ۱/۳۵، در نسبت 0.5P: 0.5B، ۱/۱۵ و در نسبت 0.25B: 0.75P، ۰/۹۷ میلی گرم بر گرم ماده خشک بود (جدول ۲).

رقابت درون و برون گونه‌ای، بر جذب فلزات سنگین توسط گیاهان تأثیر می‌گذارد (Bruce, 2001). برای مثال کشت مخلوط گیاه *Cunninghamia lanceolata* و چای، غلظت فلزاتی نظیر سرب، نیکل، منگنز و روی را در برگ‌های گیاه چای کاهش داده است (Xue & Fei, 2006). روابط مثبت بین گیاهان (تسهیل) در شرایط تنش غیرزنده شدید، گزارش شده است (Lortie & Callaway, 2006) و شدت اثرات تسهیل‌کنندگی با افزایش تنش، افزایش می‌یابد (Callaway et al., 2002).

در غلظت ۱ میکرومولار مس، مقدار مس در ریشه تاج خروس، در کشت خالص، ۰/۴۱ میلی گرم بر گرم ماده خشک بود و با افزایش تعداد بوته لوبیا در نسبت 0.25P: 0.75B، به ۰/۵۹ میلی گرم بر گرم ماده خشک رسید. در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، مقدار مس در ریشه تاج خروس، در نسبت 0.25P: 0.75B، به ترتیب ۵۲ و ۵۵ درصد نسبت به کشت خالص تاج خروس، افزایش یافت. در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت مس در برگ لوبیا در نسبت جانشینی 0.25B: 0.75P، به ترتیب به میزان ۲۴ و ۳۱ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا (شاهد) کاهش نشان داد (جدول ۴).

اولین خسارت سمیت مس، به غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه وارد می‌شود (Woolhouse, 1983). به همین دلیل، رشد ریشه بیشتر از سایر اندام‌ها تحت تأثیر فراوانی مس قرار می‌گیرد. در همه سطوح آلودگی مس، غلظت مس در برگ گیاه لوبیا، با افزایش تعداد بوته تاج خروس در گلدان، نسبت به کشت خالص لوبیا، کاهش یافت. در هر سه تیمار غلظت مس، غلظت مس در برگ گیاه تاج خروس در کشت خالص، نسبت به سایر نسبت‌های جایگزینی، کمتر بود (جدول ۴).

پتاسیم

اثر سطوح مس، نسبت‌های جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها، بر غلظت پتاسیم در ریشه و برگ تاج خروس و اثر سطوح مس، و اثر متقابل سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت پتاسیم در ریشه و برگ لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). با افزایش غلظت مس در محلول غذایی، غلظت پتاسیم در هر دو گیاه لوبیا و تاج خروس کاهش یافت. در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج

لامپ‌های بخارسدیم، تأمین شد. بذور لوبیاقرمز (رقم درخشان) پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۳ درصد، بین دو لایه کاغذ صافی مرطوب داخل پتری‌دیش، در تاریکی به مدت سه روز برای جوانه‌زنی قرار گرفته و پس از جوانه‌زنی به لوله‌های آزمایش حاوی محلول یک چهارم هوگلند، منتقل شدند. گیاهچه‌های تاج خروس نیز پس از جوانه‌زنی و استقرار اولیه در کوکوپیت و پرلیت، بعد از ۱۵ روز به طور همزمان با گیاهچه های لوبیا، به گلدان منتقل شدند. تیمار مس پس از انتقال گیاهان به داخل گلدان، در محلول غذایی هوگلند، اعمال شد. ۳۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌ها و اعمال تیمار غلظت های مس، نمونه‌برداری از گیاهان، برای تعیین صفات مورد نظر انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها، قسمت‌های مختلف گیاهان لوبیا و تاج خروس شامل برگ، ساقه و ریشه، بعد از تفکیک، به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. غلظت عناصر مس، منیزیم، پتاسیم و فسفر در ریشه و برگ گیاهان لوبیا و تاج خروس اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر مس و منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN-SpectraAA 220 و پتاسیم نیز با دستگاه فلیم‌فتومتر مدل فاطر الکترونیک، اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cary 100 با قرائت در طول موج ۴۳۰ نانومتر، اندازه‌گیری گردید. فاکتور انتقال فلز مس^۱ (TF) نیز از تقسیم غلظت مس در برگ بر غلظت مس در ریشه، به‌دست آمد (Barman et al., 2000).

TF=

غلظت مس در ریشه (میکرو گرم بر گرم) / غلظت مس در برگ (میکرو گرم بر گرم)
تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار var 9.1 SAS، انجام گردید. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. در مواردی که اثر متقابل تیمارها معنی‌دار بود، برش‌دهی (Slicing) برهم‌کنش فاکتورها در غلظت‌های متفاوت مس، انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت مس

اثر سطوح مس، نسبت‌های جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها، بر غلظت مس در ریشه و برگ لوبیا و تاج خروس معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). در تمامی سطوح مس، همجواری تاج خروس با لوبیا سبب کاهش غلظت مس در گیاه لوبیا شد. در تیمار ۲۵ میکرو مولار سولفات مس، غلظت مس در ریشه لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25P: 0.75B، ۸ درصد، در نسبت 0.5B: 0.5P، ۲۴ درصد و در نسبت 0.25B: 0.75P معادل ۳۲ درصد،

1. Translocation factor

در برگ ۱۱ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش نشان داد (جدول ۲ و ۴).

در غلظت ۵۰ میکرومولار مس، در تیمار 0.25B: 0.75P، غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا به ترتیب به میزان ۲۱ و ۱۸ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافت. در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه و برگ تاج خروس در کشت خالص بیشتر از سایر نسبت‌های جایگزینی بود (جدول ۲ و ۴). کاهش غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه *Arabidopsis thaliana* در تیمار ۲/۵ و ۵ میکرومولار مس گزارش شده است (Lequeux et al., 2010). به دلیل خاصیت انتخابی کمتر ناقل‌هایی که سبب انتقال فلزات به سیتوپلاسم می‌شوند (Kramer et al., 2007)، فزونی مس در محلول غذایی، سبب رقابت بین یون‌های مس و دیگر یون‌ها در محل فعال می‌گردد (Lequeux et al., 2010). فزونی مس سبب کاهش فعالیت فسفاتاز و در نتیجه کاهش غلظت فسفر می‌شود (Tyler, 1976).

منیزیم

اثر سطوح مس، نسبت‌های جایگزینی و اثر متقابل آن‌ها، بر غلظت منیزیم در ریشه و برگ تاج‌خروس و اثر سطوح مس، و اثر متقابل سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت منیزیم در ریشه و برگ لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت منیزیم در ریشه و برگ لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25B: 0.75P، به ترتیب به میزان ۸ و ۱۱ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا، کاهش و در غلظت ۲۵ میکرومولار مس، به ترتیب ۱۸ و ۱۱ درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار مس، به ترتیب به میزان ۲۶ و ۱۲ درصد افزایش یافت. در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت منیزیم در ریشه و برگ تاج‌خروس با افزایش تعداد بوته لوبیا به ترتیب به میزان ۱۲ و ۶ درصد افزایش و در غلظت ۲۵ میکرومولار مس، به ترتیب به میزان ۱۴ و ۱۰ درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار مس، به ترتیب ۱۸ و ۱۳ درصد کاهش یافت. کاهش در غلظت منیزیم در گیاه مو (*Vitis vinifera* L.) در شرایط فزونی مس، گزارش شده است (Cambrolle et al., 2013). منیزیم نقش مهمی در فعالیت‌های فتوسنتزی و نگهداری دستگاه فتوسنتزی دارد (Maathuis, 2009). کاهش منیزیم در تیمار فزونی مس به دلیل اثرات غیراختصاصی مس بر جذب و انتقال یون در نتیجه اختلال در وظایف ریشه (نشت غشاء، کاهش جذب یون و بارگیری آوند چوب) می‌باشد (Kopittke & Menzies, 2006).

خروس کاهش یافت. در غلظت ۲۵ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا، در نسبت‌های جایگزینی 0.75B:0.25P، 0.5B:0.5P و 0.25B: 0.75P، به ترتیب ۳، ۸ و ۱۰ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا، افزایش یافت. این افزایش در غلظت ۵۰ میکرومولار مس برای همه نسبت‌های جایگزینی بیشتر از غلظت ۲۵ میکرومولار مس بود، به طوری که غلظت پتاسیم در ریشه لوبیا، در نسبت‌های جایگزینی مذکور به ترتیب ۹، ۱۲ و ۱۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در غلظت ۱ میکرومولار مس، تاج‌خروس در کشت خالص، مقدار پتاسیم کمتری در ریشه خود نسبت به سه نسبت جایگزینی دیگر داشت؛ در صورتی که در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در ریشه تاج‌خروس در کشت خالص، بیشتر بود (جدول ۲). در سطح یک میکرومولار مس، با افزایش تراکم نسبی تاج‌خروس، از غلظت پتاسیم در برگ لوبیا کاسته شد به طوری که در نسبت 0.25B: 0.75P، غلظت پتاسیم در برگ لوبیا به میزان ۵ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا کاهش نشان داد. اما در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس، روند معکوس بود به نحوی که در نسبت 0.25B: 0.75P، غلظت پتاسیم در برگ لوبیا به ترتیب به میزان ۷ و ۱۰ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا (شاهد) افزایش نشان داد. در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت پتاسیم در برگ تاج‌خروس در کشت خالص کمتر و در غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سولفات مس، بیشتر از سایر نسبت‌های جایگزینی بود (جدول ۴). در تحقیق Bouazizi et al., (2010) نیز کاهش غلظت پتاسیم در برگ‌های لوبیا در تیمار فزونی مس گزارش شده است. کاهش پتاسیم یکی از اثرات ثانویه کاهش آهن در اثر آلودگی مس می‌باشد (Hall, 2002).

فسفر

اثر سطوح مس، و اثر متقابل سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا و تاج‌خروس معنی‌دار بود (جدول ۱ و ۳). در غلظت ۱ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس در گلدان نسبت به کشت خالص، کاهش و در تاج‌خروس با افزایش تعداد بوته لوبیا، افزایش نشان داد. در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه و برگ لوبیا و تاج‌خروس نسبت به غلظت ۱ میکرومولار مس، کاهش یافت. در غلظت ۲۵ میکرومولار مس، غلظت فسفر در ریشه لوبیا در نسبت جایگزینی 0.25B: 0.75P، ۱۷ درصد و

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دُز مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز

Table 1. Analysis of variance (Mean of squares) for the effects of copper doses and replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the roots of common bean and redroot pigweed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	غلظت مس		غلظت پتاسیم		غلظت فسفر		غلظت منیزیم	
		Cu concentration		K concentration		P concentration		Mg concentration	
		لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس
		Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed
غلظت مس Cu dose (Cu)	2	5300473.38**	36407786.61**	439552049.1**	728587357**	755522228.8**	361624285.7**	7826118.86**	51313951.3**
نسبت مخلوط									
جانشینی Replacement (R)	3	87529.28**	740805.38**	4107993 ^{ns}	12887426**	486516.8 ^{ns}	1004981.3 ^{ns}	244204.24**	234991.4**
اثر متقابل Cu × R	6	54380.56**	348950.58**	10284482.7**	18316796**	3398982.6**	3840656.6**	302399.05**	888649.8**
اشتباه									
آزمایشی Error	24	724.99	2796.22	1731306.6	919017	279330.1	768062.9	13138.30	10369
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.37	3.55	3.48	2.02	4.36	4.38	2.54	1.39

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

ns, and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively

جدول ۲- اثر نسبت‌های جایگزینی بر غلظت عناصر مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز در سطوح مس به صورت برش‌خورده (تجزیه شده در قالب طرح کاملاً تصادفی)

Table 2. Mean comparisons for the effect of replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the bean and pigweed roots under different copper doses (Analyzed based on a completely randomized design)

غلظت مس Cu doses (μM)	نسبت‌های جانشینی Replacement intercropping ratios	غلظت مس		غلظت پتاسیم		غلظت فسفر		غلظت منیزیم	
		Cu concentration mg/g DW		K concentration mg/g DW		P concentration mg/g DW		Mg concentration mg/g DW	
		لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس
		Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed
1	1B: 0P	0.031 ^a	-	45.90 ^a	-	15.83 ^a	-	5.55 ^a	-
	0.75B: 0.25P	0.028 ^a	0.059 ^a	44.57 ^{ab}	57.60 ^a	14.98 ^a	27.10 ^a	5.31 ^b	10.12 ^a
	0.5B: 0.5P	0.025 ^a	0.051 ^a	43.08 ^b	56.06 ^{ab}	14.0 ^b	26.00 ^{ab}	5.19 ^{bc}	9.75 ^b
	0.25B: 0.75P	0.021 ^a	0.046 ^a	42.77 ^b	55.0 ^{bc}	13.60 ^b	25.66 ^b	5.09 ^c	9.40 ^c
	0B: 1P	-	0.041 ^a	-	53.69 ^c	-	24.65 ^b	-	9.03 ^d
25	1B: 0P	0.25 ^a	-	35.20 ^c	-	11.0 ^c	-	4.12 ^c	-
	0.75B: 0.25P	0.23 ^{ab}	1.20 ^a	36.30 ^{bc}	42.96 ^d	11.90 ^b	18.21 ^b	4.51 ^b	6.32 ^d
	0.5B: 0.5P	0.19 ^{bc}	1.09 ^b	37.90 ^{ab}	45.31 ^c	12.7 ^{ab}	18.60 ^b	4.65 ^b	6.51 ^c
	0.25B: 0.75P	0.17 ^c	0.89 ^c	38.71 ^a	47.17 ^b	12.90 ^a	19.17 ^{ab}	4.88 ^a	7.05 ^b
	0B: 1P	-	0.79 ^d	-	49.03 ^a	-	20.22 ^a	-	7.37 ^a
50	1B: 0P	1.56 ^a	-	29.41 ^b	-	8.50 ^b	-	3.17 ^c	-
	0.75B: 0.25P	1.35 ^b	4.15 ^a	31.97 ^a	37.11 ^d	9.43 ^a	14.05 ^b	3.60 ^b	5.02 ^d
	0.5B: 0.5P	1.15 ^c	3.78 ^b	32.91 ^a	39.10 ^c	10.10 ^a	14.40 ^b	3.91 ^a	5.32 ^c
	0.25B: 0.75P	0.97 ^d	3.09 ^c	33.85 ^a	41.01 ^b	10.31 ^a	15.09 ^{ab}	4.01 ^a	5.70 ^b
	0B: 1P	-	2.67 ^d	-	43.31 ^a	-	16.42 ^a	-	6.10 ^a

در هر کدام از سطوح مس و در هر ستون، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز

At each copper level and each column, means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level.

B: bean, P: redroot pigweed

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مس و نسبت‌های جایگزینی، بر غلظت مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در برگ لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز

Table 3. Analysis of variance (Mean of squares) for the effects of copper doses and replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the leaf of common bean and redroot pigweed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	غلظت مس		غلظت پتاسیم		غلظت فسفر		غلظت منیزیم	
		Cu concentration		K concentration		P concentration		Mg concentration	
		لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس
		Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed
غلظت مس Cu dose (Cu)	2	5656.60**	106648.3**	126219897.7**	226892182.5**	21303501.48**	70585483.1**	3363293.10**	18927512.22**
نسبت مخلوط جانشینی Replacement (R)	3	197.13**	2421.59**	1195289.4 ^{ns}	2890495.6*	405366.44 ^{ns}	494924.9 ^{ns}	26087.96 ^{ns}	100893.20**
اثر متقابل Cu × R	6	47.74**	944.76**	2901123*	4768382.3**	846536.59**	1161090.5**	191495.86**	209730**
اشتباه Error	24	12.55	103.33	1099560.9	630610.9	208686.17	175869.9	14807.60	15554.23
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.68	9.33	3.68	1.94	4.88	3.33	2.91	2.25

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

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- اثر نسبت‌های جایگزینی بر غلظت عناصر مس، پتاسیم، فسفر و منیزیم در برگ لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز در سطوح مس به صورت برش‌خورده (تجزیه شده در قالب طرح کاملاً تصادفی)

Table 4. Mean comparisons of the effect of replacement intercropping ratios on the concentration of copper, potassium, phosphorus and magnesium in the bean and pigweed leaves under different copper doses (Analyzed based on a completely randomized design)

سطوح مس Cu dose (μM)	نسبت‌های جانشینی Replacement intercropping ratios	غلظت مس		غلظت پتاسیم		غلظت فسفر		غلظت منیزیم	
		Cu concentration (mg/g DW)		K concentration (mg/g DW)		P concentration (mg/g DW)		Mg concentration (mg/g DW)	
		لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس	لوبیا	تاج‌خروس
		Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed	Bean	Pigweed
1	1B: 0P	0.013 ^a	-	32.69 ^a	-	11.00 ^a	-	5.01 ^a	-
	0.75B: 0.25P	0.013 ^a	0.019 ^a	32.00 ^{ab}	46.21 ^a	10.71 ^{ab}	15.70 ^a	4.82 ^a	7.03 ^a
	0.5B: 0.5P	0.011 ^a	0.018 ^a	31.48 ^{ab}	45.80 ^a	10.31 ^{ab}	15.40 ^a	4.61 ^b	6.99 ^{ab}
	0.25B : 0.75P	0.011 ^a	0.018 ^a	30.88 ^b	45.01 ^{ab}	10.11 ^b	15.01 ^{ab}	4.47 ^b	6.80 ^{bc}
	0B: 1P	-	0.016 ^a	-	44.20 ^b	-	14.60 ^b	-	6.60 ^c
25	1B: 0P	0.037 ^a	-	27.35 ^b	-	9.00.5B	-	3.90 ^b	-
	0.75B: 0.25P	0.035 ^{ab}	0.116 ^a	28.00 ^{ab}	39.31 ^c	9.41 ^{ab}	11.52 ^c	4.00 ^b	5.11 ^c
	0.5B: 0.5P	0.030 ^{bc}	0.108 ^{ab}	28.61 ^{ab}	40.20 ^{bc}	9.90 ^a	12.00 ^{bc}	4.26 ^a	5.30 ^{bc}
	0.25B : 0.75P	0.028 ^c	0.099 ^{bc}	29.34 ^a	41.07 ^{ab}	10.00 ^a	12.40 ^{ab}	4.35 ^a	5.40 ^b
	0B: 1P	-	0.088 ^c	-	42.15 ^a	-	12.80 ^a	-	5.70 ^a
50	1B: 0P	0.065 ^a	-	24.11 ^b	-	7.20 ^c	-	3.44 ^c	-
	0.75B: 0.25P	0.060 ^a	0.24 ^a	24.98 ^{ab}	38.31 ^a	7.68 ^{bc}	9.73 ^c	3.60 ^{bc}	4.11 ^c
	0.5B: 0.5P	0.050 ^b	0.205B	25.50 ^{ab}	37.02 ^{ab}	8.23 ^{ab}	10.75 ^{bc}	3.79 ^{ab}	4.20 ^{bc}
	0.25B : 0.75P	0.045 ^b	0.19 ^c	26.53 ^a	36.01 ^{bc}	8.50 ^a	10.54 ^{ab}	3.86 ^a	4.41 ^b
	0B: 1P	-	0.16 ^d	-	35.12 ^c	-	11.20 ^a	-	4.72 ^a

در هر کدام از سطوح مس و در هر ستون، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز

At each copper level and each column, means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level. B: bean, P: redroot pigweed

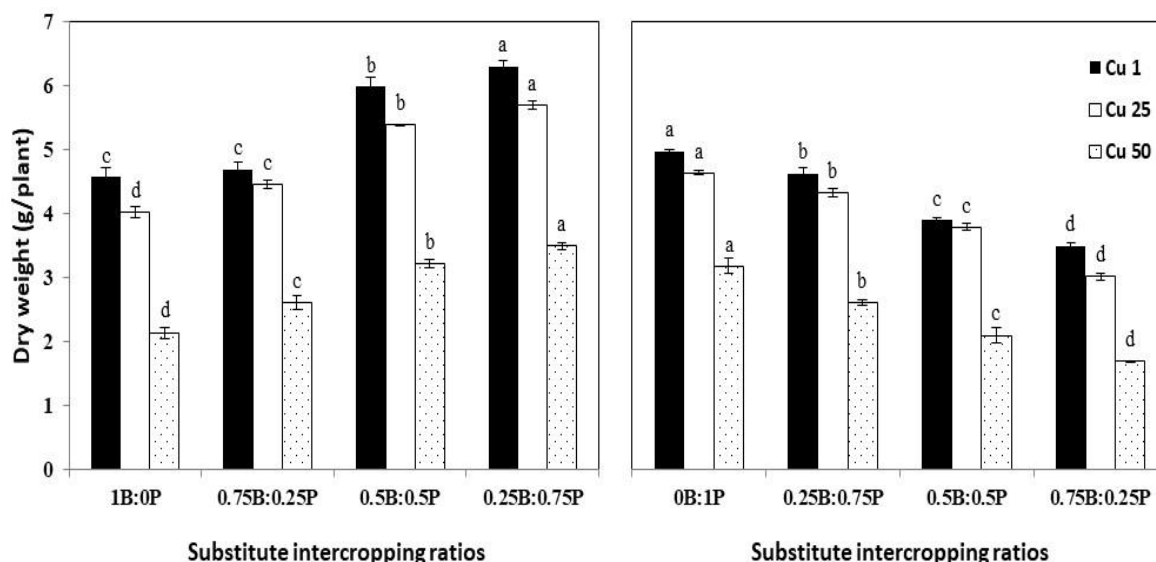
ماده خشک لوبیا و تاج‌خروس

در همه غلظت‌های سولفات مس، ماده خشک تک‌بوته لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس، افزایش یافت (شکل ۱). ولی این افزایش در غلظت ۵۰ میکرومولار مس بیشتر بود، به طوری که در غلظت‌های ۱، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار مس، در نسبت جانشینی 1B: 0.75P، ماده خشک لوبیا به ترتیب ۳۸، ۴۱ و ۶۳ درصد نسبت به کشت خالص لوبیا افزایش یافت. به نظر می‌رسد رقابت درون گونه‌ای لوبیا بیشتر از رقابت بین گونه ای بوده است. در غلظت ۱ میکرومولار مس، میزان افزایش وزن خشک تک‌بوته لوبیا با افزایش تعداد بوته تاج‌خروس نسبت به کشت خالص لوبیا در نسبت 0.25B: 0.75P، ۳ درصد، در نسبت 0.5B: 0.5P، ۳۱ درصد و در نسبت 0.25B: 0.75P، ۳۸ درصد بود. در غلظت ۲۵ میکرومولار مس این افزایش برای نسبت‌های فوق به ترتیب به میزان ۱۱، ۳۴ و ۴۱ درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار مس به ترتیب معادل ۲۲، ۵۰ و ۶۳ درصد بود. در کشت خالص لوبیا و تاج‌خروس نیز با افزایش غلظت مس، متوسط وزن خشک تک‌بوته لوبیا و تاج‌خروس، کاهش یافت. این کاهش در تاج‌خروس کمتر بود. در هر سه غلظت مس، وزن خشک تک‌بوته تاج‌خروس با افزایش تعداد بوته لوبیا، کاهش یافت، به طوری که در غلظت ۱ میکرومولار مس، وزن خشک تک‌بوته تاج‌خروس در نسبت‌های جایگزینی 0.25B: 0.75P، 0.5B: 0.5P و 0.75B: 0.25P، به ترتیب ۷،

۲۲ و ۳۰ درصد و در غلظت ۲۵ میکرومولار مس به ترتیب ۶، ۱۸ و ۳۵ درصد و در غلظت ۵۰ میکرومولار مس به ترتیب ۱۸، ۳۴ و ۴۶ درصد نسبت به کشت خالص تاج‌خروس، کاهش یافت.

در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، غلظت ماده سمی دریافتی توسط گیاه با تراکم بوته، رابطه معکوس دارد (Hansi *et al.*, 2014). در شرایط فزونی مس، افزایش ماده خشک لوبیا در همجواری تاج‌خروس (گیاه تجمع‌دهنده) در نسبت 0.25B: 0.75P به دلیل رقیق‌سازی محیط توسط تاج‌خروس می‌باشد. در تیمار فزونی مس، ماده خشک گیاهان کاهو و جو با افزایش تراکم گیاهان مذکور افزایش یافت (Hansi *et al.*, 2014).

بازدارندگی رشد و کاهش ماده خشک، یکی از پاسخ‌های گیاهان عالی به سمیت فلزات سنگین می‌باشد. در تنش فلزات سنگین، کاهش در تولید ماده خشک به دلیل بازدارندگی طولی شدن و تقسیم سلول، اتفاق می‌افتد (Arduini *et al.*, 1994). همچنین فلزات با تأثیر بر سلول‌های مرستمی، سبب تغییر در سنتز پیش‌ماده RNA ریبوزومی می‌شوند و بدین ترتیب رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Ouzounidou *et al.*, 1992). افزایش غلظت مس در کلزا به دلیل تغییر مورفولوژی ریشه و کاهش جذب عناصر، سبب کاهش رشد و ماده خشک کلزا (*Brassica napus*) شد (Zaheer *et al.*, 2015).



شکل ۱- ماده خشک لوبیا (چپ) و تاج‌خروس (راست) در غلظت‌های مختلف مس و نسبت‌های جانشینی لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز در هر کدام از سطوح مس، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد. B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز

Fig. 1. Dry weight of bean (left) and pigweed (right) under copper doses and substitute intercropping ratios of bean and redroot pigweed

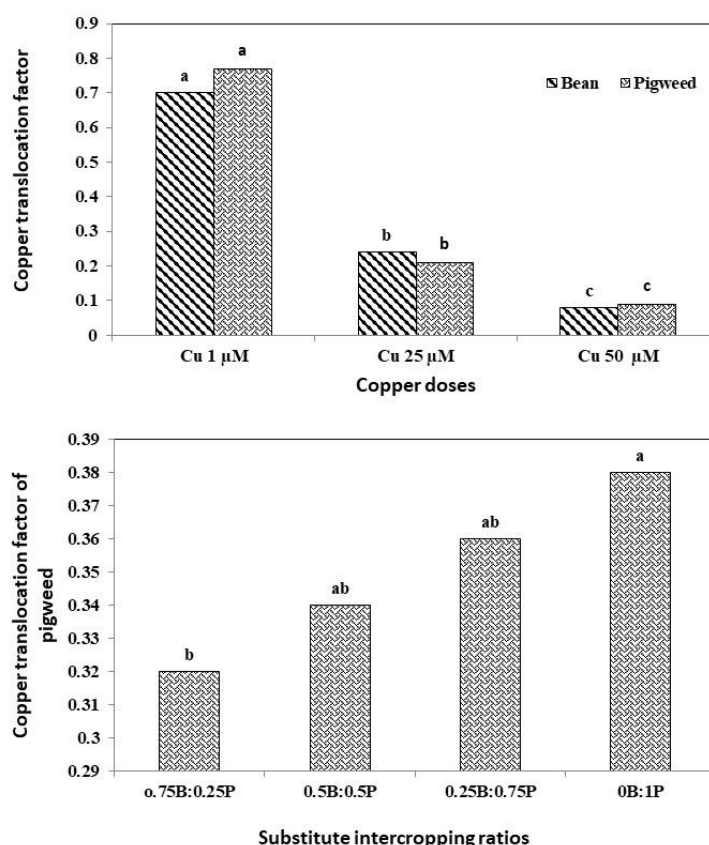
At each copper level, means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level. B: bean, P: redroot pigweed

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دز مس و نسبت‌های جایگزینی بر فاکتور انتقال مس لوبیا و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (تجزیه شده بر اساس آزمایش فاکتوریل 4×3)

Table 5. Analysis of variance (Mean of squares) for the effects of copper doses and replacement intercropping ratios on the translocation factor of common bean and redroot pigweed (Analyzed based on a 3×4 factorial layout)

S.O.V.	df	TF	
		Bean	Pigweed
غلظت مس Cu dose (Cu)	2	1.23**	1.57**
نسبت مخلوط جانشینی Replacement (R)	3	0.001 ^{ns}	0.005*
اثر متقابل Cu $\times$ R	6	0.0002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	24	0.00085	0.001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.54	11.89

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد
ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۲- فاکتور انتقال مس در تاج‌خروس و لوبیا در غلظت‌های مختلف مس (بالا) و نسبت‌های جانشینی لوبیا و تاج‌خروس (پایین)

B: لوبیا، P: تاج‌خروس ریشه‌قرمز؛ در هر کدام از سطوح مس و نسبت‌های جانشینی، اختلاف بین میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد

Fig. 2. Copper translocation factor of pigweed under copper doses (top) and replacement intercropping ratios of bean and pigweed (down)

Means with the same letters are not significantly different based on LSD test at 5% probability level.
B: bean, P: redroot pigweed

فاکتور انتقال مس

اثر غلظت‌های مختلف مس بر فاکتور انتقال مس در هر دو گونه لوبیا و تاج‌خروس معنی‌دار بود، ولی اثر نسبت‌های جانمایی بر فاکتور انتقال مس فقط در گیاه تاج‌خروس معنی‌دار شد. برهمکنش غلظت مس و نسبت‌های جانمایی بر فاکتور انتقال مس در هر دو گونه غیرمعنی‌دار بود (جدول ۵). توانایی گیاه در انتقال فلزات از ریشه به اندام‌های هوایی با استفاده از فاکتور انتقال، ارزیابی می‌گردد (Galal & Shehata, 2015). فاکتور انتقال بیشتر از یک، نشان‌دهنده توانایی بالای گیاه در انتقال عناصر از ریشه به اندام‌های هوایی می‌باشد و ناشی از سیستم انتقال مؤثر در این زمینه می‌باشد (Zhao et al., 2007). در کشت خالص تاج‌خروس، بیشترین میزان فاکتور انتقال مس به مقدار ۰/۳۸ به‌دست آمد. از آنجا که غلظت مس در ریشه گیاه تاج‌خروس در تیمار 0.75B: 0.25P در مقایسه با گیاه تاج‌خروس در کشت خالص، بیشتر بود، به‌نظر می‌رسد که تاج‌خروس با نگهداری مس در ریشه و جلوگیری از انتقال آن به اندام هوایی از یکی از مکانیسم‌های تحمل به فلزات سنگین استفاده می‌کند (Weis & Weis, 2004).

با افزایش غلظت مس در محلول غذایی، فاکتور انتقال مس در هر دو گونه کاهش معنی‌داری یافت. فاکتور انتقال مس

در گونه *Amaranthus spinosus* در غلظت ۶۰ و ۲۰۰ میلی مولار سولفات مس، کمتر از یک گزارش شده است (Devi Chinmayee et al., 2012).

نتیجه‌گیری

همجواری کنترل‌شده علف‌هرز تاج‌خروس و لوبیا، با کاهش جذب مس توسط لوبیا، سبب افزایش رشد لوبیا گردید. تاج‌خروس با توان بالای جذب فلز مس از محلول غذایی در کشت مخلوط، سبب مصونیت گیاه لوبیا در برابر تنش فزونی مس و افزایش غلظت سه عنصر پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه و برگ لوبیا نسبت به کشت خالص لوبیا شد. در شرایط فزونی مس، همجواری لوبیا با تاج‌خروس با افزایش عناصر غذایی در لوبیا، باعث افزایش ماده خشک لوبیا نسبت به کشت خالص گردید. در شرایط فزونی مس، گیاه تاج‌خروس در کشت خالص، کمترین غلظت مس را در ریشه و برگ داشت. بنابراین غلظت سه عنصر پتاسیم، فسفر و منیزیم در ریشه و برگ گیاه تاج‌خروس نسبت به سایر نسبت‌های جایگزینی بیشتر بود. با افزایش غلظت مس، فاکتور انتقال هر دو گیاه کاهش پیدا کرد.

منابع

- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Zia-ur-rehman, M., Irshad, M.K. and Bharwana, S.A. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: overview. *Environmental Science Pollution Research* 22: 8148-8162.
- Arduini, I., Godbold, D.L., and Onnis, A. 1994. Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pineaster* seedling. *Physiologia Plantarum* 92: 675-680.
- Ashrafi, A., Zahedi, M., and Soleimani, M. 2015. Effect of co planted purslane (*Portulacaoleracea* L.) on Cd accumulation by sunflower in different levels of Cd contamination and salinity: a pot study. *International Journal of Phytoremediation* 17: 853-860.
- Barman, S.C., Sahu, R.K., Bhargava, S.K., and Chatterjee, C. 2000. Distribution of heavy metals in wheat, mustard and weed grown in field irrigated with industrial effluents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 64: 489-496.
- Bigaliev, A., Boguspaev, K., and Znanburshin, E. 2003. Phytoremediation potential of *amaranthus* sp. for heavy metals contaminated soil of oil production territory. 10th Annual International Petroleum Environmental Conferen. Houston, Al-Farabi Kazakh.
- Bouazizi, H., Jouili, H., Geitmann, A., and Ferjani, E.E. 2010. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: Antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 1304-1308.
- Bravin, M.N., Garnier, C., Lenoble, V., Gerard, F., Dudal, Y., and Hinsinger, P. 2012. Root-induced changes in pH and dissolved organic matter binding capacity affect copper dynamic speciation in the rhizosphere. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84: 256-268.
- Bruce, E.P. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Groundwater at Hazardous Waste Sites. EPA ORD Ground Water Issue, EPA/540/S-01/500.
- Brun, L.A., Maillet, J., Hinsinger, P., and Pepin, M. 2001. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils. *Environmental Pollution* 111: 293-302.

10. Callaway, R.M., Brooker, R.W., Choler, P., Kikvidze, Z., Lortie, C.J., Michalet, R., Paolini, L., Pugnaire, F.I., Newingham, B., Aschehoug, E.T., Armas, C., Kikodze, D., and Cook, B.J. 2002. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417: 844-848.
11. Cambrolle, J., Garcia, J.L., Ocete, R., Figueroa, M.E., and Cantos, M. 2013. Growth and photosynthetic response to copper in wild grapevine. *Chemosphere* 93: 294-301.
12. Devi Chinmayee, M., Mahesh, B., Pradesh, S., Mini, I., and Swapna, T.S. 2012. The assessment of phytoremediation potential of invasive weed *Amaranthus spinosus* L. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 167: 1550-1559.
13. Dresler, S., Hanaka, A., Bednarek, W., and Maksymeric, W. 2014. Accumulation of low-molecular-weight organic acids in roots and leaf segments of *Zea mays* plants treated with cadmium and copper. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 1565-1575.
14. Gaetke, L.M., and Chow, C.K. 2003. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology* 189: 147-163.
15. Gajewska, E., and Sklodowska, M. 2010. Differential effect of equal Copper, Cadmium and Nickel concentration on biochemical reactions in wheat seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 996-1003.
16. Galal, T.M., and Shehata, H.S. 2015. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators* 48: 244-251.
17. Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany* 53: 1-11.
18. Hoffman, D.W., and Lavy, T.L. 1978. Plant competition for atrazin. *Weed Science* 26: 94-99.
19. Horak, M.J., and Loughin, T.M. 2000. Growth analysis of four *Amaranthus* species. *Weed Science* 48: 347-355.
20. Ke, W., Xiong, Z., Chen, S., and Chen, J. 2007. Effect of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. *Environmental and Experimental Botany* 59: 59-67.
21. Kopittke, P.M., and Menzies, N.W. 2006. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant and Soil* 279: 287-296.
22. Kramer, U., Talke, I.N., and Hanikenne, M. 2007. Transition metal transport. *FEBS Lett.* 581: 2263-2272.
23. Lequeux, H., Hermans, C., Lutts, S., and Verbruggen, N. 2010. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 673-682.
24. Li, Z.A., Peng, S.L., Rae, D.J., and Zhou, G.Y. 2001. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with special attention to comparisons between legumes and non-legumes. *Plant and Soil* 229: 105-116.
25. Li, N.Y., Li, Z.A., Zhuang, P., Zou, B., and McBirde, M. 2009. Cadmium uptake from soil by maize with intercrops. *Water, Air & Soil Pollution* 199: 45-56.
26. Lortie, C.J., and Callaway, R.M. 2006. Re-analysis of meta-analysis: support for the stress-gradient hypothesis. *Journal of Ecology* 94: 7-16.
27. Maathuis, F.J.M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrient. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 250-258.
28. Michaud, A.M., Bravin, M.N., Galleguillos, M., and Hinsinger, P. 2007. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated former vineyard soils. *Plant and Soil* 298: 99-111.
29. Mico, C., Recatala, L., Peris, M., and Sanchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65: 863-872.
30. Oorts, K. 2013. Copper. In: B.J. Alloway (Ed.). *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Springer, Dordrecht, pp. 367-394.
31. Ouzounidou, G., Eleftheriou, E.P., and Karataglis, S. 1992. Ecophysiological and ultrastructural effects of copper in *Thlaspi ochroleucum* (Cruciferae). *Canadian Journal of Botany* 70: 947-957.
32. Su, D.C., Lu, X.X., and Wong, J.W.C. 2008. Could co-cropping or successive cropping with Cd accumulator oilseed rape reduce Cd uptake of sensitive Chinese cabbage? *Practice Periodical of Hazardous Toxic and Radioactive Waste Management* 12: 224-228.
33. Tyler, G. 1976. Heavy metal pollution, phosphatase activity and mineralization of organic phosphorous in forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 327-332.

34. Wei, S.H., and Zhou, Q.X. 2006. Phytoremediation of cadmium-contaminated soil by *Rorippaglobosa* using two-phase planting. *Environmental Science and Pollution Research* 13: 151-155.
35. Whiting, S.N., Leake, J.R., McGrath, S.P., and Baker, A.J.M. 2001. Hyper accumulation of Zn by *Thlaspi caerulescens* can ameliorate Zn toxicity in the rhizosphere of cocropped *Thlaspi arvense*. *Environmental Science & Technology* 35: 3237-3241.
36. Woolhouse, H.W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plant to metals. In: Q.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (Eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology* 12C. New Series. Springer Verla, Berlin, pp. 245-300.
37. Wuana, R.A., and Okieimen, F.E. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources. Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecol.* Article ID 402647. 20 p.
38. Xue, J.H., and Fei, Y.X. 2006. Effects of intercropping *Cunninghamia lanceolata* in tea garden on content and distribution of heavy metals in soil and tea leaves. *Journal of Ecology and Rural Environment* 22: 71-73.
39. Zaheer, I.E., Ali, S., Rizwan, M., Fraid, M., Shakoor, M.B., Gill, R.A., Najeeb, U., Iqbal, N., and Ahmad, R. 2015. Citric acid assisted phytoremediation of copper by *Brassica napus* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 120: 310-317.
40. Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science* 47: 123-131.
41. Zimdahl, R.L. 2007. *Fundamentals of Weed Science*. 3rd ed. Academic Press, CA, USA.

The effects of competition and excessive copper concentration on seedling dry matter and copper, phosphorus, potassium, and magnesium contents in common bean (*Phaseolus vulgaris*) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*)

Bayat¹, S., Ahmadvand^{2*}, G. & Sepehri², A.

1. PhD. Student of Weed Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran; s.bayat67@gmail.com
2. Associate Professor of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (gahmadvand@basu.ac.ir & a_sepehri@basu.ac.ir, respectively)

Received: 21 January 2019

Accepted: 12 June 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.78036

Introduction

Soil contamination with heavy metals is one of the most serious problems in the agricultural environments. Due to excessive injudicious and unregulated use of agrochemicals such as pesticides, bactericides and fungicides, which contain Cu as an active component, contamination of agricultural soils with Cu is often occurred. In many plant species, excess copper (Cu) toxicity is an important disorder that limits uptake and accumulation of mineral nutrients. The root system of crops in contact with the roots of neighbor plants (crop or weed) has different characteristics in terms of heavy metals adsorption compared to the pure stand of crops. The position of the roots of heavy metal accumulator weeds may affect the absorption of such metals by adjacent crops in infected conditions. The heavy metal accumulator weeds by reducing or evacuating metals from the rhizosphere of the adjacent plants, cause the plants to be immune to the toxicity of metals. Biomass reduction is a dominant effect of copper toxicity in plants. Application of high copper doses (50 and 75 μM) in nutrient solution, decreased the dry weight of common bean plants in comparison with control. Contamination of soil can affect ecological interactions between plants such as the weed-crop competition. Positive plant-plant interactions are expected to be especially beneficial under high abiotic stresses and therefore, the facilitation effects could be enhanced by increasing stress intensity. Weeds possess the ability to accumulate heavy metal and nutrients, in comparison with crops. The role of nurse plants in facilitating plant community has been applied in severe conditions. Metal hyper-accumulator plants have a positive effect on co-occurring species in metal-rich soils. Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) is a serious weed, which affects common bean production. *Amaranthus retroflexus* and *Amaranthus spinosus* are known as metal accumulators. We hypothesized that in contaminated fields, the effects of heavy metals on crop growth may be modified by the presence of a metal accumulator weed such as redroot pigweed.

Materials and Methods

To investigate copper uptake and accumulation of mineral nutrients by common bean in association with redroot pigweed under excessive copper conditions, a factorial experiment based on a completely randomized design with four replications was carried out in a research greenhouse of Bu-Ali Sina University in 2016. Experimental factors were three Cu doses of 1 (control), 25 and 50 μM CuSO_4 and five replacement intercropping ratios of bean (B) and redroot pigweed (P) (1B: 0P, 0.75B: 0.25P, 0.5B: 0.5P, 0.25B: 0.75P, 0B:1P). The experiment was carried out in a hydroponic condition. 15 days after seedling establishment, the seedlings of both plants were transferred to the hydroponic conditions with a Hoagland solution, and Cu doses were applied in the Hoagland solution. 30 days after growing the plants in above condition, biomass dry weight and concentration of Cu, K, P and Mg in the leaves and roots of both plants as well as copper translocation factor were determined.

*Corresponding Author: gahmadvand@basu.ac.ir

Results and Discussion

The results showed that under three doses of copper, the highest concentration of copper in bean was obtained in sole crops, and with increasing replacement intercropping ratios of pigweed, the copper concentration was decreased in bean. In pigweed, the highest concentration of copper was observed in 0.75B: 0.25P proportion. At 1 μM CuSO_4 , potassium concentration in the roots and the leaves of bean in 0.25B: 0.75P proportion, was decreased by 7 percentage in comparison with that of the sole crops, and at 25 μM CuSO_4 , by 10 percentage and at 50 μM CuSO_4 , by 15 percentage were increased compared to the sole crops, respectively. At 25 μM CuSO_4 , phosphorus and magnesium concentration in the roots of bean in 0.25B: 0.75P proportion was increased by 17 and 18 percentage, and at 50 μM CuSO_4 , by 21 and 26 percentage, respectively in comparison with the sole crops, respectively. Association of pigweed to the bean, decreased Cu pollution in bean plants, which could be related to the balance of nutrient elements uptake by bean under excessive copper conditions. Under excessive copper conditions, the higher copper uptake by pigweed, improved the growth of bean.

Conclusion

The results of this study showed the facilitative effects of pigweed plant in decreasing the Cu toxicity stress effects to the bean and indicated that pigweed could be as a potential Cu accumulator to improve bean plant growth under the Cu stress. Here we showed that the presence of some heavy metal accumulator plants such as pigweed in common bean farms, might be a useful practice in contaminated soils. In addition, these facilitation effects of such weeds, emphasize ecological management of weeds rather than weed eradication.

Keywords: Heavy metal, Nutrient elements, Weed

ارزیابی روند بلندمدت عملکرد و ثبات آن در حبوبات ایران

محمدجواد مصطفوی^{۱*}، مینا هوشمند^۱ و مهدی نصیری محلاتی^۲

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(به ترتیب، mj.mostafavi@mail.um.ac.ir و mina.hooshmand@mail.um.ac.ir)

۲- عضو هیئت علمی (استاد) گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mnassiri@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸

چکیده

تغییر اقلیم تأثیر زیادی بر عملکرد گیاهان زراعی و نوسانات سالانه آن دارد و مطالعه روند اثرات گذشته برای تدوین سیاست‌های آینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه داده‌های سالانه عملکرد دیم و آبی حبوبات اصلی کشور شامل نخود، لوبیا و عدس و همچنین کل حبوبات از آمارنامه‌های منتشرشده از سال زراعی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۵-۱۳۹۴ در پایگاه اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی استخراج شد. با تحلیل رگرسیون روند بلندمدت عملکرد و سطح زیرکشت، باقیمانده نسبی و آنومالی سالانه عملکرد، ضریب تغییرات عملکرد مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه، با کاربرد مدل فینلی-ویلکینسون وضعیت ثبات عملکرد حبوبات کشور بررسی شد. یافته‌ها نشان دادند که به جز عملکرد عدس دیم که سالانه ۰/۶ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا کرده، عملکرد سایر حبوبات افزایش یافته است که در این بین، لوبیای دیم و آبی با افزایش سالانه به ترتیب ۲۵/۱۷ و ۲۱/۸۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین افزایش عملکرد سالانه را داشته‌اند. ضریب تغییرات عملکرد تمامی حبوبات، ثابت یا افزایشی بوده است و ثبات عملکرد تمامی حبوبات هرساله کاهش قابل توجهی یافته است که در این بین لوبیای آبی و دیم، با وجود افزایش عملکرد سالانه بیشترین بی‌ثباتی عملکرد را داشته‌اند. سطح زیرکشت نخود و عدس آبی و لوبیای دیم کاهش و سایر حبوبات افزایش یافته است، اما به دلیل این که تغییرات سطح زیرکشت نیز به طور کلی در جهت افزایش بی‌ثباتی عملکرد بوده است، ثبات عملکرد هرساله افزایش پیدا کرده است. بنابراین تدوین سیاست‌های کلان به منظور حمایت از عملکرد و ثبات حبوبات ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آنومالی عملکرد، روند عملکرد، ضریب تغییرات عملکرد، مدل فینلی-ویلکینسون

مقدمه

تغییر اقلیم واقعیتی انکارناشدنی است که به معضلی جهانی در زمینه کشاورزی، تولید غذا و امنیت غذایی تبدیل شده است (Bénézit et al., 2017). نوسانات عملکرد یکی از عوامل قابل توجه در ایجاد خلاء عملکرد به‌ویژه در محیط‌های تحت تنش به شمار می‌رود و پیش‌بینی می‌شود که در شرایط پُر تنش اقلیم آینده جهان، مسئله ثبات عملکرد به چالش جدی تری برای حفظ تولیدات کشاورزی و در نتیجه، حفظ امنیت غذایی بدل شود (Cattivelli et al., 2008; Bénézit et al., 2017). علاوه بر ثبات عملکرد، میزان عملکرد گیاهان زراعی نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد. Koocheki & Nassiri Mahallati (2016) تأثیرپذیری غلات ایران در شرایط تغییر اقلیم را بررسی و گزارش کردند که ازای افزایش هر یک درجه سانتی‌گراد میانگین درجه حرارت، طول دوره

رشد گندم و عملکرد آن بین ۹ تا ۱۷ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

طی چند دهه اخیر، پیشرفت‌های تکنیکی و تکنولوژیکی در علوم کشاورزی موجب افزایش قابل توجه عملکرد و میزان تولید محصولات کشاورزی شده است، اما به نظر می‌رسد رابطه ای معکوس بین عملکرد بالا و ثبات عملکرد وجود دارد (Nassiri Mahallati, 2014). ارقام جدید و پرمحصول زراعی برای حفظ عملکرد بالای خود به شرایط بهینه اکولوژیکی و محیطی نیازمندند (Ray et al., 2015) بنابراین تنش‌های محیطی و مدیریت‌های نامناسب زراعی می‌تواند ثبات سالانه عملکرد آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.

در مطالعات اصلاحی گیاهان زراعی ثبات عملکرد به صورت توانایی یک ژنوتیپ برای حفظ عملکرد خود (چه عملکرد بالا و چه پایین) در طیف وسیعی از شرایط محیطی تعریف می‌شود (Finlay & Wilkinson, 1963; FAO, 2019a). تاکنون مفاهیم متفاوتی برای مطالعه ثبات مورد بحث

*نویسنده مسئول: mj.mostafavi@mail.um.ac.ir

بسیاری از کشورها در دهه پایانی این قرن متوقف شده است. همچنین گزارش شد که ثبات عملکرد گندم ۱۴ کشور از ۲۱ کشور مورد در طی قرن مورد مطالعه کاهش یافته است، اما به دلیل این که در این قرن نسبت افزایش عملکرد محصول (نسبت به عملکرد در دهه‌های ابتدایی قرن) به میزان قابل توجهی بیشتر از نسبت افزایش باقیمانده رگرسیون بود، روند تغییرات عملکرد ثبات عملکرد گندم در دنیا مثبت بوده است (Calderini & Slafer, 1998).

حبوبات پس از غلات به عنوان دومین منبع مهم غذایی ایران (Ministry of Agriculture, 2018) و جهان، از سویی به لحاظ جایگاه ویژه آن‌ها در تناوب‌های زراعی و تقویت حاصلخیزی خاک، پیشگیری از فرسایش خاک و نیز توسعه کشاورزی پایدار هستند و از سویی دیگر به دلیل نقشی کلیدی که در تغذیه انسان به عنوان منبع پروتئین گیاهی و همچنین ارتقای معیشت کشاورزان دارند، از اهمیت زیادی در سیستم های زراعی برخوردارند، اما با وجود این مزایا، عملکرد آن‌ها نسبت به سایر گیاهان زراعی نوسانات بیشتری دارد (Reckling *et al.*, 2015). بنابراین با توجه به اهمیت این محصولات، پایش شاخص‌های عملکرد آن‌ها همچون ارزیابی روند و ثبات آن، می‌تواند راهگشای سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌های آینده به منظور حفظ و ارتقای حضور این گروه از گیاهان باارزش در سیستم‌های زراعی باشد. بر این اساس، هدف از انجام این پژوهش، بررسی و تعیین میزان ثبات عملکرد حبوبات کشور بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های موجود در آمارنامه‌های منتشرشده از سوی مراجع رسمی کشور بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها: به منظور بررسی شاخص‌های مختلف ثبات عملکرد حبوبات کشور، کلیه آمار قابل دسترس مربوط به سطح زیرکشت و عملکرد حبوبات دیم و آبی کشور شامل آمار مربوط به نخود (*Cicer arietinum*)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و عدس (*Lens culinaris*) برای دوره ۳۳ ساله (مربوط به سال زراعی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۵-۱۳۹۴) از آمارنامه‌های منتشرشده و موجود وزارت جهاد کشاورزی استخراج شده (Ministry of Agriculture, 2018) و مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس باقیمانده رگرسیون: جهت محاسبه دقیق باقیمانده رگرسیون لازم است که ابتدا مدل رگرسیونی مناسبی برای توصیف روند تغییرات عملکرد هر محصول به دست آید. پایین‌بودن ضریب تبیین (R^2) معادله روند موجب افزایش باقیمانده رگرسیون شده و نتایج را غیرقابل

بوده است که در این بین ثبات پایا^۱ (تمایل یک ژنوتیپ به حفظ عملکرد در محیط‌های مختلف) و ثبات تنها در طی زمان^۲ (طی سال‌های متمادی یا در یک تناوب‌های زراعی) به دلیل این که در اغلب موارد تکرارپذیر هستند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (FAO, 2019b). برای ارزیابی ثبات عملکرد تاکنون از روش‌های مختلفی استفاده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به روش باقیمانده رگرسیون^۳، مطالعه ضریب تغییرات^۴ عملکرد و مدل فینلی-ویلکینسون^۵ اشاره کرد. روش‌های مختلف تحلیل رگرسیون امروزه به‌طور گسترده‌ای برای بررسی ثبات عملکرد گونه‌های زراعی و مقایسه و اندازه‌گیری کارایی ژنتیکی ارقام جدید در محیط‌ها یا سال‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (Duc *et al.*, 2015). رابطه رگرسیونی عملکرد محصول در سال‌های متوالی، چگونگی روند تغییرات عملکرد در طی زمان را نشان می‌دهد و شیب آن، میزان تغییرات سالانه عملکرد را در طی دوره زمانی مورد مطالعه مشخص می‌کند که ناشی از روش‌های مدیریتی به‌زراعی و به نژادی است (Cassman *et al.*, 2009; Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014). باقیمانده این معادله رگرسیونی یعنی اختلاف بین عملکردهای واقعی و پیش‌بینی‌شده برای هر سال، نشان‌دهنده تأثیر شرایط محیطی (آب و هوایی) بر عملکرد بوده و بنابراین شاخصی از ثبات محسوب می‌شود (Calderini & Slafer, 1998). بنابراین پایین‌بودن مقادیر باقیمانده حاکی از ثبات بیشتر و بالا بودن آن ثبات کمتر عملکرد در طی زمان را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات نیز به عنوان شاخصی از میزان ثبات عملکرد در شرایط محیطی مختلف یا دوره‌های زمانی مشخص، میزان انحراف معیار عملکرد یک ژنوتیپ یا گونه زراعی در برابر میانگین عملکرد در طی آن دوره را نشان می‌دهد (Temesgen *et al.*, 2018). بر این اساس، هرچه تغییرات عملکرد در آن دوره نوسانات بیشتری داشته باشد، ضریب تغییرات بیشتر و در نتیجه ثبات عملکرد پایین‌تر خواهد بود. در تحقیقی روند تغییرات عملکرد گندم و وضعیت ثبات آن در قرن بیستم در ۲۱ کشور مختلف جهان با استفاده از رگرسیون خطی، باقیمانده رگرسیون و باقیمانده نسبی رگرسیون مطالعه شد و مشخص شد که در کشورهای مختلف، پس از گذشت سه تا پنج دهه از آغاز قرن بیستم، افزایش قابل توجهی در عملکرد گندم انجام شده تا این که این روند در

۱. Static stability

۲. Stability only in time

۳. Residuals of regression

۴. Coefficient of variation (CV)

۵. Finlay-Wilkinson model

رگرسیون آنومالی عملکرد می‌تواند نشان‌دهنده جهت تغییرات عملکرد در طی سال‌های مختلف باشد.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس ضریب تغییرات عملکرد:

ضریب تغییرات عملکرد برای دوره‌های چهارساله با تقسیم انحراف معیار بر میانگین آن چهارسال به‌دست آمد و معادله رگرسیون خطی آن نیز به منظور تعیین جهت روند ضریب تغییرات عملکرد محاسبه شد (ضریب تغییرات عملکرد دوره منتهی به سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ پنج ساله در نظر گرفته شد). شیب مثبت این معادله (b) به معنای افزایش بی‌ثباتی، شیب منفی به معنای افزایش ثبات و شیب صفر ثبات نسبی ضریب تغییرات عملکرد را در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس مدل فینلی-ویلکینسون:

اساس ارزیابی ثبات عملکرد با مدل فینلی-ویلکینسون مقایسه عملکرد یک ژنوتیپ (یا گونه زراعی) با دیگر ژنوتیپ‌ها (یا گونه‌ها) در دامنه‌ای از شرایط مختلف محیطی یا سال‌های متفاوت است. در این روش، ثبات عملکرد از طریق شیب خط رگرسیون یا اکورگرسیون^۱ (Reckling *et al.*, 2015) بین عملکرد یک گونه یا ژنوتیپ (Y) و میانگین عملکرد همه گونه‌ها یا ژنوتیپ‌های تحت بررسی (X) در محیط‌های مختلف که اصطلاحاً شاخص محیطی^۲ نامیده می‌شود، به‌دست می‌آید. شیب مثبت خط نشان‌دهنده افزایش بی‌ثباتی عملکرد، شیب منفی به معنای بهبود (کاهش) بی‌ثباتی و شیب منفی نیز ثبات عملکرد در طی سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد (Finlay & Wilkinson, 1963). در پژوهش حاضر، از میانگین عملکرد هر سه محصول زراعی مورد مطالعه در هر سال به عنوان شاخص محیطی در مدل فینلی-ویلکینسون استفاده شد.

رابطه ثبات عملکرد و سطح زیرکشت: به منظور برآورد

رابطه ثبات عملکرد با سطح زیرکشت، روند سطح زیرکشت حیوانات در سال‌های مختلف و همچنین قدر مطلق باقیمانده عملکرد هر سال به‌عنوان تابعی از سطح زیرکشت هر محصول بررسی شد. بر این اساس شیب مثبت خط رگرسیونی بین سطح زیرکشت و باقیمانده عملکرد نشان‌دهنده کاهش ثبات، شیب منفی افزایش ثبات و شیب صفر ثبات نسبی عملکرد را نشان می‌دهد. برای برازش معادلات رگرسیونی و تعیین مقادیر باقیمانده‌ها از نرم‌افزار SigmaStat v.1.0 و برای رسم شکل‌ها از MS Excel 2019 استفاده شد.

اتکاء خواهد کرد. بر این اساس، در این مطالعه مدل‌های رگرسیون خطی (معادله ۱) و خطی دوقطعه‌ای (معادله ۲) و سه‌قطعه‌ای (معادله ۳) برای توصیف روند عملکرد هر یک از محصولات تحت بررسی مورد مقایسه قرار گرفت (Calderini & Slafer, 1999 & Verón *et al.*, 2004) و بهترین مدل بر اساس بزرگ‌ترین ضریب تبیین و نرمال بودن توزیع باقیمانده آن‌ها (Calderini & Slafer, 1999) انتخاب شد.

(معادله ۱)

$$Y = a + bx$$

مدل خطی

(معادله ۲)

$$Y = a + bx \quad \text{if } x \leq c$$

$$Y = a + bc + d(x-c) \quad \text{if } x > c$$

مدل خطی

دوقطعه‌ای

(معادله ۳)

$$Y = a + bx \quad \text{if } x \leq c$$

$$Y = a + bc + d(x-c) \quad \text{if } c < x < e$$

$$Y = a + bc + d(e-c) + f(x-e) \quad \text{if } x > e$$

مدل خطی

سه‌قطعه‌ای

که در آن‌ها Y عملکرد، x سال (از ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۵)، a عرض از مبدأ، b سرعت افزایش عملکرد طی اولین مرحله خطی، c سالی که در آن اولین نقطه عطف بروز می‌کند، d سرعت افزایش عملکرد در طی دومین مرحله خطی، e سالی که در آن دومین نقطه عطف معادله روند قرار دارد و f سرعت افزایش عملکرد در طی سومین مرحله خطی می‌باشد (Calderini & Slafer, 1999 & Verón *et al.*, 2004).

پس از انتخاب مدل، اختلاف بین عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل رگرسیون به‌عنوان باقیمانده عملکرد که شاخصی از ثبات عملکرد می‌باشد، برای هر محصول محاسبه شد. از آن‌جا که در ارزیابی ثبات، تنها قدرمطلق تغییرات عملکرد اهمیت دارد، قدرمطلق تمامی باقیمانده‌های عملکرد محاسبه شده و پس از آن با تقسیم باقیمانده عملکرد بر عملکرد واقعی، باقیمانده نسبی عملکرد به‌وسیله مدل رگرسیونی محاسبه شد تا مشخص شود که باقیمانده عملکرد در هر سال چه درصدی از عملکرد آن سال است (Calderini & Slafer, 1998). نهایتاً با رسم نمودار مقادیر نسبی باقیمانده عملکرد در سال‌های تحت بررسی، روند ثبات عملکرد برای هر محصول به‌دست آمد.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس آنومالی عملکرد: آنومالی

عملکرد که نشان‌دهنده تغییرات عملکرد هر سال در مقایسه با مقدار بلندمدت آن است نیز برای هر محصول محاسبه شد. مقادیر مثبت یا منفی آنومالی نشان‌دهنده عملکردهایی بیشتر یا کمتر از میانگین بلندمدت هر محصول است، بنابراین روند

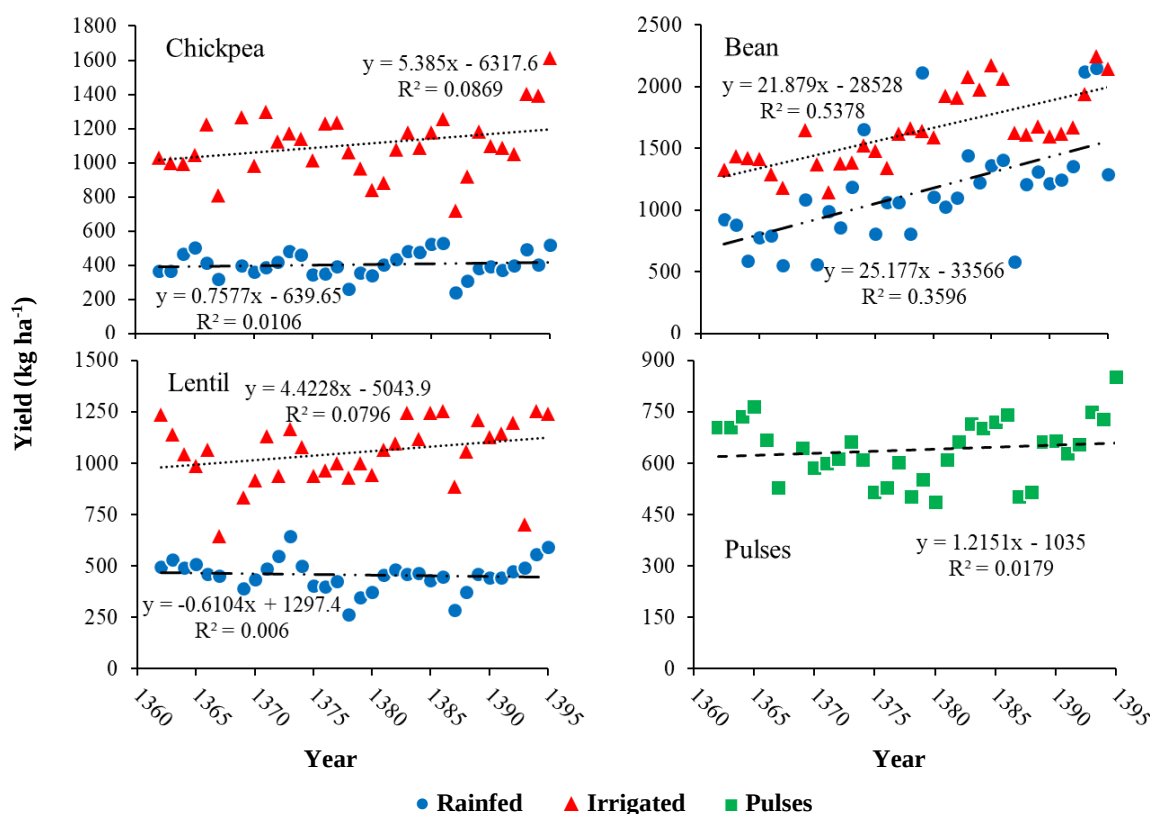
۱. Eco-regression

۲. Environmental index (EI)

نتایج و بحث

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس باقیمانده رگرسیون: بر اساس یافته‌ها، عملکرد سالانه حبوبات مورد بررسی شامل نخود، لوبیا، عدس و همچنین کل حبوبات بسیار متغیر بود و

بنابراین هیچ یک از مدل‌های رگرسیونی خطی، دوقطعه‌ای و سه‌قطعه‌ای برازش یافته بر عملکردهای مختلف ضریب تبیین قابل توجهی نداشتند ($R^2 \leq 0.5$)؛ بر همین اساس، تنها نتایج رگرسیون خطی نشان داده شده است (شکل ۱).

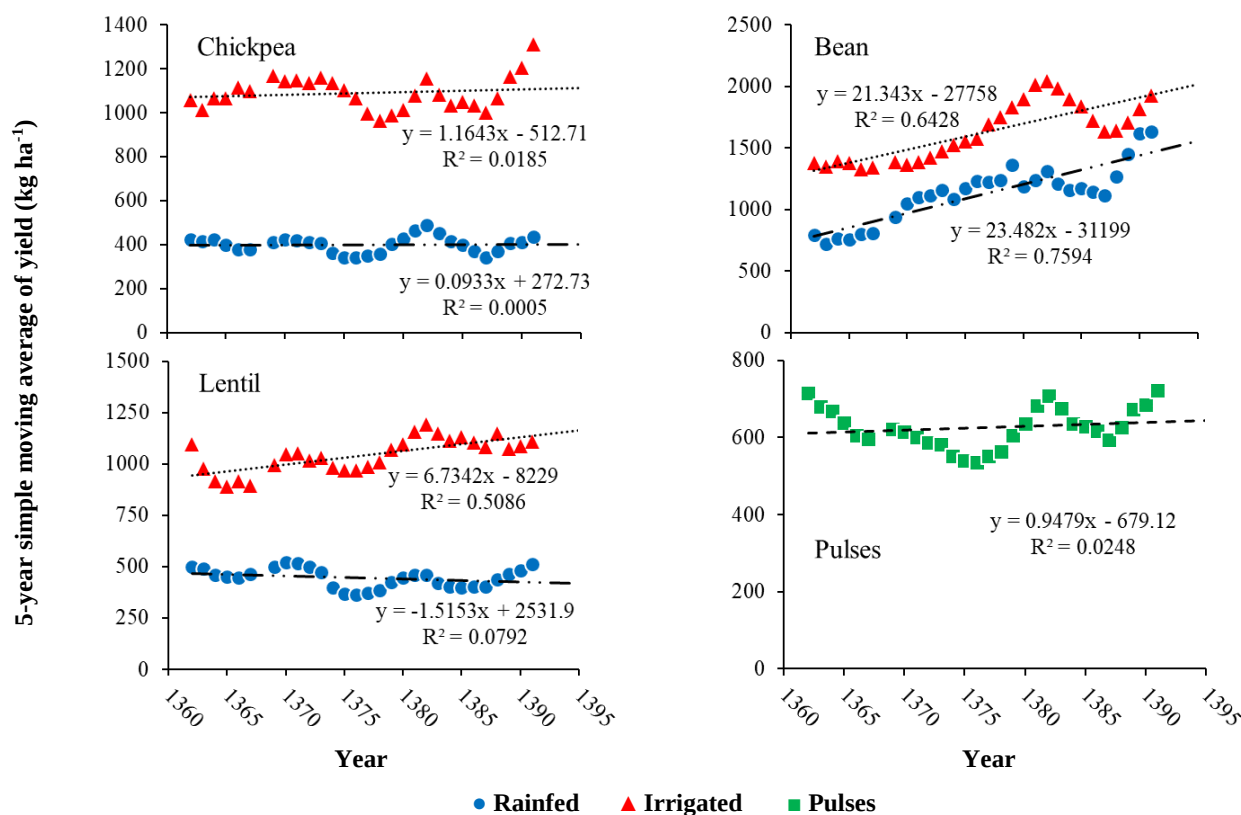


شکل ۱- روند ۳۳ ساله عملکرد نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی و کل حبوبات ایران

Fig. 1. The 33-year yield trends of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil and pulses of Iran

عدم دسترسی به ارقام اصلاح‌شده برای کشت زود هنگام نخود و عدس، کیفیت پایین بذر و بی‌توجهی به رعایت روش‌های زراعی مثل آماده‌سازی مناسب بستر کاشت برای این دو محصول را می‌توان دلیل این امر دانست (Jeuffroy & Ney, 1997). لوبیا گیاهی با رشد سریع است و عملکرد مطلوب آن به میزان زیادی تحت تأثیر فراهمی آب قرار می‌گیرد (Mohamadi et al., 2008). از سوی دیگر لوبیا بر خلاف نخود و عدس، گیاهی تابستانه است و به لحاظ تأثیرپذیری از تغییرات دماهای حدی و تغییرات میانگین دمای فصل رشد ناشی از تغییر اقلیم (Ahmadi et al., 2015)، شرایط متفاوتی را در فصل رشد تجربه می‌کند. البته این موضوع با استفاده از داده‌های موجود قابل اثبات نیست و روشن شدن این امر نیازمند مطالعات گسترده در زمینه ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر مناطق عمده‌ی کشت و کار حبوبات کشور و شاخص‌های عملکردی حبوبات خواهد بود.

در طی دوره مورد مطالعه، عملکرد نخود آبی ۵/۳۸ کیلوگرم در هکتار در سال و عملکرد نخود دیم مقدار ناچیزی (۰/۷۵) کیلوگرم در هکتار در سال) افزایش یافته است (شکل ۱). عملکرد سالانه لوبیای دیم و آبی به ترتیب ۲۵/۱۷، ۲۱/۸۷ و ۴/۴۲ کیلوگرم در هکتار در سال افزایش داشته، اما روند تغییرات عملکرد عدس دیم منفی و ۰/۶۱ کیلوگرم در هکتار در سال از عملکرد این محصول کاسته شده است. به همین دلیل افزایش عملکرد کل حبوبات نیز ناچیز (۱/۲۱) کیلوگرم در هکتار در سال) بود (شکل ۱). افزایش سالانه عملکرد نخود و عدس آبی اختلاف قابل توجهی با لوبیای آبی داشت (به ترتیب با اختلاف ۱۶/۴۹ و ۱۷/۴۵ کیلوگرم در هکتار در سال؛ اعداد نمایش داده نشده‌اند). این اختلاف بین نخود و عدس دیم با لوبیای دیم (به ترتیب ۲۴/۴۲ و ۲۵/۷۸ کیلوگرم در هکتار در سال) نیز وجود داشت که نشان می‌دهد در طی دوره مورد مطالعه، لوبیا در مقایسه با سایر حبوبات رشد عملکرد بیشتری داشته است.

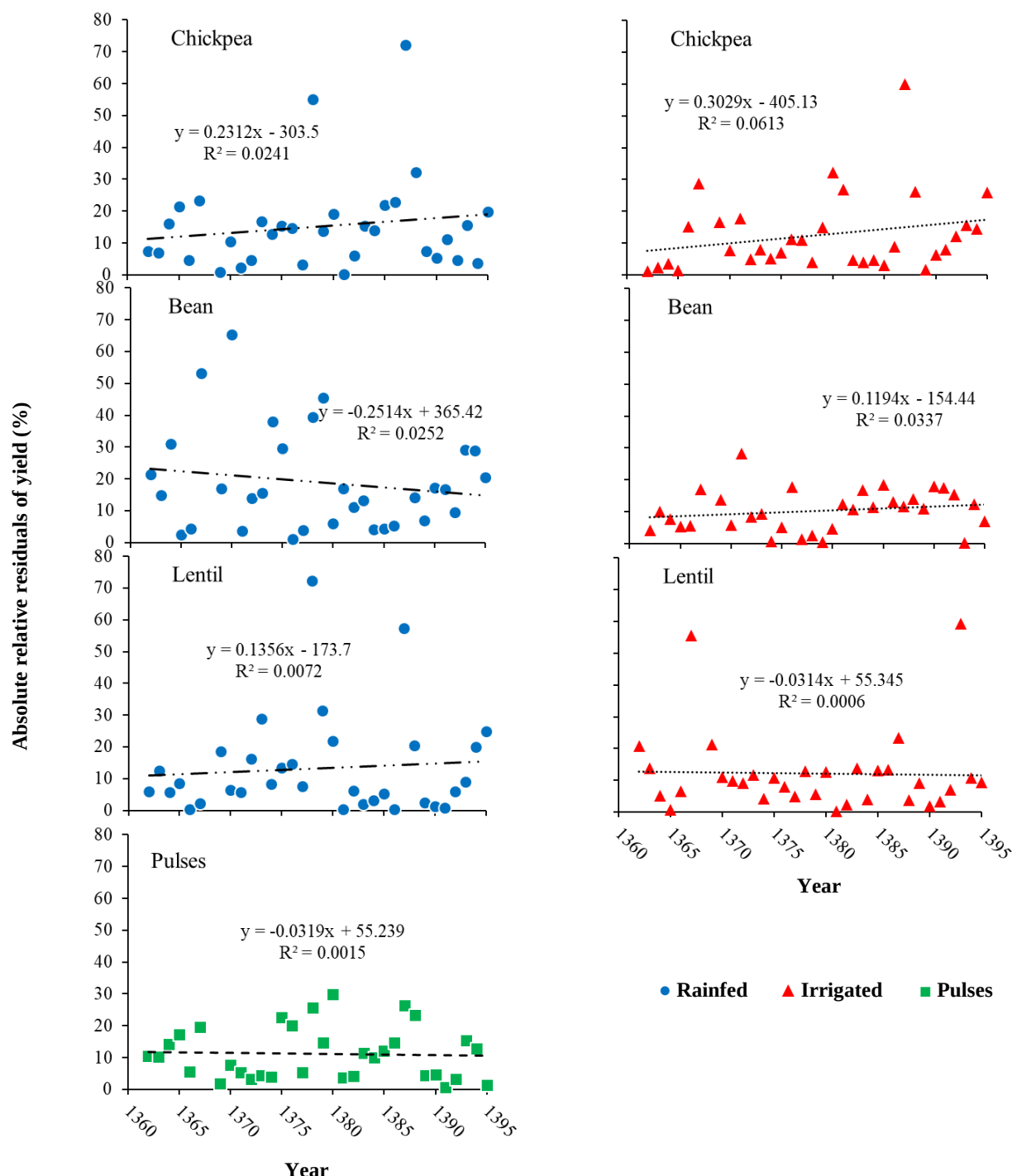


شکل ۲- میانگین متحرک ۵ ساله از روند ۳۳ ساله عملکرد نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی و کل حبوبات ایران
Fig. 2. The 5-year simple moving average of 33 years-yield trend of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil and pulses of Iran

الگوی بارش‌ها، عملکرد حبوبات نیز همچون دیگر محصولات، با بی‌ثباتی بیشتری مواجه شود (Fischer et al., 2002; Heinemann et al., 2017).

قدر مطلق باقیمانده عملکرد: مقدار مطلق باقیمانده نسبی عملکرد سالیانه در طی دوره ۳۳ ساله مورد مطالعه، بسیار متغیر بوده است. این تغییرات برای نخود دیم ۷۲ درصد (دامنه‌ای از ۰/۱ تا ۷۲/۲ درصد) و برای نخود آبی ۵۸/۳ درصد (از ۱/۵ تا ۵۹/۹ درصد) بود که نشان‌دهنده ثبات کم عملکرد نخود در طی بیش از سه دهه اخیر است. شیب تغییرات سالیانه باقیمانده عملکرد نخود آبی (سالانه ۰/۳ درصد) نسبت به دیم (سالانه ۰/۲۳ درصد) بیشتر است، لذا به نظر می‌رسد که در صورت ادامه این روند، عملکرد نخود آبی در آینده ثبات کمتری را نسبت به نخود دیم خواهد داشت (شکل ۳). میزان تغییرات سالیانه باقیمانده نسبی عملکرد لوبیای دیم ۶۴/۱ درصد (از ۱/۱ تا ۶۵/۲ درصد) بوده است که با وجود بی‌ثباتی قابل توجه، هر ساله ۰/۲۵ درصد کمتر شده است.

همانند نتایج قبلی، میانگین متحرک داده‌های سالیانه عملکرد حبوبات نیز نشان داد که تغییرات عملکرد عدس دیم منفی و روند تغییرات عملکرد لوبیای دیم و آبی، افزایشی و بیشتر از نخود آبی و دیم و همچنین کل حبوبات بوده است. شیب خط رگرسیونی میانگین متحرک عملکرد سالیانه عدس دیم (۱/۵۱ کیلوگرم در هکتار در سال) کمتر (منفی‌تر) از این شیب در عملکرد سالیانه عدس بود (شکل ۲). اگرچه تغییرات سالیانه عملکرد بسیار شدید بوده و روند قابل پیش‌بینی نداشته است، اما به نظر می‌رسد که تمامی عملکردها پس از نقطه اوج خود در سال ۱۳۸۲ در ادامه دوره مطالعه مجدداً کاهش پیدا کرده‌اند (شکل ۲). به دلیل مقطعی بودن این افزایش، به نظر می‌رسد که تغییرات بارش عامل اصلی بروز این وضعیت باشد. اگرچه سهم زیادی از نوسانات عملکرد حبوبات به رقابت علف‌های هرز، تاریخ کاشت نامناسب، عملیات زراعی نامطلوب و به‌طور کلی مدیریت غیراصولی محصول نسبت داده می‌شود (Karim Mojini et al., 2004)، اما به نظر می‌رسد با بروز تغییرات اقلیمی، به دلیل تغییرات دماهای حدی و میزان و



شکل ۳- روند ۳۳ ساله قدرمطلق باقیمانده نسبی عملکرد نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی و کل حبوبات ایران
Fig. 3. The 33-year trend of relative residuals of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil and pulses of Iran

عملکرد لوبیای دیم رو به افزایش و لوبیای آبی رو به کاهش بوده است و در طی دوره زمانی مورد مطالعه، عملکرد لوبیای آبی در مقایسه با لوبیای دیم باقیمانده نسبی بیشتر و در نتیجه ثبات عملکرد کمتری داشته است (شکل ۳). عادات رشدی

اما این روند برای عملکرد لوبیای آبی، هر ساله با حدود ۰/۱۲ درصد افزایش، به سوی بی‌ثباتی بیشتر پیش رفته است ولی با در نظر گرفتن این‌که دامنه تغییرات آن (۰/۲ تا ۲۸/۳ درصد) از نخود دیم کمتر بوده است، می‌توان گفت که ثبات

را در مقایسه با سایر حبوبات مورد مطالعه داشت. شیب افزایش آنومالی و در نتیجه افزایش عملکرد لوبیای دیم بیشتر از لوبیای آبی بوده است و مقایسه این دو محصول نشان می‌دهد که ثبات عملکرد لوبیای آبی نسبت به دیم بیشتر بوده است.

درصد ضریب تغییرات (CV): اگرچه روند تغییر درصد ضریب تغییرات لوبیای دیم تقریباً ثابت (۰/۰۲ درصد) بود (شکل ۵)، اما دامنه تغییر ضریب تغییرات عملکرد این محصول (بین ۶/۹ تا ۳۸/۶۷ درصد، با میانگین ۲۵/۳ درصد) بیشتر از دیگر حبوبات مورد مطالعه بود. ضریب تغییرات به عنوان معیاری ساده و پُرکاربرد، انحراف معیار عملکرد نسبت به میانگین را در محیط‌ها، دوره‌های زمانی و یا سال‌هایی مختلف اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین ضریب تغییرات بیشتر عملکرد به معنای نوسانات بیشتر و در نتیجه بی‌ثباتی بیشتر عملکرد است (Ray et al., 2015) بنابراین لوبیای دیم بیشترین بی‌ثباتی عملکرد را در بین حبوبات مورد مطالعه داشته است.

ضریب تغییرات لوبیای دیم، روند مشخصی را نشان نداد و بر این اساس ثبات عملکرد این محصول در طی دوره مورد مطالعه بی‌تغییر بوده است. این شاخص برای نخود دیم (هر چهار سال ۰/۰۶ درصد معادل ۰/۰۱۶ درصد در سال) بود که نشان‌دهنده ثابت بودن آن در طی دوره مورد مطالعه است. از سوی دیگر، ثبات عملکرد نخود آبی به دلیل افزایش ضریب تغییرات عملکرد آن‌ها (هر چهار سال ۰/۳۱ درصد معادل ۰/۰۷۹ درصد در سال) به‌طور مداوم رو به کاهش بوده است (شکل ۵). ضریب تغییرات عملکرد عدس دیم تا حدود سال ۱۳۸۰ رو به افزایش بوده و پس از آن کاهش یافته است، اما این روند برای عدس آبی معکوس بوده است، به‌گونه‌ای که پس از کاهش ضریب تغییرات عملکرد تا حدود سال ۱۳۷۶، روندی افزایشی داشته است. بنابراین برآیند این نتایج سبب شده تا به‌طور کلی ضریب تغییرات عملکرد کل حبوبات و در نتیجه بی‌ثباتی آن سالانه معادل ۰/۰۳۹ درصد (هر چهار سال ۰/۱۵ درصد) افزایش یابد. (Reckling et al., 2015) ضمن مطالعه عملکرد ۱۷ ساله چاودار (*Secale cereale* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت سیلویی (*Zea mays* L.)، یولاف بهاره (*Avena sativa* L.)، لوبین (*Lupinus angustifolius* L.) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) با استفاده از ضریب تغییرات عملکرد، گزارش کردند که حبوبات (لوبین و نخودفرنگی) ثبات عملکرد کمتری را در مقایسه با سایر گیاهان داشتند. به‌طور کلی عملکرد حبوبات نوسانات زیادی دارد و به نظر می‌رسد تأثیرپذیری زیاد عملکرد از شرایط آب و هوایی ناشی از ضعف مدیریت زراعی (Reckling et al.,

حبوبات محدود است و این امر توانایی مقابله آن‌ها با تغییرات فراهمی آب را کاهش می‌دهد و از طرفی، آفات و بیماری‌های گیاهی بیشتر و مقاومت کمتر آن‌ها به تهاجم علف‌های هرز در مقایسه با سایر گیاهان زراعی و همچنین جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی آن‌ها نوسانات عملکرد حبوبات را افزایش می‌دهد (Reckling et al., 2015; Tao et al., 2008).

دامنه تغییرات باقیمانده نسبی عملکرد عدس دیم ۷۱/۹ درصد (از ۰/۴ تا ۷۲/۳ درصد) و عدس آبی ۵۹/۲ درصد (از ۰/۲ تا ۵۹/۴ درصد) بوده است که حاکی از ثبات بسیار پایین عملکرد عدس می‌باشد. روند افزایشی باقیمانده نسبی عملکرد عدس دیم (افزایش سالانه ۰/۱۳ درصد) نیز نشان‌دهنده افزایش هر ساله بی‌ثباتی عملکرد است، اما این روند برای عدس آبی تقریباً ثابت (۰/۰۳ - درصد) بوده است که نشان می‌دهد علاوه بر این که عدس آبی در طی دوره مورد مطالعه عملکرد بی‌ثبات داشته، هیچ روند رو به بهبودی نیز نداشته است (شکل ۳). حبوبات به شرایط محیطی حساسیت بالایی دارند، لذا نسبت به تنش‌های زیستی نیز حساس هستند و علاوه بر این منبع مقاومت این محصولات نیز هنوز به خوبی شناسایی نشده‌اند؛ از این رو مقاومت‌هایی که نسبت به هر عامل محرک نوسان عملکرد ایجاد می‌شوند، زودگذر و یا به ناحیه خاصی محدود می‌شوند (Parsa & Bagheri, 2008). بنابراین ادامه و گسترش تحقیقات مربوط به ایجاد مدیریت عمودی ژن و مقاومت‌های چندگانه به منظور بهبود ثبات عملکرد حبوبات ضروری به نظر می‌رسد. نخود و عدس به تنش‌های آخر فصل و همچنین بیماری‌ها از جمله برق‌زدگی^۱ و پژمردگی فوزاریومی^۲ بسیار حساسند و بی‌توجهی به کنترل این بیماری‌ها و همچنین مدیریت نامناسب زراعی به‌ویژه در زمینه بهره‌گیری نامناسب از سموم قارچ‌کش و همچنین کودها، نوسانات زیادی در عملکرد این محصولات ایجاد می‌کند (Taheri et al., 2011; Parsa & Bagheri, 2008).

تفاضل عملکرد سالانه حبوبات از میانگین کل عملکرد دوره مورد مطالعه (آنومالی سالانه عملکرد) نیز همچون قدرمطلق باقیمانده نسبی عملکردها بسیار متغیر بود و با توجه به ضریب تبیین رگرسیون بین آنومالی سالانه عملکرد و سال‌های مورد مطالعه می‌توان گفت رابطه رگرسیونی ضعیفی بین آن‌ها وجود داشته است (شکل ۴). همچون نتایج مربوط به روند میانگین متحرک (شکل ۲)، روند آنومالی عملکرد لوبیای آبی و دیم شیب بالاتر و در نتیجه نرخ افزایش عملکرد بیشتری

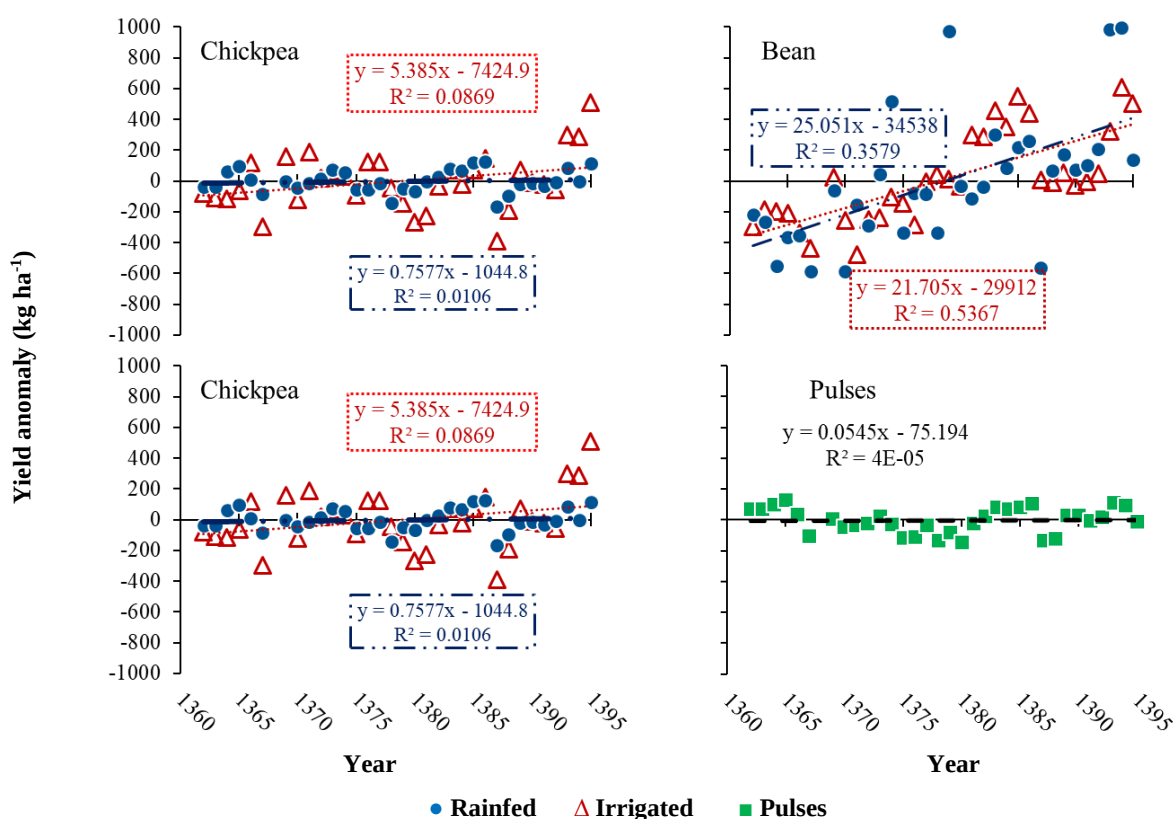
۱. *Didymella rabiei*

۲. *Fusarium oxysporum*

یکی از دلایل عمده شناخته‌شده در کاهش ثبات عملکرد حبوبات، وابستگی شدید عملکرد به آب و هوا، به‌خصوص در دوره‌های بحرانی فصل رشد است (Baghdadi, 2005)، بنابراین انتظار می‌رود که محصولات دیم ثبات کمتری را نسبت به محصولات آبی داشته باشند؛ اما بر خلاف انتظار، شیب خط رگرسیونی نخود آبی (۰/۸۶) بیشتر از نخود دیم (۰/۴۱) و عدس آبی (۰/۸۴) بیشتر از عدس دیم (۰/۲۸) بود. بنابراین با توجه به این که مقدار شیب خط رگرسیون بین عملکرد یک گونه و شاخص محیطی، پاسخ‌گویی آن گونه در برابر تغییرات شرایط محیطی را نشان می‌دهد (De Vita et al., 2010)، می‌توان گفت که نخود و عدس آبی بی‌ثباتی عملکرد بیشتری را در سال‌های مورد مطالعه در مقایسه با کشت دیم خود داشته‌اند.

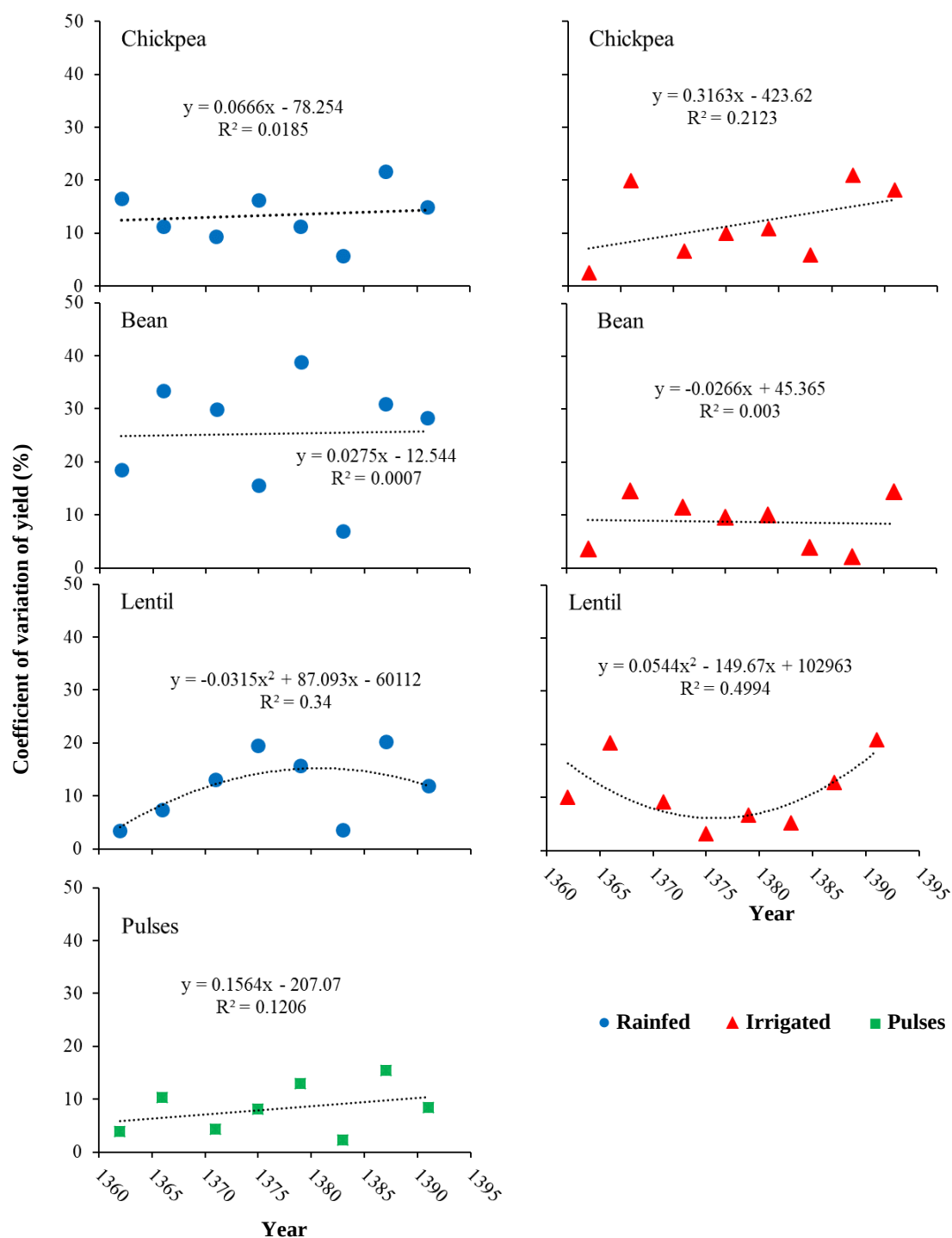
مهم‌ترین عامل کاهش ثبات عملکرد حبوبات در ایران باشد.

مدل فینلی-ویلکینسون: شیب خط رگرسیون بین عملکرد نسبی سالانه حبوبات مورد بررسی (به‌عنوان شاخص محیطی عملکرد) و عملکرد نسبی هر کدام از حبوبات مورد مطالعه مثبت بود (شکل ۶) که حاکی از بی‌ثباتی قابل توجه عملکرد تمامی حبوبات کشور است. از آن‌جا که وجود اثر متقابل بین گیاه زراعی و محیط و یا ژنوتیپ و محیط در تحقیقات زراعی و اصلاحی به‌وسیله تغییرات عملکرد نسبی آن گیاه زراعی و یا ژنوتیپ در سال‌ها یا محیط‌های مختلف تشریح می‌شود (Lopez-Cruz et al., 2018)، بنابراین لوبیای دیم و آبی که دارای بالاترین شیب‌های خط (به‌ترتیب ۱/۴۹ و ۱/۳) بودند، بی‌ثبات‌ترین عملکرد را در بین تمامی حبوبات داشتند.

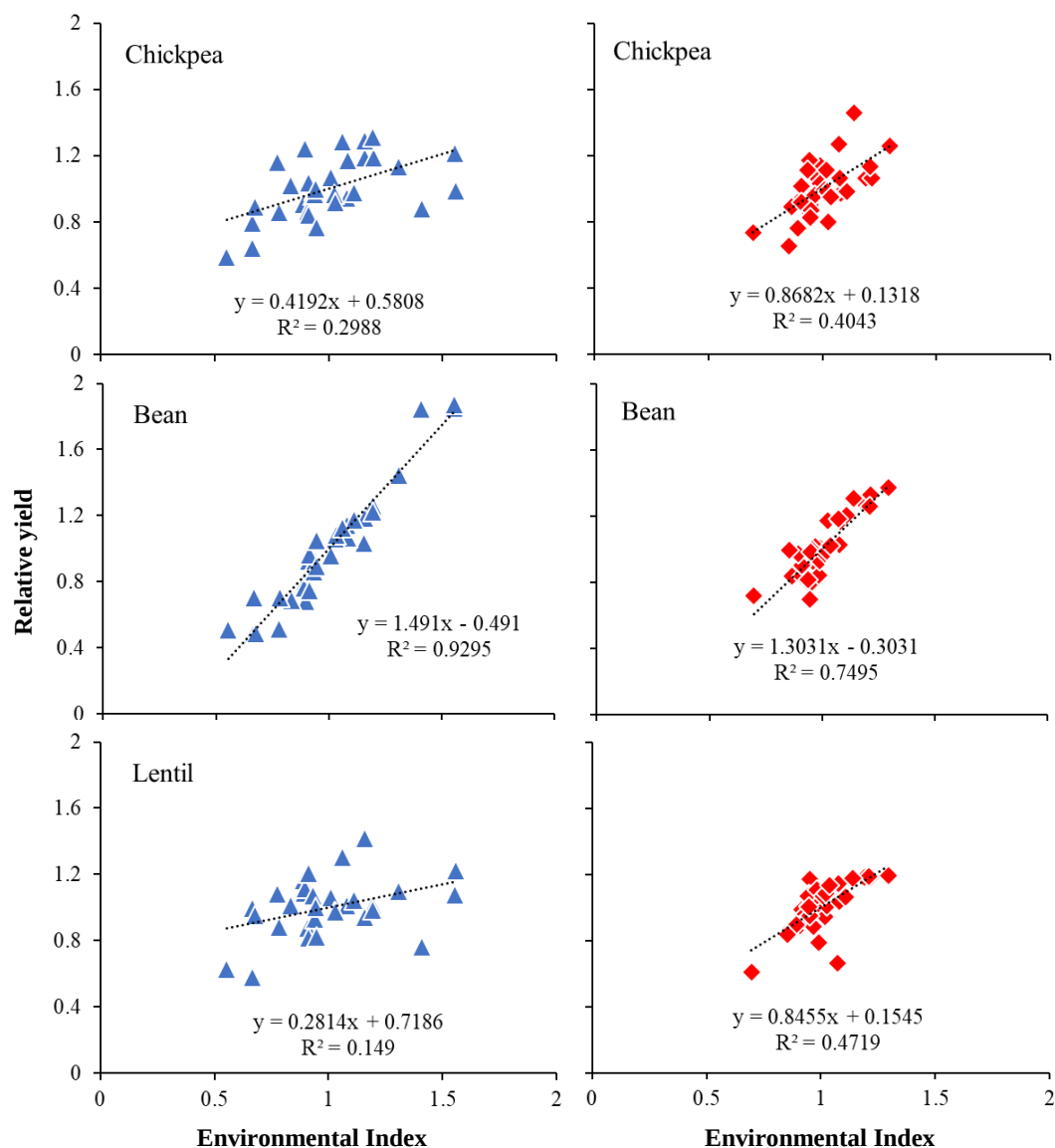


شکل ۴- آنومالی عملکرد در روند ۳۳ ساله عملکرد نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی و کل حبوبات ایران

Fig. 4. The 33-year yield trends of yield anomaly of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil and pulses of Iran



شکل ۵- ضریب تغییرات (CV) عملکرد ۳۳ ساله نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی و کل حبوبات ایران
 Fig. 5. Coefficient of variation of the yield of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil and pulses of Iran



شکل ۶- رابطه بین شاخص محیطی (میانگین نسبی همه حبوبات دیم و آبی در هر سال) و عملکرد نسبی نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی در طی ۳۳ سال گذشته

Fig. 6. Relation between environmental index (relative mean of yearly yield of all pulses) and relative yield of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil over the past 33 years

از نهاده‌های تولید است که به‌عنوان موانعی مهم، عملکرد حبوبات آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تهیه بستر نامطلوب و استفاده گسترده از گاواهن‌های برگردان‌دار در زراعت حبوبات، تراکم و تاریخ کاشت نامطلوب، استفاده از ارقام نامناسب برای هر منطقه، ضعف در به‌کارگیری روش‌های موثر کنترل علف‌های هرز (مکانیکی و شیمیایی) و بی‌توجهی به استفاده از کودها (مثل کودهای نیتروژنه به‌عنوان آغازگر و کودهای فسفره در شرایطی که مقدار فسفر خاک کمتر از ۶ میلی‌گرم در کیلوگرم است)، از مهم‌ترین عوامل ایجاد نوسان عملکرد و

به‌طور کلی نوسانات بارندگی در سال‌های مختلف و تغییرات مقدار و نحوه پراکنش بارندگی‌ها، نوسانات درجه حرارت و عدم وقوع بارندگی و کمبود رطوبت قابل‌دسترس در بخشی از فصل رشد که از ویژگی‌های خاص زراعت دیم است، باعث می‌شود که ریسک تولید زراعت دیم بالاتر و میزان ثبات عملکرد و پایداری تولید نسبت به زراعت‌های آبی کمتر باشد (Hamzei & Seyed, 2013)، اما ثبات بیشتر عملکرد حبوبات دیم نسبت به آبی در ایران را می‌توان از دو دیدگاه بررسی کرد. اول، اختلاف در مدیریت زراعی و استفاده نامناسب

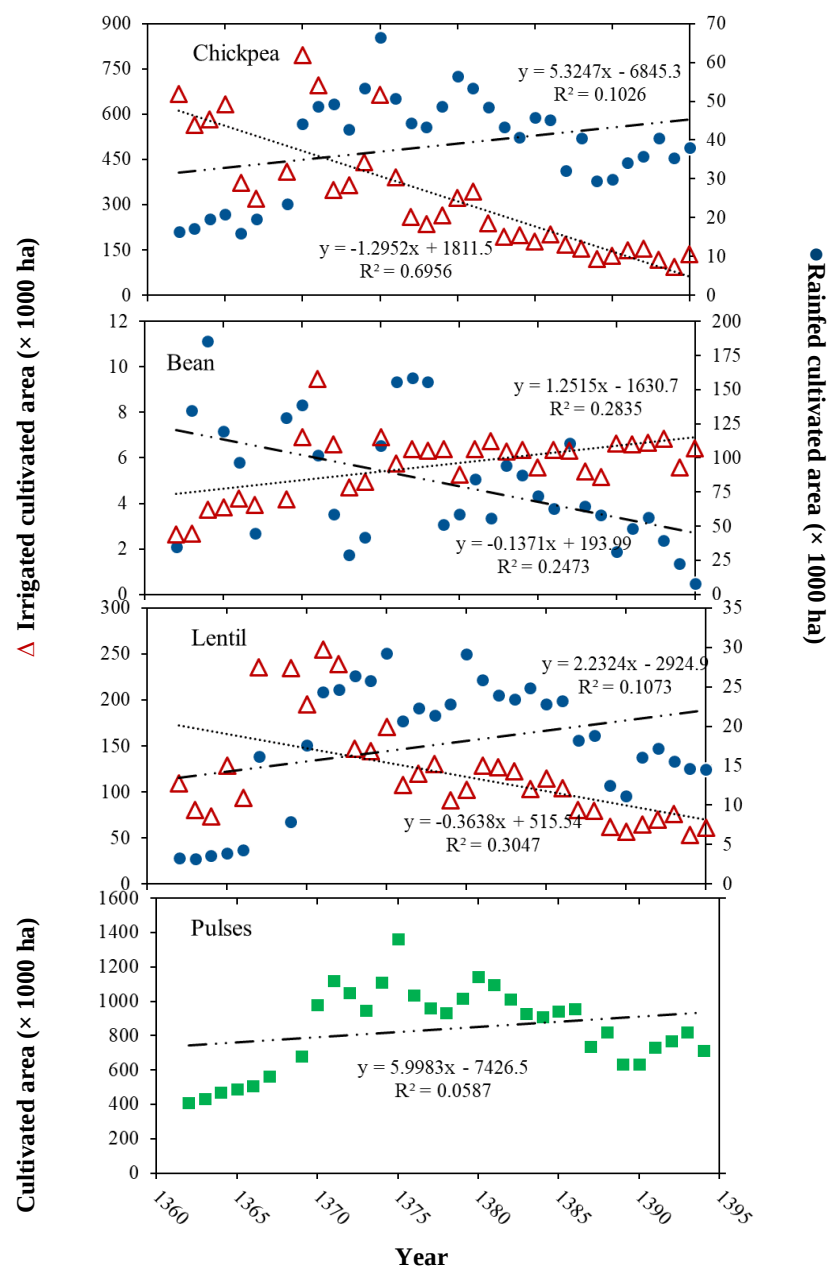
محصولات است. البته با توجه به شیب خط رگرسیونی داده‌ها، عملکرد عدس به مراتب بی‌ثبات‌تر از نخود بوده است (شکل ۹). با توجه به این که عملکرد محصولات آبی بیشتر از دیم است (شکل ۱) و سطح زیرکشت نخود و عدس آبی در طی دوره مورد مطالعه به‌طور پیوسته کاهش یافته است (شکل ۷)، این امر به‌علاوه افزایش سطح زیرکشت نخود و عدس دیم را می‌توان یکی از دلایل افت قابل توجه ثبات این دو محصول دانست. افزایش زیرکشت نیازمند اجرای سیاست‌های کلان تسهیل‌کننده مکانیزاسیون در جهت مدیریت مؤثر مزارع نیز می‌باشد که خود به عواملی چون جمعیت، تولید ناخالص داخلی، میزان سطح دستمزدها، فقر روستایی، اهداف مکانیزاسیون و سیاست‌های کلان کشور بستگی دارد (Amjadi & Chizari, 2006). از آن‌جا که تاکنون برنامه کلان ملی برای حمایت از افزایش تولید حبوبات وجود نداشته است، به نظر می‌رسد که افزایش سطح زیرکشت حبوبات با توسعه مکانیزاسیون کشاورزی برای این محصولات نیز هماهنگی نداشته است. از دلایل دیگر می‌توان به تغییر کاربری و اختصاص کاربری مراتع کم‌بازده و زمین‌های نامرغوب به کشت محصولات کشاورزی (Beheshti et al., 2014; Joneidi et al., 2011) اشاره کرد. نوسانات عملکرد و ثبات پایین عملکرد حبوبات یکی از دلایل اصلی عدم تمایل کشاورزان به کشت این محصولات و در نتیجه کاهش سطح زیرکشت آن‌ها است (Von Richthofen et al., 2006)، بنابراین بی‌ثباتی فزاینده نخود و عدس آبی موجب می‌شود تا کشاورزان به جای اختصاص زمین‌های آبی خود به کشت این دو محصول، آن را به کشت محصولات دیگر اختصاص دهند.

بر خلاف نخود دیم، نخود آبی در سطوح زیرکشت بالاتر باقیمانده عملکرد کمتری داشته است، بنابراین می‌توان گفت که ثبات بیشتر عملکرد محصول هنگامی به‌دست آمده است که سطح زیرکشت بیشتری به آن اختصاص داده شده است (شکل ۹). با توجه به این که سطح زیرکشت نخود هرساله کاهش چشمگیری پیدا کرده (شکل ۷)، کاهش ثبات عملکرد نخود آبی را سبب شده است (شکل‌های ۵ و ۶). نتایج پژوهش (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) که با روشی مشابه، رابطه بین میزان سطح زیرکشت و ثبات عملکرد غلات ایران را بررسی کرده بودند، حاکی است که با افزایش سطح زیرکشت گندم، جو، برنج، ذرت و مجموع کل غلات، ثبات عملکرد آن‌ها افزایش پیدا کرده است.

کاهش ثبات آن در زراعت آبی حبوبات هستند (Parsa & Bagheri, 2008). دوم، استفاده از بذرهایی برای زراعت دیم حبوبات است که یا توده‌هایی بومی هستند- که اگرچه کم‌بازده اند و عملکرد کمی دارند، اما به شرایط اکولوژیکی مناطق مورد کشت و کار خود سازگاری دارند- یا ارقام اصلاح‌شده‌ای از توده‌های بومی هستند که در مقایسه با ارقام مورد کشت و کار در زراعت آبی، کارایی مطلوب‌تری برای عملکرد بالا و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی و مدیریت کمتر دارند (Shobeyri et al., 2015; Xiao et al., 2008; Jeuffroy & Ney, 1997; Dwivedi et al., 2016) در همین راستا، به عقیده Calderini & Slafer (1999) بر اثر به‌نژادی گونه‌های زراعی، شیب خط رگرسیون بین شاخص محیطی و عملکرد در ارقام جدید گیاهان زراعی به طور معنی‌داری از ارقام قدیمی‌تر آن و همچنین توده‌های بومی بیشتر شده است و بنابراین ثبات عملکرد در جریان اصلاح برای بهبود عملکرد کاهش پیدا کرده است.

رابطه ثبات عملکرد و سطح زیرکشت حبوبات: در طی دوره ۳۳ ساله مورد مطالعه، بیشترین سطوح زیرکشت حبوبات دیم به‌ترتیب به نخود، عدس و لوبیا تعلق داشت و بیشترین سطح زیرکشت آبی را نیز به‌ترتیب لوبیا، نخود و عدس داشتند (شکل ۷). بررسی روند بلندمدت سطح زیرکشت حبوبات اصلی و کل حبوبات ایران نشان داد که سطح زیرکشت نخود و عدس دیم در حال افزایش و سطح زیرکشت نخود و عدس آبی رو به کاهش بوده است، به‌طوری که سطح زیرکشت نخود دیم سالانه ۵۳۲۴/۷ هکتار افزایش و نخود آبی سالانه ۱۲۹۵/۲ هکتار کاهش پیدا کرده است و سطح زیرکشت عدس دیم نیز سالانه ۲۲۳۲/۴ هکتار افزایش و عدس آبی سالانه ۳۶۳/۸ هکتار کاهش یافته است (شکل ۷). هرساله نسبت سطح زیرکشت نخود و عدس دیم به آبی نیز افزایش پیدا کرده است که این میزان برای نخود از چهار برابر به ۶۲/۷ برابر (افزایش سالانه ۱/۴۸ برابر) و برای عدس از نسبت ۲/۲ برابر به ۲۰ برابر (افزایش سالانه ۰/۵ برابر) رسیده است (شکل ۸). با توجه به نتایج قبلی در خصوص روند بلندمدت افزایش ناچیز عملکرد نخود دیم (شکل ۱) و کاهش ثبات عملکرد آن (شکل ۳ و ۵) و با در نظر گرفتن روند کاهشی عملکرد عدس دیم (شکل ۱) به نظر می‌رسد تغییرات سطح زیرکشت نخود آبی و دیم موجب بهبود ثبات عملکرد آن‌ها نشده است.

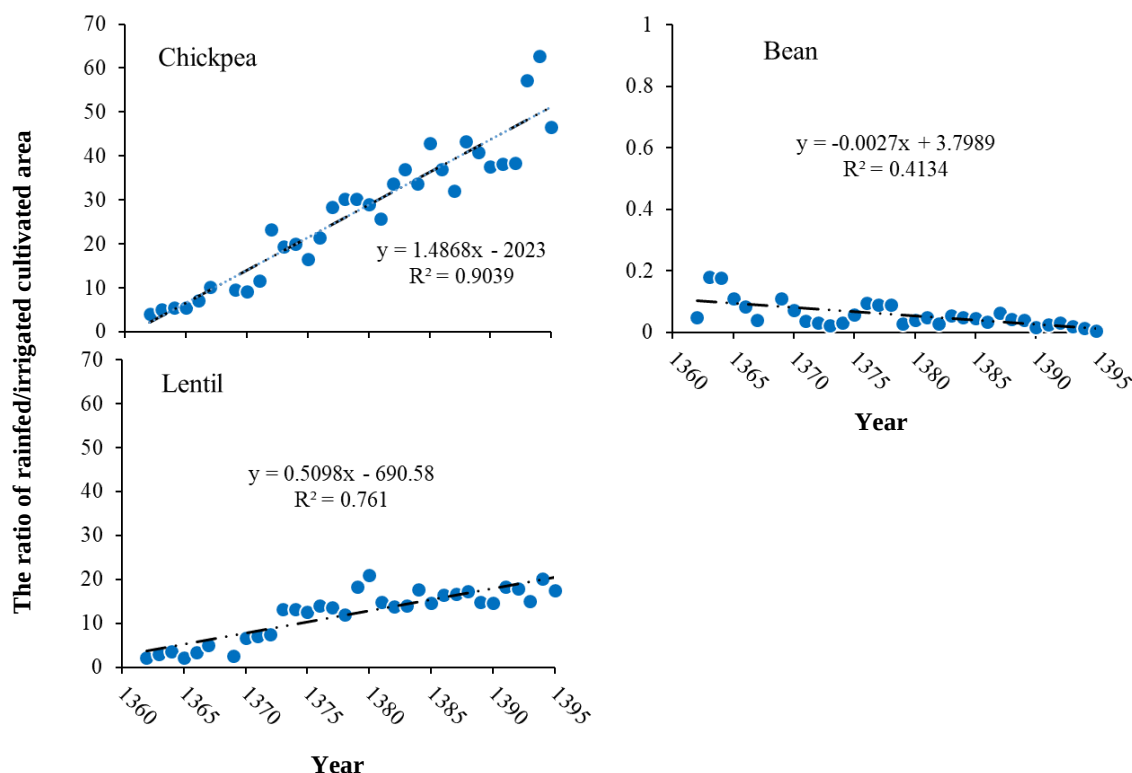
با افزایش سطح زیرکشت نخود و عدس دیم، قدرمطلق باقیمانده عملکرد، به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی ثبات عملکرد محصول افزایش یافت که به معنای کاهش ثبات عملکرد این



شکل ۷- روند ۳۳ ساله تغییرات سطح زیرکشت نخود، لوبیا و عدس دیم (●) و آبی (Δ) و کل حبوبات (■) ایران (مقادیر سطح زیرکشت و بنابراین شیب خط یا ضریب X در هر معادله رگرسیونی، ضربی برابر با ۱۰۰۰ دارند)

Fig. 7. The 33-year trend of cultivated area of rainfed (●) and irrigated (Δ) chickpea, bean and lentil and pulses (■) of Iran

(The values of cultivated area and therefore, the slopes of each regression line or x have a coefficient equal to 1000)

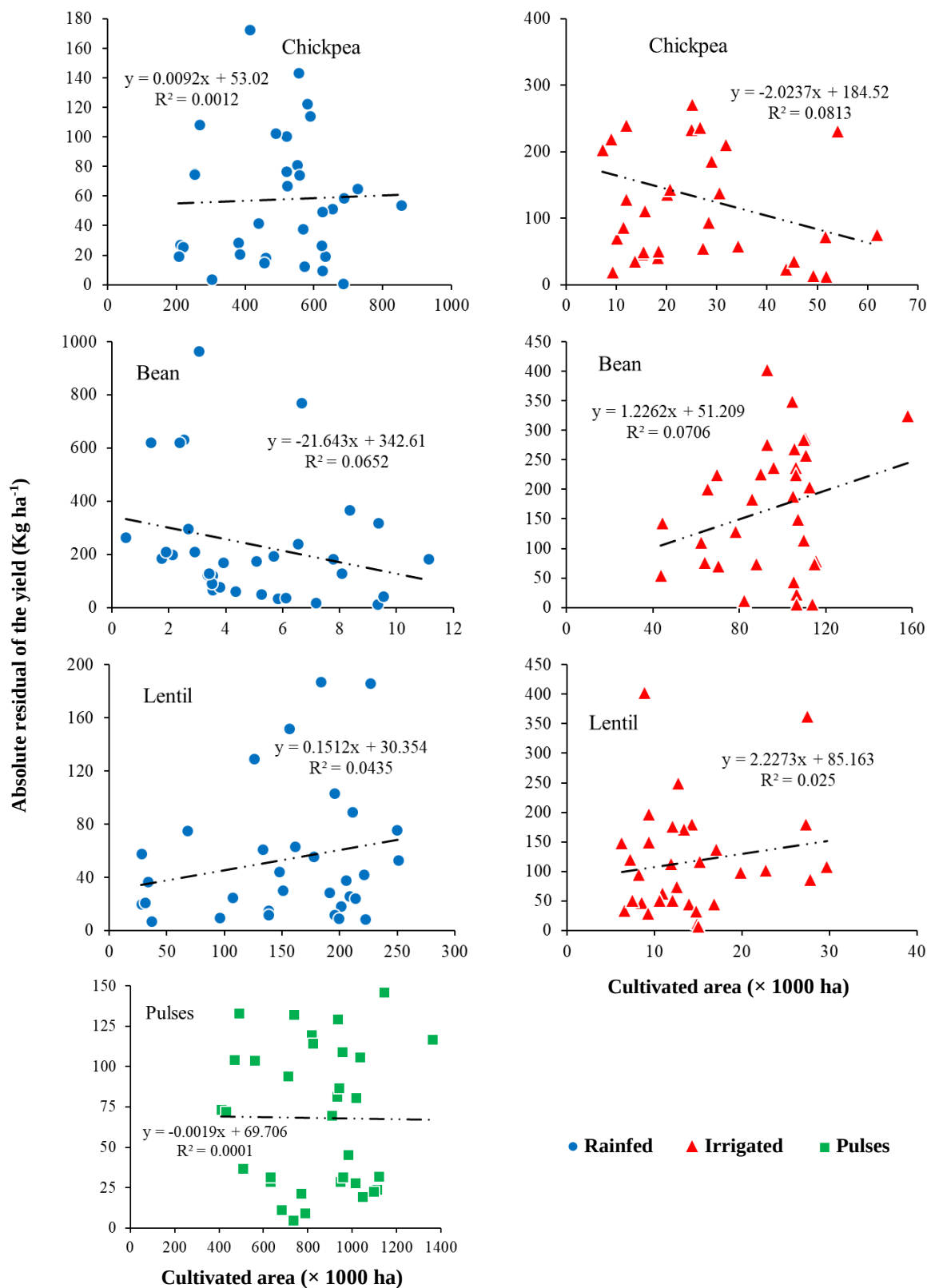


شکل ۸- روند ۳۳ ساله تغییر نسبت سطح زیر کشت دیم به آبی نخود، لوبیا و عدس در ایران

Fig. 8. The 33-year trend of the ratio of rainfed/irrigated cultivated area of chickpea, bean and lentil in Iran

کمتر شده است. برخلاف لوبیای دیم، قدرمطلق باقیمانده عملکرد لوبیای آبی در سطوح زیر کشت بیشتر، کمتر بوده است (شکل ۹)، بنابراین با توجه روند افزایشی سطح زیر کشت لوبیای آبی، ثبات عملکرد آن رو به بهبود بوده است (شکل ۷). عوامل کلان مؤثر بر سطح زیر کشت و عملکرد محصولات کشاورزی و در نتیجه متغیرهای اصلی تأثیرگذار بر مقدار تولید، علاوه بر عوامل اقلیمی، به شرایط اقتصادی، نوع ارقام گیاهان زراعی و باغی مورد استفاده، کفایت منابع آب، استفاده از فناوری‌های جدید در کشاورزی، حمایت‌های دولتی و مزیت نسبی تولید محصولات نیز وابسته است (Zare Abyaneh & Bayat, 2016; Varkeshi, 2014; Kanooni, 2016). به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای آن قرار می‌گیرند. سطح زیر کشت حبوبات در اروپا از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۳ به دلایلی از جمله محدودیت‌های کشاورزی مثل خلاء عملکرد حبوبات و جایگزینی و افزایش تک‌کشتی گسترده دیگر محصولات (تغییر الگوی کشت) و محدودیت‌های مربوط به بازار، حدود ۶۴ درصد کاهش یافته و از ۴/۷ درصد به ۱/۷ درصد از کل زمین‌های کشاورزی اروپا رسیده است (Reckling et al., 2015).

بر خلاف نخود و عدس، سطح زیر کشت لوبیای دیم سالانه به میزان ۱۳۷/۱ هکتار در سال کاهش و لوبیای آبی سالانه ۱۲۵۱/۵ هکتار افزایش پیدا کرده است (شکل ۷)، بنابراین نسبت سطح زیر کشت دیم به آبی لوبیا نیز هرساله کاهش یافته و از ۰/۴۸ به ۰/۱۴ رسیده است (شکل ۸). نتایج اخیر علاوه بر این که نشان‌دهنده روند قابل توجه کاهش سطح زیر کشت لوبیای دیم است، حاکی از غلبه قابل توجه کشت آبی بر کشت دیم این محصول نیز هست. لوبیا محصولی با کشت تابستانه است و به دلیل اقلیم خشک ایران کشت دیم این محصول قاعداً در مناطق محدودی از کشور شدنی است. کاهش مداوم ثبات عملکرد لوبیای دیم (شکل ۶)، تغییرات اقلیمی جهانی، خشک‌تر شدن اقلیم ایران (Amiri & Eslamian, 2010) و از بین رفتن امکان کشت دیم لوبیا را شاید بتوان از دلایل عمده کاهش سطح کشت این محصول دانست. (Tao et al., 2008). نیز تغییر الگوی کشت در مناطق دیم‌خیز را در کاهش سطح زیر کشت محصولات مؤثر می‌داند. لوبیای دیم در سطوح زیر کشت بالاتر قدرمطلق باقیمانده عملکرد مقادیر بیشتر و بنابراین ثبات کمتری داشته است (شکل ۹)، بنابراین با توجه به روند کاهشی سطح زیر کشت این محصول، ثبات عملکرد آن نیز



شکل ۹- قدرمطلق باقیمانده عملکرد نخود، لوبیا و عدس دیم و آبی و کل حبوبات ایران به عنوان تابعی از سطح زیرکشت
 Fig. 9. Absolute residual of the yield of rainfed and irrigated chickpea, bean and lentil and pulses of Iran as the function of the cultivated area

2008)، بنابراین داشتن درک صحیحی از تغییرات اقلیم و آگاهی از اثرات آن، در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت افزایش سطح زیرکشت و بهبود ثبات عملکرد حبوبات از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

ثبات عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر در ایران نیز تغییر اقلیم در کنار عدم وجود برنامه‌های کلان افزایش عملکرد حبوبات، ثبات عملکرد آن‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که به‌طور کلی افزایش عملکرد حبوبات کشور قابل‌توجه نبوده و در این راستا، روند بهبود سالانه عملکرد نخود و عدس (چه آبی و چه دیم) به مراتب کمتر از لوبیا بوده است. عملکرد حبوبات در طی ۳۳ سال گذشته نوسانات زیادی داشته و ضریب تغییرات عملکرد آن‌ها تقریباً ثابت بوده است. بر اساس نتایج مدل فینلی-ویلکینسون نیز تمامی حبوبات ایران عملکرد بی‌ثباتی داشته‌اند که در این بین، لوبیا کمترین ثبات عملکرد را داشته است. با وجود این که ضریب تغییرات عملکرد عدس دیم بیشتر از عدس آبی و روند کاهش ثبات آن شدیدتر بوده است بر اساس مدل فینلی-ویلکینسون افت ثبات عملکرد عدس دیم نسبت به عدس آبی و نیز سایر حبوبات بیشتر بوده است.

سطح زیرکشت نخود و عدس دیم رو به کاهش و نخود و عدس آبی رو به افزایش بوده است. مقدار سطح زیرکشت لوبیای دیم در مقایسه با کشت آبی این محصول ناچیز و روند آن کاهشی بوده، اما این روند برای لوبیای آبی معکوس بود. با توجه به این که ثبات عملکرد نخود آبی و لوبیای دیم با میزان سطح زیرکشت آن‌ها رابطه مستقیم داشت، روند تغییرات سطح کشت آن‌ها در خلاف جهت بهبود ثبات عملکرد آن‌ها بود. رابطه ثبات عملکرد با سطح زیرکشت نخود دیم، لوبیای آبی و عدس آبی و دیم معکوس بود. بنابراین بیشترین ثبات عملکرد در شرایطی به‌دست آمد که سطح زیرکشت این محصولات کم بوده است، بنابراین افزایش سطح زیرکشت آن‌ها موجب کاهش ثبات عملکرد آن‌ها شده است.

با توجه به یافته‌های این پژوهش، تدوین سیاست‌های یکپارچه و مؤثر در جهت گسترش پژوهش‌های علمی در زمینه تولید ارقام جدید حبوبات، کاهش خلاء و بهبود ثبات عملکرد آن‌ها و همچنین اقدامات ترویجی و حمایتی در زمینه بهبود مدیریت بوم‌نظام‌های تولید حبوبات و همچنین تخفیف اثرات تغییر اقلیم بر این محصولات، ضروری به نظر می‌رسد.

اما در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک (مثل ایران) که نوسانات عملکرد تأثیر قابل‌توجهی از فراهمی آب می‌پذیرد، به نظر می‌رسد پراکندگی‌های زمانی و مکانی بارش‌ها و نوع و مقدار آن‌ها اثر شدیدتری را نسبت به دیگر عوامل تولید بر ثبات عملکرد (Xiao et al., 2008) و در نتیجه، تمایل کشاورزان برای اختصاص زمین‌های کشاورزی خود به کشت حبوبات داشته باشد.

به‌طور کلی افزایش سطح زیرکشت یکی از عوامل مؤثر بر افزایش ثبات عملکرد است و این امر در مطالعات بسیاری همچون یافته‌های (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) نیز گزارش شده، اما افزایش سطح زیرکشت کل حبوبات کشور (شکل ۷) موجب بهبود ثبات عملکرد آن نشده است (شکل ۹). به‌طور کلی حبوبات نوسانات عملکرد سالیانه بیشتر و در نتیجه ثبات عملکرد کمتری در مقایسه با دیگر گیاهان زراعی و به‌خصوص غلات دارند (Zander et al., 2015; Cernay et al., 2016). نتایج بررسی ثبات عملکرد ۴۰ ساله کلزا که در کشورهای مختلف به روش باقیمانده رگرسیون انجام شد، نشان داد که با افزایش سطح زیرکشت، مقدار باقیمانده رگرسیونی کاهش و در نتیجه ثبات عملکرد افزایش یافته است (Rondanini et al., 2012) که نتیجه‌ای متناقض با یافته‌های حاضر است. به عقیده Nassiri Mahallati & Koocheki (2014) به دلیل این که هنگام ارزیابی رابطه ثبات و سطح زیرکشت در مقیاس‌های بزرگ، هر دو اراضی کم‌بازده و پربازده در محاسبات وارد می‌شوند، با تعدیل و پوشانده شدن تغییرات غیرهم‌جهت، برآیند کلی ثبات افزایش پیدا می‌کند. با توجه به آمار مورد بررسی در این پژوهش، حبوبات ایران از تنوع کمی برخوردار هستند و بیش از ۹۰ درصد عملکرد و سطح زیرکشت حبوبات کشور را تنها سه محصول اصلی مورد مطالعه در این پژوهش، یعنی نخود، لوبیا و عدس تشکیل می‌دهد.

Koocheki et al, (2006) ضمن بررسی ابعاد مختلف تنوع در محصولات زراعی ایران گزارش کردند که به‌طور کلی نظام‌های زراعی کشور تنوع کمی دارند و این امر به تدریج موجب کاهش ثبات آن‌ها می‌شود، بنابراین به نظر می‌رسد در ایران نیز ثبات کم عملکرد حبوبات یکی از مشکلات اصلی در تولید آن‌ها در مقایسه با سایر گیاهان زراعی بوده است (Kanooni, 2016; Koocheki et al., 2015). همچنین، نوسانات عملکرد را که خود ناشی از عوامل مدیریتی و اقلیمی دیگر است، می‌توان از دلایل عمده عدم بهبود مؤثر سطح زیرکشت حبوبات قلمداد کرد. از آن‌جا که تغییر اقلیم عامل محرکه ایجاد نوسانات بیشتر در عملکرد است (Tao et al.,

منابع

1. Ahmadi, M., Lashkari, H., Keykhosravi, Gh., and Azadi, M. 2015. Analysis of the extreme indices of temperature in order to detection of climate change of great Khorasan. *Journal of Geography* 13(3): 53-75. (In Persian).
2. Amiri, M.J., and Eslamian, S.S. 2010. Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology* 3(4): 208-216.
3. Bénézit, M., Biarnès, V., and Jeuffroy, M.H. 2017. Impact of climate and diseases on pea yields: what perspectives with climate change? *Oilseeds and fats, Crops and Lipids Sciences* 24(1): 1-9.
4. Beheshti, A., Raiesi, F., and Golchin, A. 2011. The Effects of land use conversion from pasturelands to croplands on soil microbiological and biochemical indicators. *Journal of Water and Soil* 25(3): 548-562. (In Persian).
5. Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 1999. Has yield stability changed with genetic improvement of wheat yield? *Euphytica* 107: 51-59.
6. Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., and Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomic. *Field Crops Research* 15: 1-14.
7. Cernay, C., Ben-Ari, T., Pelzer, E., Meynard, J.M., and Makowski, D. 2015. Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific Reports* 5: 1-11.
8. De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Matteu, L., Mazzucotelli, E., Virzì, N., Palumbo, M., Lo Storto, M., Rizza, F., and Cattivelli, L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. *Field Crops Research* 119: 68-77.
9. Duc, G., Agrama, H., Bao, S., Berger, J., Bourion, V., De Ron, A.M., Gowda, C.L.L., Mikic, A., Millot, D., Singh, K.B., Tullu, A., Vandenberg, A., Vaz Patto, M.C., Warkentin, T.D., and Zong, X. 2015. Breeding annual grain pulses for sustainable agriculture: new methods to approach complex traits and target new cultivar ideotypes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34(1): 381-411.
10. Dwivedi, S.L., Ceccarelli, S., Blair, M.W., Upadhyaya, H.D., Are, A.K., and Ortiz, R. 2016. Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in Plant Science* 21(1): 31-42.
11. Food and Agriculture Organization (FAO). 2019a. Adaptation and Yield Stability. Available at website: <http://www.fao.org/3/y4391e/y4391e05.htm> (Verified 1 October 2019).
12. Food and Agriculture Organization (FAO). 2019b. Measures of Yield Stability and Reliability. Available at website: <http://www.fao.org/3/y4391e/y4391e0a.htm> (Verified 1 October 2019).
13. Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian journal of agricultural research* 14(6): 742-754.
14. Fischer, R.A., Santiveri, F., and Vidal, I.R., 2002. Crop rotation, tillage and crop residue management for wheat and maize in the sub-humid tropical highlands I. Wheat and legume performance. *Field Crops Research* 79: 107-122.
15. Heinemann, A.B., Ramirez-Villegas, J., Stone, L.F., and Didonet, A.D. 2017. Climate change determined drought stress profiles in rainfed common bean production systems in Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology* 246: 64-77.
16. Jeuffroy, M.H., and Ney, B. 1997. Crop physiology and productivity. *Field Crops Research* 53: 3-16.
17. Karim Mojini, H., Alizadeh, H.M., Majnoon Hoseyni, N., and Peyghambari, S.A. 2004. Effect of herbicides and handweeding in control of weed in winter seeding and spring sown lentil (*Lens culinaris*). *Journal of Iranian Agronomical Sciences* 6(1): 68-79. (In Persian with English Summary).
18. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Climate change effects on agricultural production of Iran: II. Predicting productivity of field crops and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14(1): 1-20. (In Persian).
19. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Najibnia, S., Lalehgani, B., and Porsa, H. 2015. Study of pulse crops biodiversity in agroecosystems of Iran. *Iranian Journal of Pulses Research* 6(2): 19-30. (In Persian with English Summary).
20. Lopez-Cruz, M., Crossa, J., Bonnett, D., Dreisigacker, S., Poland, J., Jannink, J.L., Singh, R.P., Autrique, E., and De los Campos, G. 2015. Increased prediction accuracy in wheat breeding trials using a marker×environment interaction genomic selection model. *G3 Journal* 5(4): 569-582.
21. Ministry of Agriculture Jihad. 2018. Statistics and Other Publications. Available at Website: http://www.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&PageID=11583&tempname=amar&sub=65&method=ShowModuleContent (verified 25 November 2018).
22. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Evaluation of the long-term trend of yield stability in the main cereals of the country. *Journal of Agroecology* 6(3): 607-621. (In Persian).

23. Parsa, M., and Bagheri, A.R. 2008. Pulses. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Iran. (In Persian).
24. Ray, D.K., Gerber, J.S., MacDonald, G.K., and West, C.P. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications* 6: 1-9.
25. Reckling, M., Dorling, T.F., Stein-Bachinher, K., Bloch, R., and Bachnger, J. 2015. Yield stability of grain legumes in an organically managed monitoring experiment. *Aspects of Applied Biology* 128: 57-62.
26. Shobeyri, S.S., Mostafaei, H., Shahab, M.R., and Kamel, M. 2015. Adaptation and seed yield stability of advanced lentil lines under cold rainfed conditions of Iran. *Journal of Seedling and Sapling Breeding* 31-1(3): 491-508. (In Persian).
27. Taheri, N., Fallahati Rastegar, M., Jafarpour, B., Bagheri, A.R., and Jahanbaghsh, V. 2011. Investigation resistance genotypes of lentil against isolates of *Fusarium wilt* isolated from north and Razavi Khorasan province. *Journal of Plant Production* 18(1): 105-118. (In Persian with English Summary).
28. Tao, F., Yokozawa, M., Liu, J., and Zhang, Z. 2008. Climate-crop yield relationships at provincial scales in China and the impacts of recent climate trends. *Climate Research* 38(1): 83-94.
29. Temesgena, T., Keneni, G., Sefera, T., and Jarso, M. 2018. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal* (In Press).
30. Verón, S.R., Paruelo, J.M., and Slafer, G.A. 2004. Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20th century. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 177-190.
31. Von Richthofen, J.S., Pahl, H., Bouttet, D., Casta, P., Cartrysse, C., Charles, R., and Lafarga, A. 2006. What do European farmers think about grain legumes? *Grain Legumes* 45: 14-15.
32. Zander, P., Amjath-Babu, T.S., Preissel, S., Reckling, M., Bues, A., Schläfke, N., Kuhlman, T., Bachinger, J., Uthes, S., Stoddard, F., and Murphy-Bokern, D. 2016. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 36(2): 26-46.
33. Zare Abyaneh, H., and Bayat Varkeshi, M. 2014. The long-term statistical study of three indices of annual yield, production and cultivated area of seventeen crops of Khorasan Razavi. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(3): 403-416. (In Persian with English Summary).

Evaluation of the long-term trend and yield stability of pulse crops in Iran

Mostafavi^{1*}, M.J., Hooshmand¹, M. & Nassiri Mahallati², M.

1. PhD. Student of Agroecology, Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad; mj.mostafavi@mail.um.ac.ir & hooshmand.mina@mail.um.ac.ir; respectively
2. Professor, Member of Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad; mnassiri@um.ac.ir

Received: 18 December 2018

Accepted: 9 November 2019

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.77599

Introduction

Climate change is an undeniable fact, and today this phenomenon has become a global issue. Its effects on crops yield and their stability facing increasing global climate change. Yield stability will be the most serious challenge for maintaining agricultural production and food security. After the cereals, pulses are the second most important source of food in Iran and the world, have great importance in agricultural systems and human nutrition. The yield of pulses has more variation than other crops, so the study of the yield stability of these crops can help the policy makers to develop the plans helping preservation and enhancement of pulses yield. The aim of this study was to research the yield stability of pulse crops in Iran for 33 years using different analytical methods.

Materials and Methods

All available statistics including the yield data on of chickpea, beans, and lentil data for the years 1983 to 2016, were collected from the published statistics by the Iranian ministry of agriculture. The residuals of regression between yield and time of the yields and its trends calculated from linear, bi-lines and tri-lines models which were selected based on the higher coefficient of determination (R^2) and normality of the residuals. Absolute values of the regression residuals were also used to calculate relative residuals of yields. The coefficient of variation (CV) for yields of every 4-year period was calculated by dividing the standard deviation by average. Mean yield of all pulses also were calculated as "Environment Index" to use in Finley-Wilkinson model. The positive slope of the residuals of linear regression, CV and Finlay-Wilkinson model means the increase of yield instability and slope of zero and the negative slope of the linear regression indicates relative stability and increase of stability of the yield, respectively.

Results and Discussion

The increase in rainfed chickpea yield over the studied period was low and close to $0.75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. The trend of rainfed lentil yield was negative with a slope of $-0.61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ and the highest amount of yield increasement belonged to rainfed and irrigated bean by 25.17 and $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. All the trends of residuals of pulses were positive that means instability of pulses yields over the studied period. Irrigated chickpea and rainfed lentil showed the highest CV trends and rainfed bean have had the highest range of values of CV. A CV as a simple and widely used parameter can show the standard deviation of the yield over the different environments and years, so higher values and positive trend of CV means higher fluctuations of yield level and its lower stability. Yield stability of the rainfed bean was lower than others but the trend of yield stability of irrigated chickpea and rainfed lentil is more than other pulses. Based on Finley-Wilkinson model, the trend of stability of all pulses was low and negative. Yield stability of the irrigated and rainfed bean was the lowest. Although due to the fact that rainfall is the major factor affecting the rainfed yield, it is expected that the irrigated yields to be more stable than rainfed yields, in contrary to our expectations, based on the results and the slope of the regression of the model, the yield of irrigated chickpea and lentil were more unstable than rainfed yield. The cultivated area of rainfed chickpea and lentil and irrigated beans showed a positive trend during the study period and inversely, the cultivated area of irrigated chickpea and lentil and rainfed

*Corresponding Author: mj.mostafavi@mail.um.ac.ir

bean were decreased. Absolute residuals of the yield as the indicator of stability (which has an inverse relationship) as a function of cultivated area, increased in about all of the studied crops except irrigated chickpea and rainfed bean. Most stable crops in the larger cultivated area were irrigated chickpea and rainfed bean.

Conclusion

According to the results, the overall trends in the yield increasement of pulse crops in Iran are low. The trend of chickpea and lentil has been much lower than rainfed and irrigated bean. On the other hand, fluctuations in yield over the past decades are high and therefore the stability of the country's pulses is also low. In Iran, it seems essential to development of new integrated and effective policies for the supporting scientific researched in the order to introducing new varieties, reduction of yield gap of pulses crops and improvement of their yield stability, and also education in order to improve the management of the pulse crops agroecosystems, as well as mitigation of the effects of climate change.

Keywords: Coefficient of variation of yield, Finlay-Wilkinson model, Yield anomalies, Yield trend

تأثیر کلرید کلسیم بر صفات مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و انباشت برخی عناصر در گیاه لوبیا قرمز رقم کلی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کلرید سدیم

فریناز شمسایی^۱، علی گنجعلی^{۲*} و الهام امجدی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد؛ shamsaie@yahoo.com

۲- دانشیار فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم پایه و نیز عضو پیوسته گروه پژوهشی بقولات پژوهشکده علوم گیاهی،
دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد؛ elham.amjadi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۱

چکیده

کلرید سدیم به عنوان یک تنش محیطی، نقش مهم و محدودکننده‌ای بر فرایندهای رشد و نمو گیاه دارد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کلسیم (CaCl_2) در بهبود آسیب‌های ناشی از یون سدیم در گیاه لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goli) در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۱ انجام شد. سطوح مختلف کلرید سدیم (شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl) و کلرید کلسیم (شامل ۱۵، ۱۰، ۵، ۰ میلی‌مولار CaCl_2) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. در طول دوره آزمایش گیاهان در فیتوترون با شدت نور تقریبی $600 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ و طول دوره روشنایی و تاریکی به ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت رشد نمودند. تنش شدید کلرید سدیم (۱۵۰ میلی‌مولار)، صفات مورفولوژیکی مهم شامل ارتفاع گیاه (۴۹ درصد)، سطح برگ (۵۱ درصد)، وزن خشک ریشه (۶۸ درصد) و بخش هوایی (۳۵ درصد) و مجموع طول ریشه‌ها (۳۵ درصد) را نسبت به شاهد کاهش داد و صفاتی مانند مقدار سدیم برگ، پرولین و آنزیم پلی‌فنول اکسیداز را به ترتیب ۸/۳، ۰/۷۸ و ۱/۷۵ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. کاربرد یون Ca^{2+} به ویژه در غلظت ۱۰ میلی‌مولار، به مقدار زیادی آسیب‌های ناشی از تنش کلرید سدیم را بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه لوبیا کاهش داد. در این ارتباط برخی صفات مانند وزن خشک برگ، ارتفاع گیاه، سطح برگ، شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل کل به ترتیب به مقدار ۱۷، ۲۵، ۸، ۵، ۴ و ۱۵ درصد در نتیجه کاربرد یون Ca^{2+} نسبت به شرایط عدم کاربرد کلسیم افزایش داشتند.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، شاخص پایداری غشاء، صفات ریشه و اندام هوایی، گیاه لوبیا

مقدمه

زیمنس برمرتر به این گیاه آسیب وارد می‌نماید (Al hassan et al., 2016). لوبیای رقم گلی یکی از ارقام لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goli) می‌باشد که مبدأ آن نیشابور و به رنگ قرمز است. این رقم نسبت به شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی و خاک‌های شور این منطقه از سازگاری مناسبی برخوردار است و شاید به همین دلیل است که سطح زیرکشت این رقم نسبت به سایر ارقام لوبیا بالاتر است. لوبیا قرمز به دلیل ایجاد پوشش سریع و تشکیل کانوپی گسترده، در رقابت با علف‌های هرز معمولاً موفق بوده و از عملکرد دانه نسبتاً مناسبی نیز برخوردار است (Dorri, 2008).

در محیط‌های دارای تنش کلرید سدیم، رشد و عملکرد گیاهان به مقدار زیادی کاهش می‌یابد که علت اصلی آن اختلال در عملکرد اجزای حیاتی فتوسنتز، مثل آنزیم روبیسکو می‌باشد که منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود. یکی از اثرات اولیه کلرید سدیم کاهش مقدار آب بافت‌های

حدود ۲۰ درصد از اراضی کشاورزی و ۳۳ درصد از زمین‌های آبیاری شده با آب شور در دنیا به درجات مختلف تحت تأثیر شوری قرار گرفته‌اند (FAO, 2019). بررسی‌ها حاکی از آن است در صورت استفاده کافی و منظم عناصر غذایی می‌توان مشکلات ناشی از تنش کلرید سدیم را به حداقل ممکن کاهش داد. رشد برخی از گونه‌های گیاهی هالوفیت، با شرایط خاک شور سازگار می‌باشد (Shabala, 2013). با این حال اکثر گیاهان از جمله گیاهان زراعی به شوری حساس بوده و در طبقه گلیکوفیت‌ها قرار دارند (Köster et al., 2019).

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از نظر سطح زیرکشت مقام اول را در بین حبوبات ایران دارا است و گیاهی بسیار حساس به کلرید سدیم می‌باشد. شوری‌های بیش از دو دسی

*نویسنده مسئول: ganjeali@um.ac.ir

ورود سدیم و کلسیم به سلول از طریق غشای سلولی، رقابت بین سدیم و کلسیم وجود دارد که افزایش غلظت کلسیم سبب کاهش نفوذپذیری غشای پلاسمایی به سدیم و تغییر ویژگی‌های دیواره سلولی می‌شود که نتیجه آن کاهش انتقال یون سدیم به روش انتقال غیرفعال و کاهش انباشت آن در سلول است. بررسی‌ها مؤید این است که در حضور کلسیم، میزان پتاسیم جذب‌شده در گیاه افزایش می‌یابد (Javanshah & Nasab, 2016). شناخت اثرات متقابل یون‌های Na^+/Ca^{2+} بر رفتار مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه و نیز بررسی اثرات بهبوددهنده Ca^{2+} بر سمیت ناشی از زیادی یون Na^+ در گیاه لوبیای قرمز از اهداف اصلی این آزمایش است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کلرید سدیم شامل ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl و سطوح مختلف کلسیم شامل ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار $CaCl_2$ بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه لوبیاقرمز رقم گلی (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goli)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۱ انجام شد. بذور لوبیا پس از شستشو و ضدعفونی به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده و سپس در گلدان‌های پلاستیکی به حجم دو لیتر حاوی خاک حاصلخیز که به نسبت ۱:۳ از خاک مزرعه و ماسه نرم پر شده بودند، کشت شدند. گلدان‌ها به فیتوترون با شدت نور حدود $600 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ و طول دوره روشنایی ۱۶ ساعت و دمای 25°C و همچنین دوره تاریکی هشت ساعت و دمای 17°C منتقل شدند. گلدان‌ها به مدت دو هفته تا سبز شدن با آب معمولی آبیاری و پس از آن آبیاری مطابق تیمارهای آزمایشی (غلظت‌های مشخص‌شده از کلرید سدیم و کلسیم) تا زمان برداشت مورد تیمار قرار گرفتند. به منظور ثابت نگه داشتن مقدار کلرید سدیم و پرهیز از تجمع نمک در گلدان‌ها، هدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها مرتباً اندازه‌گیری و در صورت نیاز از آب مقطر برای شستشوی نمک اضافی گلدان‌ها استفاده شد. هفته چهارم بعد از سبز شدن گیاهان از گلدان‌ها خارج و سپس بخش هوایی و ریشه هر گیاه تفکیک شدند. صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه به وسیله خط کش و سطح برگ‌ها به وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (ساخت شرکت ADC انگلستان مدل Light BOX) سنجش شدند. صفات مربوط به ریشه مانند طول و قطر ریشه پس از رنگ آمیزی با پرمنگنات منیزیم و خارج کردن آب سطح ریشه، به

گیاهی است که سبب کاهش پتانسیل اسمزی در ناحیه توسعه ریشه می‌شود (Hu et al., 2013). افزایش پرولین به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی تحت تنش کلرید سدیم سبب کاهش فشار اسمز درون سلول و جذب آب به درون سلول می‌شود (Dahal et al., 2019). در محیط‌های دارای تنش، پرولین با پروتون (H^+) ترکیب و سبب کاهش اکسیداسیون و مانع تجزیه ماکرومولکول‌های حیاتی مانند آنزیم‌های سیتوسولی و اندامک‌های سلولی می‌شود (Haghighi et al., 2012). در این ارتباط پرولین نقش مهمی در حفاظت از ساختمان سلول و خنثی سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایفا می‌نماید (Dahal et al., 2019).

کلرید سدیم از طریق القای تنش اکسیداتیو در گیاه، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را سبب می‌شود و نتیجه این عمل تخریب غشاها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است (Rahman et al., 2016). غلظت بحرانی سدیم سیتوسولی کمتر از ۱ mM می‌باشد. انتقال سدیم سیتوسولی و ذخیره آن در واکوئل‌ها، راهکاری برای ممانعت از سمیت سدیم می‌باشد. انباشت سدیم در واکوئل سبب حفاظت از آنزیم‌های سیتوسولی در برابر اثرات سمی سدیم، حفظ تعادل اسمزی واکوئل، سیتوزول و نیز ساخت اسمولیت‌های سازگار می‌باشد که نتیجه مهم آن انتقال هر چه بیشتر آب به سلول و کاهش اثرات منفی سمیت یونی است (Acosta-Motosa et al., 2015).

کلسیم به عنوان یکی از عناصر مغذی ضروری سبب حفظ یکپارچگی غشاء و دیواره سلولی، حفظ همئوستاز یون و تنظیم مسیر SOS^۱ به منظور همئوستاز یونی می‌شود (Hadi & Karimi, 2012). تثبیت ساختار دیواره سلولی، کنترل رفتار تبادل یون و همچنین فعالیت آنزیم‌ها در دیواره سلولی از دیگر وظایف کلسیم می‌باشد (Thor, 2019). در حقیقت، کلسیم عملکردهای حیاتی فیزیولوژیکی در گیاهان نظیر ساماندهی دیواره‌های سلولی توسط پکتات کلسیم، تثبیت غشاها، جوانه زنی گرده، رشد لوله‌گرده و ریشه‌ها را انجام می‌دهد (Silva Domingues1 et al., 2016). استفاده از ترکیباتی مانند گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)، کلسیم کلرید ($CaCl_2$) و کلسیت ($CaCO_3$) سبب بهبود رشد گیاه شده است (Niamat et al., 2019). بررسی‌های انجام‌شده در خصوص برخی از حبوبات حاکی از آن بود که افزایش غلظت کلسیم موجود در بستر رشد گیاه، مانع اثرات منفی سدیم شد. در این مطالعات، بیوماس بخش هوایی و ریشه و همچنین تجمع کلسیم در ریشه و ساقه افزایش یافت (Silva Domingues1 et al., 2016). به منظور

۱. Salt Overly Sensitive

آب مقطر غوطه‌ور شد، سپس برگ‌ها از آب خارج و آب سطحی آن‌ها توسط دستمال خشک شد و پس از این مرحله برگ‌ها وزن شدند. به منظور تعیین وزن خشک برگ‌ها از آون ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. محتوای نسبی آب برگ^۱ بر حسب درصد با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (Bian & Jiang, 2009).

(۳)

$$RWC (\%) = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت آماس کامل می‌باشد.

سنجش پرولین

سنجش پرولین برگ بر حسب میکروگرم در گرم وزن تر با استفاده از معادله ۴ انجام شد. در این روش مقدار جذب محلول در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل شیمادوز (UV-1100) خوانده و غلظت پرولین موجود در نمونه از منحنی استاندارد تعیین شد و سپس براساس وزن تر نمونه از فرمول زیر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

(۴)

$$Prolin (\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}) =$$

$$\left[\frac{\mu\text{gprolin}}{\text{ml}} \times \frac{\text{Toluen}(\text{ml})}{115.5(\mu\text{g} / \text{mol})} \right] \div \frac{\text{sample}(\text{g})}{5}$$

سنجش سدیم، پتاسیم و کلسیم

سنجش عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم با استفاده از روش Chapman & Pratt (1961) انجام شد. به این منظور، جذب محلول‌های حاصله توسط فلیم‌فتومتر (JENWAY PFP 7) خوانده شد. غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم به روش نورسنجی شعله‌ای و توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای مدل Corning تعیین گردید. غلظت نهایی هر کاتیون با استفاده از منحنی استاندارد به طور جداگانه تعیین و مقدار آن بر حسب وزن خشک برگ و ریشه محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز با استفاده از روش Raymond et al, (1993) انجام شد. به این ترتیب که در ابتدا به تعداد نمونه‌ها لوله‌ها را در حمام آب ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس به ترتیب به هر لوله ۲/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۰/۲ مولار با pH=۶/۸ و ۰/۲ میلی‌لیتر پیروگال ۰/۲ مولار اضافه گردید و به آن‌ها فرصت داده شد تا به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برسند. در لحظه خوانش جذب آنزیم به هر لوله ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه کرده و

وسيله یک اسکنر متصل به کامپیوتر (ساخت شرکت Delta-T) اندازه‌گیری و ثبت شدند. برای تعیین وزن خشک بخش هوایی و ریشه‌ها، نمونه‌ها در آون ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی (sartorius مدل BL 150 S) با دقت ۰/۰۰۱ ± گرم تعیین شد.

سنجش کلروفیل

استخراج کلروفیل از برگ با کمک استن ۸۰ درصد انجام شد. برای این منظور ۰/۲ گرم برگ تازه با مقدار کمی استن ساییده و در هر مرحله، محلول شفاف رویی به بالون ژوژه ۲۵ml منتقل شد. عمل استخراج تا حصول یک محلول بی‌رنگ ادامه یافت. سپس حجم محلول با استن به ۲۵ml رسید. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه و در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب نوری در طول موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu UV-120-02 تعیین گردید. مقدار کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم کلروفیل در گرم برگ مطابق فرمول (۱) با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد (Arnon, 1956; Makinney, 1941).

(۱)

$$\text{کلروفیل کل (mg g}^{-1} \text{FW)} = (20A_{646} + 8.02A_{663})V/W \times 1000$$

V = حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

$$A = \text{جذب نور در طول موج‌های ۶۴۳ و ۶۴۶ نانومتر}$$

$$W = \text{وزن تر نمونه بر حسب گرم}$$

شاخص پایداری غشاء

۰/۱ گرم از برگ دوم در دو سری لوله آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. یک سری از لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری ۴۰ درجه و سری دیگر لوله‌ها در بن‌ماری ۱۰۰ درجه به مدت ۱۰ دقیقه گذاشته شد. سپس از بن‌ماری خارج شد و به دمای محیط رسانده شد و هدایت الکتریکی نمونه‌ها توسط EC متر (مدل Jenway) سنجش گردید و سپس شاخص پایداری غشاء بر حسب درصد با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Sairam et al., 2001).

(۲)

$$MSI (\%) = [1 - (C1/C2)] \times 100$$

C1 هدایت الکتریکی آب در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و C2 هدایت الکتریکی آب در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ

به منظور تعیین محتوای نسبی آب، قبل از برداشت گیاه مقدار وزن‌شده‌ای از برگ دوم هر گیاه به مدت ۴۸ ساعت در

تغییرات جذب پلی‌فنل اکسیداز به مدت چهار دقیقه هر ۳۰ ثانیه در طول موج ۴۳۰ نانومتر ثبت شد.

تجزیه تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mstat-C انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای (۰/۰۵) $P \leq$ استفاده شد. نمودارهای مربوطه به وسیله نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

بررسی صفات مورفولوژیکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش کلرید سدیم تأثیر معنی‌داری بر کلیه صفات مورفولوژیکی گیاه داشت. صفاتی مانند وزن خشک ریشه، مجموع طول ریشه و سطح برگ در گیاه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کلسیم قرار نگرفتند. تأثیر برهمکنش Ca^{2+} و Na^{+} به‌جز وزن خشک و قطر ریشه در گیاه بر تمامی صفات مورفولوژیکی مورد بررسی در این آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۱). غلظت‌های بالای Na^{+} علاوه بر ایجاد سمیت، از طریق کاهش پتانسل اسمزی خاک می‌تواند سبب تنش ثانویه خشکی شود. یکی از علایم بارز تنش خشکی، کاهش آماس سلولی است. کاهش پتانسیل فشار منجر به کاهش رشد سلولی می‌گردد که برای انجام تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها در بافت‌های مختلف گیاه لازم است. حفظ سدیم و ممانعت از انتقال آن به بخش هوایی یکی از روش‌های

بهبود تحمل به کلرید سدیم در بعضی از گیاهان می‌باشد. همچنین با افزایش غلظت سدیم سطح کربوهیدرات و میزان هورمون‌های رشد کاهش می‌یابد که منجر به کاهش رشد در ریشه و برگ می‌گردد (Silva Domingues *et al.*, 2016). در محیط فاقد تنش کلرید سدیم، کاربرد یون Ca^{2+} به‌جز در غلظت ۱۵ میلی‌مولار، تأثیر معنی‌داری بر کاهش وزن خشک ساقه گیاه نداشت. در کلرید سدیم ۵۰ میلی‌مولار، کاربرد غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} گرچه وزن خشک ساقه را نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد کلسیم) به‌ترتیب ۱۴/۵ و ۹/۱ درصد افزایش داد، اما این افزایش معنی‌دار نبود. در تنش شدید کلرید سدیم (۱۵۰ میلی‌مولار NaCl)، کاربرد ۱۰ میلی‌مولار $CaCl_2$ ، وزن خشک بخش هوایی گیاه را نسبت به شاهد (بدون کلسیم) به میزان ۶۵ درصد افزایش داد که یک افزایش بسیار معنی‌داری بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین وزن خشک ریشه نشان داد که با افزایش شدت تنش، از تیمار شاهد تا سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن خشک ریشه به صورت معنی‌داری در تمامی سطوح کاربرد یون Ca^{2+} کاهش یافت. در این آزمایش کاربرد کلسیم در هیچ سطحی از تنش شوری بهبوددهنده رشد ریشه نبود. بیشترین وزن خشک ریشه (۰/۰۶۳ g) به کاربرد ۵ میلی‌مولار Ca^{2+} در محیط فاقد کلرید سدیم اختصاص داشت (جدول ۲).

جدول ۱- میانگین مربعات صفات مورفولوژیک لوبیاقرمز

Table 1. Sum of square for morphological traits of *Phaseolus vulgaris* L.

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	وزن خشک ساقه Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	ارتفاع گیاه Plant height	مجموع طول ریشه‌ها Total root length	شاخص سطح برگ گیاه Leaf area	قطر ریشه Root diameter
کلرید سدیم		**	**	**	**	**	**
NaCl	3	0.006411	0.003705	105.884	6264221	2620292.03	0.023
کلسیم		**	ns	**	ns	ns	**
$CaCl_2$	3	0.002684	0.000026	34.435	308075	15855.94	0.007
کلرید سدیم و کلسیم		**	ns	*	*	**	ns
$NaCl \times CaCl_2$	9	0.000642	0.000027	3.152	466893	92532.09	0.001
خطا Error	32	0.000143	0.000028	1.3	161420	23450.63	0.001

*, **, ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, **, and ns: Significant difference in 0.05, 0.01 and non significant respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک لوبیاقرمز

Table 2. Mean comparisons for morphological traits of *Phaseolus vulgaris* L.

سطوح کلرید سدیم NaCl (mM)	سطوح کلسیم CaCl ₂ (mM)	وزن خشک ساقه Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	مجموع طول ریشه‌ها Total root length (mm)	سطح برگ گیاه Leaf area (mm ²)	قطر ریشه Root diameter (mm)
0	0	0.160 a	0.054 bc	14.88 b-d	4153 bc	4537 a	0.331 a-b
	5	0.152 ab	0.063 a	17.87 a	5315 a	4014 b	0.357 ab
	10	0.142 ab	0.058 ab	16.77 ab	4197 bc	3955 bc	0.365 a
	15	0.129 b	0.053 bc	13.61 de	4330 b	3489 d	0.283 b-f
50	0	0.131 ab	0.049 cd	12.72 de	4103 bc	3213 de	0.314 a-e
	5	0.150 ab	0.056 a-c	16.00 a-c	4580 b	3447 d	0.331 a-d
	10	0.143 ab	0.051 bc	14.67 b-d	4179 bc	3518 cd	0.350 ab
	15	0.128 b	0.051 bc	14.53 cd	4298 bc	3669 b-d	0.332 a-d
100	0	0.123 b	0.039 e	9.92 fg	3253 de	2826 ef	0.260 c-f
	5	0.129 b	0.041 e	12.32 e	3540 cd	27.2 fg	0.336 a-c
	10	0.151 ab	0.042 de	13.67 de	4079 bc	3517 cd	0.314 a-e
	15	0.087 c	0.038 e	8.66 gh	3140 de	2485 fg	0.244 fe
150	0	0.077 c	0.021 f	8.12 gh	3113 de	1798 h	0.226 f
	5	0.092 c	0.016 f	10 fg	2636 e	1813 h	0.255 df
	10	0.127 b	0.018 f	11.83 ef	2900 de	2368 g	0.249 ef
	15	0.078 c	0.020 f	7.33 h	3088 de	1867 h	0.234 f

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای درصد می‌باشند.

In each column, means with common letter(s) do not have a significant difference at the $P < 0.05$.

های Ca^{2+} و Na^+ و تنش شدید کلرید سدیم (۱۵۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد یون Ca^{2+} مربوط بود. در شدت‌های بالای تنش کلرید سدیم (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl)، کاربرد ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} اثرات منفی ناشی از تنش کلرید سدیم را بهبود بخشید که نتیجه آن افزایش معنی‌دار سطح برگ گیاه (به ترتیب افزایش ۲۰/۷۶ و ۳۱/۷ درصدی) نسبت به تیمار شاهد (بدون کلسیم) در همین سطح کلرید سدیم است (جدول ۲).

همانگ با سایر نتایج مربوط به صفات ریشه، قطر ریشه نیز با افزایش شدت تنش کلرید سدیم به صورت معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین و کمترین قطر ریشه به ترتیب به تیمار ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} در محیط بدون تنش کلرید سدیم (۳۶۵ mm) و تیمار عدم یون Ca^{2+} در شرایط تنش شدید کلرید سدیم (۱۵۰ میلی‌مولار) (۰/۲۲۶ mm) مربوط بود. یون Ca^{2+} عمدتاً در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌مولار، اثرات منفی ناشی از تنش کلرید سدیم بر اغلب صفات مورفولوژیک گیاهان را تعدیل نمود. افزایش سطح Ca^{2+} در محیط دارای یون‌های Na^+ ، احتمالاً اتصال یون Na^+ به دیواره‌های سلولی و غشای پلاسمایی را مهار و از این رو باعث کاهش نشت الکترولیت‌ها از غشاء شده است. همچنین یون Ca^{2+} جذب و انتقال یون K^+ را افزایش و متعاقب آن انباشت یون Na^+ را کاهش داده است. اثرات بهبوددهندگی کاربرد یون Ca^{2+} تحت شرایط تنش کلرید سدیم نه تنها به بهبود عملکرد غشاها، بلکه به ایجاد شرایط مناسب برای طویل شدن و تقسیم سلولی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در خصوص ارتفاع گیاه نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه به تیمار ۵ میلی‌مولار CaCl_2 و تیمار شاهد (سطح صفر میلی‌مولار NaCl) مربوط بود (۱۷/۸۷ cm). تقریباً در تمامی سطوح کلرید سدیم، کاربرد مقادیر ۵ و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم نسبت به عدم کاربرد آن (شاهد کلسیم) ارتفاع گیاه را به صورت معنی‌داری بهبود بخشید. در این آزمایش نقش بهبوددهندگی کلسیم در افزایش ارتفاع گیاه با افزایش شدت کلرید سدیم بتدریج کاهش یافت (جدول ۲).

مشابه نتایج وزن خشک ریشه، بیشترین مجموع طول ریشه‌ها (۵۳۱۵ mm)، به کاربرد ۵ میلی‌گرم یون Ca^{2+} در محیط فاقد تنش کلرید سدیم مربوط بود. با افزایش شدت تنش کلرید سدیم، مجموع طول ریشه‌ها به صورت معنی‌داری کاهش یافت. کاربرد ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} تنها در تیمار کلرید سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl توانست نقش بهبوددهندگی (افزایش ۲۵/۳ درصدی) برای کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری داشته باشد. کمترین مجموع طول ریشه (۳۱۱۳ mm) به تیمار تنش کلرید سدیم شدید (۱۵۰ میلی‌مولار NaCl) و عدم کاربرد یون Ca^{2+} اختصاص داشت.

نتایج مقایسه میانگین سطح برگ در گیاه حاکی از کاهش شدید آن با افزایش تنش کلرید سدیم است. در این آزمایش بیشترین سطح برگ (۴۵۳۷ mm²) و کمترین آن (۱۷۹۸ mm²) در گیاه به ترتیب به تیمار شاهد (عدم حضور یون

برگ گیاه داشت (جدول ۴). تقریباً در تمامی سطوح کلرید سدیم، غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌مولار Ca^{2+} موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گیاه نسبت به شاهد (بدون کاربرد) Ca^{2+} شد. کاربرد ۱۵ میلی‌مولار Ca^{2+} در تمامی سطوح کلرید سدیم منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ شد (جدول ۴). اعتقاد اغلب محققان بر این است که یون‌های Na^+ و Ca^{2+} باعث تغییر در ترکیب لیپیدهای غشائی می‌شوند. در یک آزمایش روی گیاهان لوبیا و جو، کلرید سدیم باعث کاهش محتوای لیپیدهای کل غشاء و به دنبال آن کاهش تراکم بار سطحی غشا شد. در این شرایط کاربرد یون‌های Ca^{2+} محتوای فسفولیپیدی را در هر دو گیاه افزایش داد. در این آزمایش افزایش مقدار اسیدهای چرب غیراشباع، نفوذپذیری بیشتر غشاء را به یون پتاسیم و متعاقب آن، تنظیم بهتر اسمزی برای جذب و انتقال بیشتر آب توسط ریشه به مناطق هدف را فراهم نمود (Summart et al., 2010). در یک آزمایش محققان بیان داشتند که نسبت Na^+/Ca^{2+} به مقدار زیادی بر انتقال و جابجایی آب در ریشه و برگ‌ها تأثیرگذار است. افزایش یون Ca^{2+} به محیط کشت مایع، هدایت هیدرولیکی و به دنبال آن روابط آبی گیاه را به صورت معنی داری افزایش داد. بهبود پایداری و جذب انتخابی کارآمدتر غشاء از دیگر ویژگی‌هایی بود که تحت تأثیر کاربرد یون Ca^{2+} قرار گرفت (Hadi & Karimi, 2012).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش کلرید سدیم، محتوای کلروفیل کل برگ به صورت معنی‌داری کاهش یافت. کمترین میزان کلروفیل کل (mg/g leaf fw) ۱/۴۳ به کاربرد ۱۵ میلی‌مولار یون Ca^{2+} و کلرید سدیم ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl مربوط بود (جدول ۴). احتمالاً تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در کلروپلاست‌های گیاهان مواجه با تنش کلرید سدیم، از جمله دلایل اصلی پراکسیداسیون لیپیدها در غشای کلروپلاست و متعاقب آن کاهش سنتز کلروفیل خواهد بود. از طرف دیگر ایجاد سمیت یونی به دلیل وجود غلظت‌های بالای یون Na^+ ، فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیل‌از و به دنبال آن تجزیه بیشتر مولکول کلروفیل را به دنبال دارد. در این ارتباط افزایش غلظت بعضی از مواد تنظیم‌کننده رشد نظیر ABA، اتیلن و اکسین در شرایط تنش، سبب تحریک بیشتر فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و تجزیه بیشتر کلروفیل می‌شود (Amirul Alam et al., 2015).

بیشتر، نسبت داده می‌شود. کلسیم از طریق مشارکت در ساخت دیواره سلولی، امکان سنتز و ترمیم دیواره‌های سلولی را با عملکرد کارآمدتر بهبود می‌بخشد (Farooq et al., 2010). انباشت سدیم در محیط فعالیت ریشه علاوه بر ایجاد سمیت یونی، تنش ثانویه خشکی را نیز به دنبال دارد که نتیجه آن بسته‌شدن روزنه، کاهش میزان سنتز کلروفیل و نهایتاً کاهش فتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاه می‌باشد. در این راستا بررسی‌ها حاکی از آن است که حضور یون‌های Ca^{2+} از طریق افزایش حضور ABA در سلول‌های همراه و متعاقب آن مدیریت کارآمدتر روزنه، تا حد زیادی اثرات سوء یون‌های Na^+ را بر فتوسنتز رفع می‌نماید. حضور یون‌های Ca^{2+} معمولاً کاهش نسبت سدیم به کلسیم را در فضای سلولی به دنبال دارد که نتیجه آن بهبود عملکرد دیواره‌ها و غشاهای سلولی از حیث ترابری مواد محلول به محل‌های متابولیسم می‌باشد. بدیهی است در این شرایط بیوسنتز ترکیبات آلی افزایش یافته که منجر به افزایش وزن بخش‌های مختلف گیاه می‌گردد (Farooq et al., 2010).

بررسی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد که تنش کلرید سدیم، کلسیم و اثر متقابل یون‌های Ca^{2+} و Na^+ تأثیر معنی‌داری بر کلیه صفات مورد بررسی داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که با افزایش تنش کلرید سدیم شاخص پایداری غشاء کاهش یافت. در این ارتباط کاربرد ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} در سطوح کلرید سدیم کم و متوسط نقش تعدیل‌کننده داشت و اثرات منفی یون‌های Na^+ را در کاهش پایداری غشاء نسبت به تیمار شاهد (بدون حضور یون Ca^{2+}) بهبود بخشید. در سطوح بالای کلرید سدیم (۱۵۰ میلی‌مولار)، کاربرد غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار یون Ca^{2+} نه تنها تعدیل‌کننده نبود، بلکه شاخص پایداری غشاء را به صورت معنی‌داری (به ترتیب ۲۵/۱ و ۲۱/۶۷ درصد) کاهش داد (جدول ۴). افزایش حضور یون‌های Na^+ احتمالاً یکپارچگی غشاء را تحت تأثیر قرار داده و نفوذپذیری غشاء را کاهش داده است که نتیجه آن سرکوب جذب، انتقال و همچنین عدم توازن و توزیع عناصر غذایی به ویژه کلسیم به علت حضور سدیم مازاد در بخش‌های مختلف گیاه خواهد بود (Javanshah & Nasab, 2016).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که برهمکنش Ca^{2+} و Na^+ تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک لوبیاقرمز

Table 3. Analyze of variance for physiological traits of *Phaseolus vulgaris* L.

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	شاخص پایداری غشاء Membrane stability (%)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	شاخص کلروفیل chlorophyll index	پرولین Prolin ($\mu \text{ mol g}^{-1}$)	آنزیم پلی فنول اکسیداز Polyphenol oxidase ($A_{430} \text{ min}^{-1} \cdot \text{g FW}$)
کلرید سدیم	3	**	**	**	**	**
NaCl		7723.862	596.632	5.48	58.207	0.000488
کلسیم	3	**	**	**	**	**
CaCl ₂		95.837	135.254	1.05	15.900	0.000109
کلرید سدیم و کلسیم	9	**	**	*	**	**
NaCl × CaCl ₂		11.216	22.93	0.33	1.619	0.000008
Error خطا	32	2.256	4.120	0.123	0.104	0.000002

*, **, ns: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی دار

*, **, and ns: Significant difference in 0.05, 0.01 and non significant respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک لوبیا

Table 4. Mean comparisons of physiological traits of *Phaseolus vulgaris* L.

سطوح کلرید سدیم NaCl (mM)	سطوح کلسیم CaCl ₂ (mM)	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index (%)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g leaf fw)	پرولین Prolin ($\mu \text{ mol g}^{-1}$)	آنزیم پلی فنول اکسیداز Polyphenol oxidase ($A_{430} \text{ min}^{-1} \cdot \text{g FW}$)
0	0	85.53 bc	81.02 a	3.55 a-d	0.94 j	0.0083 hi
	5	86.93 ab	80.67 a	3.70 a-c	0.88 j	0.0067 i
	10	88.97 a	76.70 bc	3.83 ab	0.90 j	0.0071 i
	15	83.67 c	77.02 a-c	3.46 a-e	3.13 g	0.011 fg
50	0	54.97 de	74.56 b-d	3.19 b-f	3.44 fg	0.013 ef
	5	56.8 de	78.28 ab	3.94 a	1.70 i	0.0086 hi
	10	60.10 d	77.04 a-c	3.95 a	2.80 gh	0.0090 ghi
	15	53.03 e	71.36 de	3.70 a-c	3.51 e-g	0.012 egf
100	0	43.03 g	66.77 e-g	2.84 ef	4.24 de	0.020 cd
	5	49.02 f	72.81 cd	3.2 b-f	2.23 hi	0.014 e
	10	47.60 f	76 b-d	2.95 d-f	2.73 gh	0.013ef
	15	39.30 h	63 gh	3.06 c-f	4.57 d	0.023 bc
150	0	27.60 i	61.17 hi	1.95 gh	7.59 b	0.024 ab
	5	28.30 i	68 ef	3.07 c-f	4.00 d-f	0.018 d
	10	25.10 i	64 f-h	2.53 fg	6.66 c	0.020 cd
	15	21.67 j	57.67 j	1.43 h	8.42 a	0.026 a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال خطای درصد می‌باشند.

In each column, means with common letter(s) do not have a significant difference at the $P < 0.05$.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تنش کلرید سدیم و برهمکنش آن با یون Ca^{2+} تأثیر معنی‌داری بر مقدار پرولین گیاه لوبیا داشت (جدول ۳). با افزایش سطح کلرید سدیم میزان پرولین به صورت معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). پرولین به تنظیم اسمز در طول تنش، حفظ ساختمان اولیه ماکرومولکول‌ها و غشاها در جریان افزایش دهیدراسیون، لاشخواری رادیکال آزاد و حفاظت از آنزیم‌ها کمک می‌کند (Dahal et al., 2019). انباشت پرولین تحت تنش شوری ممکن است به علت فعال‌سازی آنزیم‌های بیوسنتزی پرولین، کاهش اکسیداسیون و تبدیل آن به گلوتامات، کاهش استفاده از پرولین در سنتز پروتئین‌ها و افزایش واژگردی پروتئین‌ها باشد (Amira & Abdul Qados, 2011). در کلیه سطوح کلرید سدیم، کاربرد ۵ و ۱۰ میلی‌مولار

در اغلب سطوح کلرید سدیم، کاربرد یون Ca^{2+} اثرات منفی ناشی از سمیت یونی Na^+ را بر کلروفیل کل به مقدار زیادی نسبت به شاهد کاهش داد. در تیمار کلرید سدیم ۱۵۰ میلی‌مولار، کاربرد ۵ و ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} مقدار کلروفیل کل را به ترتیب به مقدار ۵۷/۴۳ و ۲۹/۷ درصد افزایش داد. افزایش مقدار کلروفیل کل، تنها در غلظت ۵ میلی‌مولار CaCl_2 معنی‌دار بود (جدول ۴). افزایش Ca^{2+} خارجی با مسدود کردن کانال‌های یونی، سبب کاهش غلظت Na^+ داخلی شده و احتمالاً از این طریق اثر مهاری سدیم بر رشد گیاه را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد کلسیم از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز، از تبدیل گلوتامین به پرولین ممانعت نموده، بنابراین گلوتامین در جهت سنتز کلروفیل مصرف شده است (Neeta Patil, 2012).

(جدول ۴). افزایش غلظت سیتوسولی یون Ca^{2+} به عنوان سیگنال مولکولی، بیان ژن و فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مختلفی را تنظیم می‌کند. افزایش غلظت کلسیم، بیوسنتز و فعالیت بسیاری از آنزیم‌هایی را که در مقاومت سلول به تنش کلریدسديم نقش دارند، افزایش و میزان تجزیه پروتئولیتیک را کاهش می‌دهد. کلسیم با تغییر کلی متابولیسم گیاه، تنش اکسیداتیو حاصل از تنش کلریدسديم را تعدیل می‌کند (Gill et al., 2015).

نتایج نشان داد که کلریدسديم و کاربرد کلسیم تأثیر معنی‌داری بر محتوای عناصر سديم، پتاسیم و کلسیم برگ و ریشه گیاه داشتند (جدول ۵). در این آزمایش برهمکنش یون های Ca^{2+} و Na^+ نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان سديم برگ گیاه داشت (جدول ۵). کاربرد غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} در تمام سطوح NaCl، موجب کاهش میزان سديم برگ و ریشه نسبت به شاهد (بدون کاربرد CaCl_2) شد. در کلریدسديم متوسط (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) کاربرد ۱۰ میلی‌مولار CaCl_2 و در شدت بالای کلریدسديم (۱۵۰ میلی‌مولار) تنها کاربرد ۵ میلی‌مولار CaCl_2 ، سديم ریشه و برگ گیاه را به صورت معنی‌داری نسبت به سایر ترکیبات تیماری کاهش داد. به طور کلی تیمار غلظت بالای کلسیم می‌تواند نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی به سديم را کاهش داده و منجر به کاهش سديم ریشه شود. تیمار کلسیم، موجب جابجایی الکترواستاتیکی سديم از سطح غشای پلاسمایی به طور مستقیم از کانال‌های مستقل از ولتاژ (VICs)^۵ شد. در پروتوپلاست‌های ریشه، جریان سديم از طریق VIC به شکل قابل‌توجهی به وسیله کاربرد کلسیم خارجی کاهش یافت و منجر به افزایش غلظت کلسیم و متعاقب آن افزایش غلظت پتاسیم گردید (Taïbi et al., 2012).

نتایج نشان داد که غلظت عناصر پتاسیم و کلسیم در ریشه گیاه لوبیا با افزایش کلریدسديم، به صورت معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). باور بر این است که با افزایش غلظت یون سديم و کاهش پتانسیل آب، تبادل یون و دسترسی ریشه به آن‌ها کاهش معنی‌دار داشته است. غلظت‌های بالای یون Na^+ نیز میزان کلسیم و پتاسیم برگ را به صورت معنی‌داری کاهش داد که ممکن است علت آن انتقال سديم از برگ به ریشه باشد، زیرا تحت تنش کلریدسديم این دو عنصر به عنوان تنظیم‌کنندگان اسمزی عمل می‌کنند. همچنین کاهش در جذب پتاسیم در محیط شور به علت برهم‌خوردن تعادل هورمونی

CaCl_2 ، میزان پرولین برگ را به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون کاربرد CaCl_2) کاهش داد. این کاهش در تیمار کاربرد ۵ میلی‌مولار یون Ca^{2+} عموماً بیشتر از ۱۰ میلی‌مولار یون Ca^{2+} بود (جدول ۴). بررسی‌ها حاکی از آن است که افزایش غلظت کلسیم در محیط ریشه گیاهان مواجه با تنش کلریدسديم، غلظت پرولین را از طریق افزایش سطح پرولین اکسیداز و کاهش فعالیت گلوتامین‌کیناز، کاهش می‌دهد و به دنبال آن گلوتامین در جهت سنتز کلروفیل مصرف می‌شود (Gobinathan et al., 2009).

تنش NaCl، تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز گیاه داشت (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد (جدول ۴). غلظت‌های بالای نمک محرک آسیب اکسیداتیو می‌باشد. گیاهان به منظور مقابله با ترکیبات اکسیدکننده، دارای طیف وسیع و متنوع از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسیدسموتاز^۱، کاتالاز^۲، پلی‌فنل‌اکسیداز^۳ و آسکوربات پراکسیداز^۴ در برابر صدمات اکسیداتیو می‌باشند که از تخریب پروتئین ساختمانی و عملکردی ممانعت به عمل می‌آورند و فعالیت آنزیم‌هایی از قبیل SOD، CAT و APX سبب کاهش میزان H_2O_2 و تبدیل آن به آب شده و منجر به دفع انواع اکسیژن فعال می‌گردد (Gill et al., 2015). پلی-فنل‌اکسیداز در فعالیتهای دفاعی دخالت داشته و واکنش‌های قهوه‌ای شدن بافت‌های زخمی و تشکیل سدهای دفاعی در مقابل عوامل بیماری‌زا را هدایت می‌کند. محققان معتقدند میزان فعالیت این آنزیم با افزایش NaCl افزایش می‌یابد که نتیجه آن تجزیه گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه در مواجهه با تنش است (Pashangeh & Shamili, 2018).

مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که در کلیه سطوح کلریدسديم، استفاده از تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌مولار CaCl_2 ، فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز را به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد (بدون CaCl_2) کاهش داد. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به ترتیب به تیمار کلریدسديم ۱۵۰ میلی‌مولار یون Na^+ در حضور ۱۵ میلی‌مولار یون Ca^{2+} ($0.26 \text{ A}_{430} \text{ min}^{-1} \text{ g FW}^{-1}$) و تیمار شاهد (محیط فاقد یون های Ca^{2+} و Na^+) ($0.24 \text{ A}_{430} \text{ min}^{-1} \text{ g FW}^{-1}$) مربوط بود

۱. SOD

۲. CAT

۳. PPO

۴. APX

۵. Voltage independent channels

گیاه، به‌ویژه سیتوکینین، در ریشه می‌باشد (Ndakidemi & Maki, 2009).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برای محتوی عناصر سدیم، کلسیم و پتاسیم برگ و ریشه

Table 5. Results of analyze of variance for Ca, Na and K contain of the leaves and roots

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی df	سدیم ریشه Sodium of root	سدیم برگ Sodium of leaf	پتاسیم ریشه Potassium of root	پتاسیم برگ Potassium of leaf	کلسیم ریشه Calcium of root	کلسیم برگ Calcium of leaf
Mg g ⁻¹ DW ⁻¹							
کلرید سدیم NaCl	3	** 9911.361	** 8010.545	** 682.362	** 747.933	** 356.070	** 441.111
کلسیم CaCl ₂	3	** 111.442	** 260.576	** 101.263	** 113.569	** 48.771	** 55.072
کلرید سدیم و کلسیم NaCl × CaCl ₂	9	ns 16.178	** 47.628	ns 14.888	** 9.422	ns 2.979	ns 4.742
خطا Error	32	10.244	5.012	11.006	2.904	4.800	3.533

*, **, ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

*, **, and ns: Significant difference in 0.05, 0.01 and non significant respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین محتوی عناصر سدیم، کلسیم و پتاسیم برگ و ریشه

Table 6. Mean comparisons for Ca, Na and K contain of the leaves and roots

سطوح کلرید سدیم NaCl (mM)	سطوح کلسیم CaCl ₂ (mM)	سدیم ریشه Sodium of root	سدیم برگ Sodium of leaf	پتاسیم ریشه Potassium of root	پتاسیم برگ Potassium of leaf	کلسیم ریشه Calcium of root	کلسیم برگ Calcium of leaf
Mg g ⁻¹ DW ⁻¹							
0	0	16.00 f	8.33 f	37.93 a-c	31.13 b	25.83 c	22.87 c-e
	5	12.67 f	4.33 f	39.33 ab	35.00 ab	27.33 a-c	26.00 bc
	10	13.13 f	5.00 f	40.67 a	36.67 a	28.67 a-c	29.00 ab
	15	12.47 f	6.50 f	38.33 a-c	33.67 ab	30.67 a	31.50 a
50	0	49.67 d	34.67 d	31.17 d-f	21.37 e	22.20 d	19.67 de
	5	45.00 de	24.67 e	35.47 b-d	26.00 cd	27.20 bc	23.00 cd
	10	40.67 e	23.27 e	33.63 cd	27.00 c	28.00 a-c	24.10 c
	15	48.00 d	31.93 d	32.73 de	22.67 de	29.90 ab	23.67 cd
100	0	76.57 a	69.33 a	23.90 gh	17.13 fg	17.67 e-g	15.33 fg
	5	67.33 c	51.00 c	31.83 d-f	23.00 de	19.67 d-f	16.00 fg
	10	71.00 bc	55.00 bc	27.53 fg	20.00 ef	20.67 de	17.00 ef
	15	77.00 a	70.33 a	21.33 hi	14.00 gh	21.60 d	18.67 ef
150	0	78.27 a	58.00 b	20.23 hi	13.97 gh	15.17 g	11.67 h
	5	70.00 bc	54.67 bc	28.00 eg	21.33 e	16.67 fg	13.00 gh
	10	74.20 ab	55.33 bc	23.33 gh	19.00 ef	17.67 e-g	15.33 fg
	15	77.00 a	58.33 b	16.67 i	11.67 h	17.67 e-g	15.00 fg

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای درصد می‌باشند.

In each column, means with common letter(s) do not have a significant difference at the P<0.05.

سطح پتاسیم برگ و عمدتاً کاهش سدیم برگ نسبت به شاهد (بدون کاربرد CaCl₂) شد (جدول ۶). از آنجا که غلظت سدیم خارجی در محیط‌های دارای کلرید سدیم بیشتر می‌باشد، جذب سدیم به طور قابل توجهی بیشتر از پتاسیم است، زیرا افزایش غلظت سدیم سبب اختلال در غشای سلول‌های ریشه و کاهش خاصیت انتخاب‌پذیری غشاء می‌گردد. پتاسیم به عنوان برجسته‌ترین عنصر حل‌شونده به منظور پایین نگه داشتن پتانسیل اسمز ریشه و پیش‌نیاز برای تورژسانس سلول‌ها می‌باشد (Taibi Kh et al., 2012). به همین دلیل در محیط‌های دارای تنش کلرید سدیم، افزایش کلسیم در اطراف سلول، سبب حفظ یکپارچگی و نیمه‌تراوایی می‌شود و در نتیجه نشت مواد

در حضور غلظت‌های بالای یون Na⁺، معمولاً ترکیبات ROS، پراکسیداسیون لیپیدها و اکسیداسیون اسیدهای چرب غشایی افزایش می‌یابد که نتیجه آن کاهش پایداری غشاء و تغییر نفوذپذیری آن و نشت الکترولیت‌ها است. ورود سدیم به غشای پلاسمایی سبب دپلاریزاسیون غشاء شده که منجر به باز شدن کانال‌های پتاسیمی یکسو به خارج و نهایتاً سبب کاهش غلظت پتاسیم می‌شوند (Cramer et al., 1996).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش یون های Na⁺ و Ca²⁺ تنها تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم و سدیم برگ گیاه لوبیا داشت (جدول ۵). در تمام سطوح NaCl، کاربرد تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی‌مولار CaCl₂ منجر به افزایش

ترین اثرات ناشی از تنش کلرید سدیم است (Hu et al., 2013). کاربرد یون Ca^{2+} و عموماً در غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی مولار، به مقدار زیادی آسیب‌های ناشی از تنش کلرید سدیم را بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه کاهش داد. تغییر در هدایت هیدرولیکی و روابط آبی گیاه، حفظ انسجام غشاء و محافظت از آن و جذب انتخابی کارآمدتر عناصر غذایی در غشاء از جمله ویژگی‌هایی هستند که تحت تأثیر کاربرد یون Ca^{2+} در گیاهان مواجه با تنش کلرید سدیم بهبود یافتند.

قدردانی

نگارندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بابت تأمین هزینه‌های پژوهش حاضر از محل اعتبارات متمرکز این معاونت با شماره کد 3/16268 سپاسگزاری می‌کنند.

به خارج سلول کاهش می‌یابد (Amirul Alam et al., 2015). محققان معتقدند کاربرد خارجی کلسیم از طریق افزایش کلسیم باندشده در غشای پلاسمایی، مانع گسیختگی غشاء شده و در نتیجه سلامتی غشاء و سلول حفظ می‌شود (Hasegawa et al., 2000).

نتیجه‌گیری

تنش کلرید سدیم (غلظت‌های بالای یون Na^+) صفات مورفولوژیک ریشه و اندام هوایی، شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، میزان پتاسیم و کلسیم را به صورت معنی‌داری کاهش و صفاتی مانند مقدار سدیم، پرولین و آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در گیاهچه‌های لوبیاقرمز رقم گلی را افزایش داد. به نظر می‌رسد اختلال در روابط اسمزی، تغذیه‌ای، عدم تعادل هورمونی و تنش اکسیداتیو از جمله مهم

منابع

1. Acosta-Motosa, J.R., Diaz-Vivancosb, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sánchez-Blanco, M.J., and Hernández, J.A. 2015. NaCl-induced physiological and biochemical adaptative mechanisms in the ornamental *Myrtus communis* L. plants. *Journal of Plant Physiology* 183: 41-51.
2. Al Hassan, M., Morosan, M., Pilar López-Gresa, M., Prohens, J., Vicente, O., and Boscaiu, M. 2016. Salinity-induced variation in biochemical markers provides insight into the mechanisms of salt tolerance in common (*Phaseolus vulgaris*) and Runner (*P. coccineus*) beans. *International Journal of Molecular Sciences* 17: 3-16.
3. Amira, M.S., and Qados, A. 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 10: 7-15.
4. Amirul Alam, M., Juraimi, A.S., Rafii, M.Y., and Abdul Hamid, A. 2015. Effect of salinity on biomass yield and physiological and stem-root anatomical characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *Journal of BioMed Reserch International* 1page.
5. Arnon, D.J. 1956. Chlorophyll absorption spectrum and quantitative determination. *Biochimical and Biophysical Acta* 20: 449-461.
6. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *An International Journal on Plant-Soil Relationships* 39: 205-207.
7. Bian, Sh., and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Journal of Scientia Horticulturae* 120: 246-270.
8. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. *Method of Analysis for Soil, Plants and Water*. University of California, Division of Agricultural Sciences. Technology & Engineering. 309 pp.
9. Cramer, G.R., and Jones, R.L. 1996. Osmotic stress and abscisic acid reduce cytosolic calcium activities in root of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Cell Environment* 19: 1291-1298.
10. Dahal, K., Li, X., Tai, H., Creelman, A., and Bizimungu, B. 2019. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change; Scenario A Current Overview. *Journal of Frontiers in Plant Science* 10: 1-16.
11. Dorri, H.R., 2008. *Bean Agronomy*. Center of Khomain Bean Research Press.
12. FAO-AQUASTAT & GEMI. 2013-2019. Soil Salinity Mitigation and Adaptation Projects. Applications will be accepted from 16th September to 31st May 2019. Area equipped for irrigation and percentage of cultivated land. Available at <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/globalmaps/index.stm>. Accessed 16 Sep. 2013.
13. Farooq, M., and Barsa, S.M.A. 2010. Changes in nutrient homeostasis and reserves metabolism during rice seed priming: Consequences for seedling emergence and growth. *Journal of Agricultural Sciences China* 9: 191-198.

14. Gill, S.S., Anjum, N.A., Gill, R., Yadav, S., Hasanuzzaman, M., and Fujita, M. 2015. Superoxide dismutase-mentor of abiotic stress tolerance in crop plants (Review Article). *Journal of Environmental Science and Pollution Research* 22: 10375-10394.
15. Gobinathan, P., Sankar, B., Murali, P.V., and Panneerselvam, R. 2009. Interactive effects of calcium chloride on salinity-induced oxidative stress in *Pennisetum typoides*. *Journal of Botany Research International* 2: 143-148.
16. Hadi, M.R., and Karimi, N. 2012. The role of calcium in plants salt tolerance. *Journal of Plant Nutrition* 35: 2037-2054.
17. Haghighi, M., Afifipour, Z., and Mozafarian, M. 2012. The alleviation effect of silicon on seed germination and seedling growth of tomato under salinity stress. *Vegetable Crops Research Bulletin* 76: 119-126.
18. Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, J.H. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology* 51: 463-499.
19. Hu, T., Yi, H., Hu, L., and Fu, J. 2013. Stomatal and metabolic limitations to photosynthesis resulting from NaCl stress in perennial Ryegrass genotypes differing in salt tolerance. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 138(5): 350-357.
20. Javanshah, A., and Aminian Nasab, S. 2016. The Effects of Humic Acid and Calcium on morpho-physiological traits and mineral nutrient uptake of Pistachio seedling under salinity stress. *Journal of Nuts* 7(2): 125-135.
21. Koster, P., Wallrad, L., Edel, K.H., Faisal, M., Alatar, A.A., and Kudla, J. 2019. The battle of two ions: Ca^{2+} signalling against Na^{+} stress. *Journal of Plant Biology* 21: 39-48.
22. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of Biological Chemistry* 140: 315-322.
23. Ndakidemi, P.A., and Makoi, J.H.J.R. 2009. Effect of NaCl on the productivity of four selected common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Scientific Research and Essay* 10: 1066-1072.
24. Neeta Patil, M. 2012. Adaptations in response to salinity in safflower cv. Bhima. *Asian Journal of Crop Science* 4: 50-62.
25. Niamat, B., Naveed, M., Ahmad, Z., Yaseen, M., Ditta, A., Mustafa, A., Rafique, M., Bibi, R., Sun, N., and Xu, M., 2019. Calcium-enriched animal manure alleviates the adverse effects of salt stress on growth, physiology and nutrients homeostasis of *Zea mays* L. *Journal of Plants* 8: 1-16.
26. Pashangeh, Z., and Shamili, M. 2018. Ameliorating negative impacts of salinity on physiological characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) by application of gibberellic acid. *Journal of Plant Process and Function* 7(23) :85-96.
27. Rahman, A., Nahar, K., Hasanuzzaman, M., and Fujita, M. 2016. Calcium supplementation improves NaC/KC ratio, Antioxidant defense and Glyoxalase systems in salt-stressed rice seedlings. *Journal of Frontiers in Plant Science* 7: 1-38.
28. Raymond, J., Rakariyatham, N., and Azanza. J.L. 1993. Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. *Journal of Food and Agriculture Organization of the United Nations* 34: 927-931.
29. Sairam, R.K., and Saxena, D.C. 2001. Oxidative stress and Antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184: 55-61.
30. Shabala S. 2013. Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany Journal* 112: 1209-1221.
31. Silva Domingues, L., Ribeiro, N.D., Andriolo, J.L., Possobom, M.T.D.F., and Zemolin, A.E.M. 2016. Growth, grain yield and calcium, potassium and magnesium accumulation in common bean plants as related to calcium nutrition. *Journal of Acta Scientiarum Agronomy* 38: 207-217.
32. Summart, J., Thanonkeo, P., Panichajakul, S., Prathepha, P., and Mc Manse, M.T. 2010. Effect of salt stress on growth, inorganic ion and proline accumulation in Thai aromatic rice. *African Journal of Biotechnology* 9: 145- 152.
33. Taïbi, Kh., Taïbi, F., and Belkhodja, M. 2012. Effect of external calcium supply on the physiological of salt stress seed bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Genetics and Plant Physiology* 2: 177-186.
34. Thor, K. 2019. Calcium-nutrient and messenger (moni review). *Journal of Frontiers in Plant Science* 10: 1-7.

Effects of calcium chlorid on morpho-physiological and biochemical characteristics and some mineral accumulation of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress

Shamsaee¹, F., Ganjeali^{2*}, A. & Amjadi³, E.

1. MSc. of Plant Physiology, Biology Department, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad; shamsaie@yahoo.com
2. Associate Professor of Plant Physiology, Biology Department, Faculty of Sciences & Department of Legumes, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
3. PhD. Student of Plant Physiology, Biology Department, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, elham.amjadi@yahoo.com

Received: 14 December 2019
Accepted: 10 May 2020

DOI: 10.22067/ijpr.v11i2.84637

Introduction

In saline environments, plant growth and crop production are greatly reduced. Salinity, induces oxidative stress in the plants resulting in the production of reactive oxygen species (ROS), subsequently, cell membranes, proteins and nucleic acids are destroyed by ROS. Calcium plays a key role in processes that preserve the structural and functional integrity of plant cell membranes, stabilizes cell wall structures, regulates ion transport and selectivity, and controls ion-exchange behavior as well as cell wall enzyme activities. High concentration of Ca^{2+} , stimulates its entry to the cell through ion channels. These channels are also permeable to sodium. Studies have shown that increasing Ca^{2+} concentration, decreases plasma membrane permeability to Na^+ and changes the cell wall properties resulting in reduced Na^+ transport by passive transport and decreased Na^+ accumulation in the cell. The main objective is to identify the interaction effects of $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ions on morpho physiological characteristics of Bean plant and investigation the ameliorative effects of Ca^{2+} on salinity-induced damages.

Material and Methods

In order to evaluate the effects of different concentrations of Na^+ (NaCl) including: 0, 50, 100 and 150 mM NaCl and Ca^{2+} (CaCl_2) including: 0, 5, 10 and 15 mM CaCl_2 on morph physiological characteristics of Bean an experiment was arranged as a factorial, based on completely random design. The plastic pots containing seeds were transferred to growth chamber with $600 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ light intensity, 16/8h light and dark period, respectively. The pots were irrigated with water (without NaCl) for 14 days until emergence, then different concentrations of Ca^{2+} and Na^+ were applied. In 6th week after sowing, plants were harvested and morphological and physiological characteristics were evaluated. The amount of some elements in roots and leaves were determined. Data were analyzed using MSTAT-C software.

Results and Discussion

The interaction of Na^+ and Ca^{2+} on all morphological traits except root dry weight was significant. Toxicity and drought stress are the result of plant exposure to high concentrations of sodium. As water enters the cell, the turgor pressure increases causing the cell walls to extend irreversibly. The rate at which a cell expands is a function of its turgor pressure and cell wall properties. In all salinity levels, the use of 5 and 10 mM Ca^{2+} significantly increased plant height compared to control. In high salinity levels (100 and 150 mM NaCl), the role of calcium in increasing plant height decreased. In severity stress (150 mM NaCl), application of 10 mM Ca^{2+} , significantly increased shoot dry weight and leaf area compared to control. Results for root dry weight showed that, with increasing salinity, root dry weight at all levels of Ca^{2+} , decreased. The highest root dry weight and total root length were attributed to the application of 5 mg Ca^{2+} in saline-free medium. Application of Ca^{2+} (mainly at 5 and 10 mM) moderated the negative effects of salinity on morphological traits. The elevated Ca^{2+} in the medium containing Na^+ ions, inhibits the binding

*Corresponding Author: ganjeali@um.ac.ir

of Na^+ to cell walls and the plasma membrane probably. In this way electrolyte leakage in the membrane may be reduced. Calcium improves the ability to synthesize and repair of cell walls with a more efficient function by participating in cell wall construction. In low and medium salinity, the use of 10 mM Ca^{2+} protected cell membranes from adverse effect of Na^+ , when compared to the control. Supplemental of 5 and 10 mM Ca^{2+} in all salinity levels, almost improved the leaf relative water content when compared to the control (non-applied Ca^{2+}). Promotion in hydraulic conductivity, more stability and efficient membranes for selective absorption are the other features that were affected by Ca^{2+} supplemental. In high salinity, the use of 5 mM Ca^{2+} reduced the negative effects of salinity on total chlorophyll content when compared to the control. At all salinity levels, application of 5 and 10 mM CaCl_2 significantly reduced leaf proline content compared to control. In this regard, the effect of 5 mM Ca^{2+} was greater than 10 mM Ca^{2+} . Addition of Ca^{2+} to the medium of plant exposed to salt stress, reduced proline concentration by increasing proline oxidase and following that reduction in glutamyl kinase activity and finally glutamine is used to synthesize more chlorophyll. At all salinity levels, the use of 5 and 10 mM Ca^{2+} significantly increased the activity of polyphenol oxidase compared to the control. Calcium promoted the synthesis and activity of many enzymes involved in defense mechanism and reduces the rate of proteolytic degradation. In this way Calcium modulates oxidative stress by altering plant metabolism. Results showed that the use of 5 and 10 mM Ca^{2+} significantly ($P \leq 0.05$) reduced the amount of Na^+ in the plants (leaves + roots) when compared to control. This result for K^+ accumulation was adverse. The obtained results go in line with the findings of other scientists. Wu and Wang, 2012 reported, Ca^{2+} decreased roots Na^+ accumulation, increased shoots K^+ accumulation, and enhanced the selective absorption and transport capacity for K^+ over Na^+ in the plant.

Conclusion

Salinity stress significantly reduced plant morphological characteristics but other traits such as proline and polyphenol oxidase increased. Membrane stability index, leaf relative water content, total chlorophyll content and leaf and root potassium content were significantly decreased with applying salinity stress. The use of Ca^{2+} ions, especially 5 and 10 mM, greatly reduced the negative effects of salinity. It seems that the use of calcium application can be considered as a simple and low cost method for reducing the adverse effects of salinity stress.

Keywords: Bean, Membrane stability index, Root and shoot traits, Salinity stress

پژوهش‌های حوالبات ایران

نشریه علمی - دوفصلنامه

پژوهش‌های علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

مشخصات داوران سال (دوره) ۱۱ شماره ۲، نیمه دوم ۱۳۹۹، شماره پیاپی: ۲۲
(به ترتیب حروف الفبا)

دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز	امام	یحیی	دکتر
دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان	ایزدی دربندی	علی	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج	بلوچی	حمیدرضا	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد	بیابانی	عباس	دکتر
دانشکده کشاورزی کرج	بی‌همتا	محمد رضا	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد	تدین	محمود رضا	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	حاج محمدنیا قالیباف	کمال	دکتر
گروه زیست‌شناسی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان	حسین زاده	سعیدرضا	دکتر
دانشگاه بوعلی سینای همدان	خانجانی	محمد	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	خراسانی	رضا	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	خرمدل	سرور	دکتر
دانشگاه شهرکرد	رحیمی	محمدحسن	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل	رمرودی	محمود	دکتر
دانشگاه پیام نور مرکز مشهد	رهباریان	راهله	دکتر
دانشگاه بوعلی سینای همدان	سپهری	علی	دکتر
مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج	سنجانی	سارا	دکتر
مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور - مراغه	صادق زاده اهری	داود	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	صادقی نامقی	حسین	دکتر
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان	صباغ‌پور	سیدحسین	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند	فلاحی	حمیدرضا	دکتر
دانشگاه پیام نور، مرکز ارومیه	قلی‌نژاد	اسماعیل	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	قهرمان	بیژن	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	کریم‌زاده سورججانی	هدایت‌اله	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	گلدانی	مرتضی	دکتر
دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل	گلوی	محمد	دکتر
مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (دانشجوی دکتری)	محمودی	علی اکبر	مهندس
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد	مرعشی	سیدحسن	دکتر
دانشگاه پیام‌نور خراسان رضوی	معصومی	علی	دکتر
پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد	نباتی	جعفر	دکتر
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی یزد	یزدانی بیوکی	رستم	دکتر



پژوهش‌های حبوبات ایران

نشریه علمی - دو فصلنامه
پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

فرم اشتراک

خواهشمند است فرم زیر را پس از تکمیل، به نشانی زیر ارسال فرمایید:

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکده علوم گیاهی
دفتر نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۶۵۳، کد پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴

مشخصات متقاضی: (لطفاً با ذکر جزئیات، مشخص فرمایید)

نام: (وزارت / سازمان / مؤسسه / شرکت / دانشگاه / دانشکده / کتابخانه / بخش خصوصی / شخصی / سایر)

نشانی دقیق پستی:

.....
.....
.....

تلفن (با کد شهرستان):

تلفن همراه:

نمابر:

نحوه اشتراک:

مایل به اشتراک نشریه از تاریخ تا می‌باشم.

بهای هر شماره از نشریه، ۵۰۰۰ ریال می‌باشد. خواهشمند است مبلغ مربوط به تعداد شماره‌های مورد نیاز را به حساب شماره ۹۹۶۵۴ به نام عواید اختصاصی پژوهشکده علوم گیاهی نزد بانک تجارت شعبه دانشگاه فردوسی واریز نموده و فیش آن را همراه با فرم، به دفتر نشریه ارسال فرمایید. هزینه‌های پستی به‌عهده متقاضی می‌باشد.

امضاء:

تاریخ:

Title	Author(s)	Page
• Assessing variability and detecting the effective traits on yield of chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) promising lines under drought stress condition	Moosavi, S.S., Abdollahi, M.R., Abdi, F. & Kanouni, H.	150
• Effect of relay intercropping of chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) with barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress	Mohavieh Assadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A & Barati, V.	164
• The effects of competition and excessive copper concentration on seedling dry matter and copper, phosphorus, potassium, and magnesium contents in common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>) and redroot pigweed (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	Bayat, S., Ahmadvand, G. & Sepehri, A.	183
• Evaluation of the long-term trend and yield stability of pulse crops in Iran	Mostafavi, M.J., Hooshmand, M. & Nassiri Mahallati, M.	196
• Effects of calcium chlorid on morpho-physiological and biochemical characteristics and some mineral accumulation of Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) under salinity stress	Shamsaee, F., Ganjeali, A. & Amjadi, E.	215

Iranian Journal of Pulses Research

List of Articles
Vol. 11, No. 2, 2020, S. No.: 22

Title	Author(s)	Page
• Effect of plant density and planting pattern on growth and yield characteristics of mungbean (<i>Vigna radiata</i> L.) under Baghmalek weather condition	Jafari, R. & Marashi, S.K.	12
• Evaluation of yield indices and LER of different types of bean affected by row intercropping with cucumber	Asadi, Gh., Khorramdel, S., Mostafavi, M.J. & Hooshmand, M.	22
• Changes in partitioning and remobilization of assimilate in Maragheh vetch (<i>Vicia sativa</i>) cultivar under the influence of biological fertilizers and supplementary irrigation in the integrated tree, and crop system	Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A. & Jamei, R.	36
• Effect of seed pre-treatment with auxin and gibberellin on germination and yield of cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> L.)	Darkatanian, F. & Saeedipour, S.	50
• Study the effect of Phosphate Barvar-2 Biofertilizer, Iron Nano-Chelate and Superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) under dry farming conditions	Hasanpour, O., Azizi, Kh., Feizian, M. & Ismaeili, A.	62
• Study the effect of Epibrassinolide application on the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, and photosynthetic pigments of common bean under drought stress	Mohammadi, M., Pouryousef, M., Tavakoli, A. & Mohseni Fard, E.	76
• Evaluation of bean cultivars resistance to two spotted spider mite, <i>Tetranychus urticae</i> Koch (Acari: Tetranychidae) under field conditions	Kazemi, A., Askarianzadeh, A., Saeedizadeh, A. & Ghadiri, A.	95
• The interaction of sodium and potassium ions on some morpho-physiological traits of Jam and Piroz chickpea cultivars (<i>Cicer arietinum</i> L.)	Shams Abadi, M., Ganjeali, A., Lahouti, M. & Amjadi, E.	109
• Evaluation of crop traits range of dryland chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) in cold areas of Iran	Sadeghzadeh-Ahari, D., Feiziasl, V., Kanouni, H. & Saeid, A.	122
• Effect of different level of irrigation regimes and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency in kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Saberali, S.F., Yosefi-Fard, M., & Sadat Asilan, K.	137

Iranian Journal of Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
Vol. 11, No. 2, 2020, S. No.: 22

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in Charge: Dr. Mohammad Kafi

Editor in Chief: Dr. Ahmad Nezami

Executive Director: Hassan Porsa (MSc.)

Editorial Board:

Alireza Afsharifar

Professor, Shiraz University

Ahmad Arzani

Professor, College of Agriculture, Isfahan University of Technology (IUT)

Nadeali Babaeian Jelodar

Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Abdolreza Bagheri

Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

Mohammad Galavi

Professor, Zabol University

Serrollah Galeshi

Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Ali Izadi Darbandi

Associate Professor, Tehran University

Mohammad Kafi

Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

Nasser Majnoun Hosseini

Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj

Saeid Malekzadeh Shafaroudi

Associate Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

Nasser Majnoun Hosseini

Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj

Hossain Massumi

Professor, University of Shahid Bahonar Kerman

Ahmad Nezami

Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

Hadi Ostovan

Professor, College of Agricultural Sciences, Shiraz Branch, Islamic Azad University

Sayyed Hossain Sabaghpour

Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hamadan

Editor: Hassan Porsa (MSc.); Dr. M. Bannayan

Assistant: H. Talachian; R. Asadi

This journal has the "Scholarly Grade" issued by the Ministry of Sciences, Research & Technology (No. 3/11/3785 dated 07/06/2010) and is published based on a Memorandum of Cooperation between Mashhad Ferdowsi University and the following universities: Isfahan University of Technology; Tarbiat Modares University; University of Shahid Bahonar Kerman; Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; Shiraz Branch, Islamic Azad University; Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

This journal is indexed in: (ISC) Islamic World Science Citation Center (<http://www.isc.gov.ir>); (magiran) Iranian Journals Database (<http://www.magiran.com>); (SID) Scientific Information Database (www.SID.ir); Google Scholar (<http://scholar.google.com>)

Address:

Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Azadi Square, Mashhad- Iran
P.O. Box: 91775-1653; **ZIP Code:** 9177948974; **Tel.:** +98-51-38804801 & 38804812; **Fax:** +98-51-38807024;
E-mail: ijpr@um.ac.ir; **Web Site:** <http://ijpr.um.ac.ir>

Iranian Journal of Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

ISSN 2008-725X
2717-4212

Research Center for Plant Sciences
Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 11(2); December 2020; S.No.22

- Effect of plant density and planting pattern on growth and yield characteristics of mungbean (*Vigna radiata* L.) under Baghmalek weather condition Jafari, R. & Marashi, S.K.
- Evaluation of yield indices and LER of different types of bean affected by row intercropping with cucumber Asadi, Gh., Khorramdel, S., Mostafavi, M.J. & Hooshmand, M.
- Changes in partitioning and remobilization of assimilate in Maragheh vetch (*Vicia sativa*) cultivar under the influence of biological fertilizers and supplementary irrigation in the integrated tree, and crop system Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A. & Jamei, R.
- Effect of seed pre-treatment with auxin and gibberellin on germination and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Darkatanian, F. & Saeedipour, S.
- Study the effect of Phosphate Barvar-2 Biofertilizer, Iron Nano-Chelate and Superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under dry farming conditions Hasanpour, O., Azizi, Kh., Feizian, M. & Ismaeili, A.
- Study the effect of Epibrassinolide application on the activity of some antioxidant enzymes, nitrate reductase, and photosynthetic pigments of common bean under drought stress Mohammadi, M., Pouryousef, M., Tavakoli, A. & Mohseni Fard, E.
- Evaluation of bean cultivars resistance to two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) under field conditions Kazemi, A., Askarianzadeh, A., Saeedizadeh, A. & Ghadiri, A.
- The interaction of sodium and potassium ions on some morpho-physiological traits of Jam and Piroz chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) Shams Abadi, M., Ganjeali, A., Lahouti, M. & Amjadi, E.
- Evaluation of crop traits range of dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.) in cold areas of Iran Sadeghzadeh-Ahari, D., Feiziasl, V., Kanouni, H. & Saeid, A.

(Complete list, inside the journal...)

