



نشریه علمی - پژوهشی

پژوهشهای زراعی ایران

جلد ۱۷ شماره ۱

سال ۱۳۹۸

(شماره پیاپی: ۵۳)

شاپا: ۱۴۷۳-۲۰۰۸

عنوان مقالات

- ۱ اثر کم آبیاری و تراکم بولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم
علیرضا برکت - احمد تقی - حمیدرضا خراچی - تسکندر زند
- ۱۵ پایش عملکرد گندم و چنددروغند در استان خراسان: ۲- برآورد خلاء عملکرد
علیرضا کوچکی - مهدی نصیری معلاتی
- ۳۹ تاثیر بیوجار بر حاصلخیزی خاک و کازایی مصرف آب در سیاه دانه (*Nigella sativa L.*) تحت شرایط تنش خشکی
فاطمه عباس پور - حمیدرضا صغری - پرویز رسولی مقدم - حمید عباسدخت - جواد شاهنگ - عادل بیگلر بابایی
- ۵۳ بررسی خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر بهبود عملکرد ارقام کلزا
عباس فروغی آینه ده - عباس بیابانی - طلیحی راحمی کاویزکی - قربانعلی دسام
- ۷۵ بهسازی ژنوتیپهای نخود برای تحمل به سرما در شرایط کنترل شده
دارد صادقزاده امری
- ۸۳ ارزیابی خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ارقام گندم تحت تاثیر باکتریهای حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم
رحیم نامری - مهرشاد براری - محمدجواد زارع - کاظم خاوازی - زهرا طهماسبی
- ۹۹ ارزیابی رابطه بین عملکرد دانه و درصد روغن با برخی از صفات مهم زراعی در گنجد به وسیله تجزیه علیت و تجزیه به مؤلفه های اصلی
بهرام مسعودی
- ۱۱۱ ارزیابی تحمل به تنش خشکی دوره رشد زایشی در برخی از ژنوتیپهای گندم (*Triticum aestivum L.*) با استفاده از شاخص های تحمل و حساسیت به تنش خشکی
وحید بحرینی و جریه - محمد رضا دداشی - سید محمود ناظری
- ۱۲۳ اثر کاربرد تلفیقی ریزو باکتریهای محرک رشد و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط بزرک (*Linum usitatissimum L.*) و باقلا (*Vicia faba L.*) بر خصوصیات رشدی و عملکرد دانه
خدیجه علیرزاده - اسماعیل رضایی جهان - رضا امیربا - محسن برین
- ۱۴۱ شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays*) تحت شرایط کم آبیاری در دشت مغان
امیرعباس رستمی اخیربو - محمد رضا اصغری پور - احمد قنبری - مهدی جودی - محمود حرمی وفا
- ۱۵۷ تاثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر کارایی مصرف آب در جو در شرایط قطع آبیاری
عباس ابهری - اسداعلی قلی نژاد
- ۱۶۹ بررسی تاثیر تغییر اقلیم در آینده نزدیک بر تولید گندم آبی منطقه تربت جام: مطالعه موردی
سید فرهاد صابری - حسین ستیری نصرآبادی - محمد دوستخواه احمدی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی - پژوهشی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و

۸۲/۵/۲۷

درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۸۹/۱۰/۲۱

سال ۱۳۹۸

شماره ۱

جلد ۱۷

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سر دبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد - اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)
استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

یحیی امام

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبد الرضا باقری

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنیان اول

استاد - مدل سازی سیستم های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مجید جامی الاحمدی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

حمید رحیمیان مشهدی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

غلامرضا زمانی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

احمد زارع فیض آبادی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)

فرج اله شهریاری احمدی

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمد کافی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احمد نظامی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

داریوش مظاهری

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۰ نسخه

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمابر: ۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcesc.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 1 اثر کم آبیاری و تراکم یولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم
علیرضا برجسته - احمد نظامی - حمیدرضا خزاعی - اسکندر زند
- 15 پایش عملکرد گندم و چغندر قند در استان خراسان: 2- برآورد خلاء عملکرد
علیرضا کوچکی - مهدی نصیری محلاتی
- 39 تاثیر بیوچار بر حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف آب در سیاه دانه (*Nigella sativa L.*) تحت شرایط تنش خشکی
فاطمه عباس پور - حمیدرضا اصغری - پرویز رضوانی مقدم - حمید عباسدخت - جواد شاهنگ - عادل بیگ بابایی
- 53 بررسی خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر بهبود عملکرد ارقام کلزا
عباس فروغی آینه ده - عباس بیابانی - علی راحمی کاریزکی - قربانعلی رسام
- 75 به گزینی ژنوتیپ های نخود برای تحمل به سرما در شرایط کنترل شده
داود صادق زاده اهری
- 83 ارزیابی خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ارقام گندم تحت تأثیر باکتری های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم
رحیم ناصری - مهرشاد براری - محمدجواد زارع - کاظم خاوازی - زهرا طهماسبی
- 99 ارزیابی رابطه بین عملکرد دانه و درصد روغن با برخی از صفات مهم زراعی در کنبجد به وسیله تجزیه علیت و تجزیه به مؤلفه های اصلی
بهرام مسعودی
- 111 ارزیابی تحمل به تنش خشکی دوره رشد زایشی در برخی از ژنوتیپ های گندم (*Triticum aestivum L.*) با استفاده از شاخص های تحمل و حساسیت به تنش خشکی
وحید بحرینی ویجویه - محمد رضا داداشی - سید محمود ناظری
- 123 اثر کاربرد تلفیقی ریزو باکتری های محرک رشد و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط بزرک (*Linum usitatissimum L.*) و باقلا (*Vicia faba L.*) بر خصوصیات رشدی و عملکرد دانه
خدیدجه علیزاده - اسماعیل رضائی چپانه - رضا امیرنیا - محسن برین
- 141 شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays*) تحت شرایط کم آبیاری در دشت مغان
امیرعباس رستمی اجیرلو - محمدرضا اصغری پور - احمد قنبری - مهدی جودی - محمود خرمی وفا
- 157 تاثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر کارایی مصرف آب در جو در شرایط قطع آبیاری
عباس ابهری - اسماعیل قلی نژاد
- 169 بررسی تاثیر تغییر اقلیم در آینده نزدیک بر تولید گندم آبی منطقه تربت جام: مطالعه موردی
سید فرهاد صابرعلی - حسین نستری نصرآبادی - محمد دوستخواه احمدی



اثر کم آبیاری و تراکم یولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

علیرضا برجسته^۱، احمد نظامی^{۲*}، حمیدرضا خزاعی^۳، اسکندر زند^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب و تاثیر منفی کمبود آب و رقابت علف‌های هرز بر عملکرد گندم، بررسی خصوصیات گیاه گندم تحت تاثیر کمبود آب و رقابت علف هرز از اهمیت خاصی برخوردار است. آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی به منظور بررسی تاثیر کم آبیاری (سه رژیم آبیاری مشتمل بر تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گندم به عنوان عامل اصلی) و تراکم علف هرز یولاف وحشی (چهار تراکم یولاف شامل تراکم صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع به عنوان عامل فرعی) در مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود) انجام شد. نتایج نشان داد که اثر کم آبیاری و افزایش تراکم یولاف بر تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، طول سنبله، ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و بهره‌وری آب معنی‌دار بود. کاهش میزان آب مصرفی به ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب کاهش ۳۸/۵۹ و ۱۱/۶۴ درصدی عملکرد دانه و بیولوژیک گندم در تراکم ۸۰ بوته یولاف در متر مربع را به دنبال داشت. افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم نداشت در حالی که افزایش تراکم به ۸۰ بوته در متر مربع در رژیم کم آبیاری تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی موجب کاهش ۵۲/۳ و ۲۶/۲ درصدی عملکرد دانه و بیولوژیک نسبت به شاهد (۱۰۰٪ نیاز آبی) و تراکم صفر یولاف شد. تعداد سنبله در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0.97^{**}$) با عملکرد داشت. همچنین نتایج نشان داد که کم آبیاری به میزان تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گندم علی‌رغم کاهش ۹ درصدی عملکرد دانه با صرفه‌جویی ۱۲ درصدی آب موجب افزایش ۴/۶ درصدی بهره‌وری آب (نسبت عملکرد دانه به آب مصرفی) نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد در حالی که با کاهش میزان آب آبیاری به ۶۰ درصد نیاز آبی، بهره‌وری آب نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی ۱۳/۶ درصد کاهش یافت. آزمایش حاضر نشان داد که امکان دارد کاهش میزان آب به ۸۰ درصد نیاز آبی در شرایط محدودیت منابع آبی بتواند ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب به ثبات تولید نیز در این شرایط کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، بهره‌وری آب، تعداد سنبله، تنش خشکی، علف هرز

مقدمه

اختصاص دارد که بخش اعظمی از این اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. در این مناطق بروز تنش خشکی ناشی از کمبود آب سبب کاهش قابل‌ملاحظه عملکرد این محصولات زراعی می‌گردد (Wang et al., 2003). در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند (مانند ایران) استفاده از نظام‌های کم آبیاری با هدف افزایش کارایی مصرف آب و حصول عملکرد قابل قبول می‌تواند استراتژی مطلوبی برای دستیابی به تولید مناسب باشد. کم آبیاری یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب است که طی آن به گیاهان زراعی اجازه داده می‌شود تا مقداری تنش آبی را در طول فصل رشد تحمل کنند (Wang et al., 2001). کم آبیاری ممکن است باعث کاهش عملکرد در واحد سطح شود، اما با افزایش بهره‌وری آب مصرفی در نهایت می‌تواند منجر به افزایش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن ظرفیت تولید محصولات زراعی در یک منطقه گردد. کنگ و همکاران (Kang et al., 2002) گزارش کردند که کاهش ۲۰ درصدی آب آبیاری در مراحل رویشی گندم بهاره سبب کاهش

تنش خشکی و کم آبی، مهمترین عامل غیر زنده است که رشد و تولید گیاهان در جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک را محدود ساخته (Reddy et al., 2004; Delmer, 2005; Rajala et al., 2009) و سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در تولید محصولات کشاورزی در سطح جهان می‌شود. گندم (*Triticum aestivum*) مهمترین غله‌ای است که در بخش وسیعی از اراضی زراعی دنیا کشت می‌شود. در ایران سطح قابل‌توجهی از اراضی زراعی به کشت گندم

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: nezami@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.57485

مزیت کم آبیاری در صرفه جویی در مصرف آب، تغییر رفتار علف‌های هرز نیز تحت این شرایط مورد ارزیابی قرار بگیرد. با توجه به مطالب فوق این تحقیق با هدف بررسی واکنش گندم در شرایط کم آبیاری به تداخل علف هرز یولاف وحشی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کم آبیاری و رقابت یولاف وحشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، این مطالعه در مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود) به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲ - ۱۳۹۳ اجرا شد. این منطقه در سه کیلومتری شمال شاهرود با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ درجه شرقی و ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا واقع است. اطلاعات مربوط به میانگین دما و میزان بارندگی منطقه مورد مطالعه در طول سال زراعی در جدول ۱ آورده شده است. عامل اصلی رژیم کم آبیاری مشتمل بر سه سطح آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گندم و عامل فرعی تراکم علف‌هرز یولاف وحشی شامل چهار تراکم صفر، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع بود. هر کرت دارای هشت ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی متر و به طول پنج متر بود که با احتساب تراکم ۴۰۰ بذر گندم در متر مربع به صورت دستی با توجه به وزن هزار دانه و قوه نامیه بذر مربوطه در ۵ آذر ماه ۱۳۹۲ کشت گردید. رقم گندم مورد آزمایش، رقم الوند بود. به منظور آگاهی از ویژگی‌های خاک محل آزمایش، نمونه‌گیری از خاک انجام و مشخصات خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری تعیین شد (جدول ۲).

معنی‌دار عملکرد دانه نشد. استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای که به دلیل توزیع یکنواخت آب و راندمان بالاتر آبیاری در گیاهان زراعی مورد توجه قرار گرفته است در کنار کم آبیاری می‌تواند نقش موثری در کاهش آب مصرفی و افزایش بهره‌وری مصرف آب داشته باشد. علف‌های هرز از طریق رقابت با گیاهان زراعی برای مواد غذایی، آب، نور و فضا موجب کاهش عملکرد می‌گردند. کاهش عملکرد گندم در اثر رقابت علف‌های هرز در مطالعات متعددی گزارش شده است (Pester et al., 2000; Eslami et al., 2006; Bazrafshan et al., 2010). یولاف وحشی به دلیل سازگاری با شرایط مختلف اکولوژیک در بیشتر استان‌های کشور به عنوان یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گندم مطرح می‌باشد (Ahmadvand et al., 2006; Montazeri et al., 2005). یولاف وحشی علف‌هرزی یک‌ساله از خانواده گندمیان است که کنترل آن به واسطه ریزش بذر قبل از رسیدگی گیاه زراعی و همچنین قابلیت بقاء بذر در خاک به دلیل وجود دوره خواب، بسیار دشوار است. میزان خسارت به عواملی مثل زمان سبز شدن، تراکم و مدت زمان رقابت علف هرز بستگی دارد. کوزنس و همکاران (Cousens et al., 1991) معتقدند که افزایش تراکم ناشی از تداخل علف هرز با گیاه زراعی از طریق رقابت برای نور سبب کاهش نور موثر در فتوسنتز برای گیاه مغلوب شده و نقش سایر عوامل رشد را تحت تاثیر قرار می‌دهد. میزان خسارت یولاف وحشی در مزارع گندم ایران بسته به تراکم آن بین ۱۲ تا ۳۵ درصد برآورد شده است (Salimi, 1996).

برای اتخاذ روش‌های مدیریت مناسب در مزرعه شناخت رفتار علف‌های هرز لازم می‌باشد. به دلیل اینکه هرگونه تغییر مدیریتی در سطح مزرعه ممکن است با تغییر رفتار علف‌های هرز همراه باشد، لازم است با توجه به گسترش استفاده از آبیاری قطره‌ای و همچنین

جدول ۱ - میانگین ماهانه دما و بارندگی محل اجرای آزمایش

Table 1- Average of temperature and precipitation at site of experiment

پارامترها Parameters	Month		ماه					
	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun
میانگین دما Average of temperature (°C)	11.24	5.1	1.1	2.8	8.6	12.6	20.8	24.2
بارندگی Precipitation (mm)	6.1	1.5	1.3	0.7	18.8	27.3	12.1	17.7

گردید و هم‌زمان با کاشت گندم با تراکم بالاتر در بین ردیف‌های کاشت به صورت دستی پخش شد و در اواسط اسفند پس از گذشت سرمای زمستانه عملیات تنک برای رسیدن به تراکم‌های مورد نظر صورت گرفت.

بذور یولاف وحشی از مزارع گندم اطراف شاهرود جمع‌آوری شد. به منظور اعمال تیمارهای تراکم یولاف وحشی، قبل از کشت بذر تست جوانه‌زنی بذور انجام شده و با توجه به درصد جوانه‌زنی و وزن هزار دانه یولاف وحشی، مقدار بذر مورد نیاز برای هر تراکم محاسبه

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 2- Physicochemical properties of soil at site of experiment

بافت خاک Soil texture	رطوبت ظرفیت زراعی Field capacity moisture (%)	رطوبت نقطه پژمردگی Wilting point moisture (%)	نتیروژن کل Total Nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب Absorbable Potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable Phosphorous (ppm)	اسیدیته خاک pH	شوری خاک Soil salinity (dS.m ⁻¹)
Sandy loam	19.2	9	0.05	150	16	7.9	1.4

استفاده از برنامه آماری SAS (Ver 9.1) صورت گرفت و به علت معنی دار شدن اثر متقابل رژیم آبیاری با تراکم یولاف در مورد بعضی از صفات مورد بررسی، جهت مقایسات میانگین برهمکنش اثر عوامل مورد بررسی از روش برش‌دهی اثرات متقابل (Slicing) استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

رژیم آبیاری تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گندم سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به رژیم آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی شد و از این نظر تفاوت معنی‌داری بین رژیم آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی وجود نداشت (جدول ۴). در بررسی واکنش دو رقم گندم به شرایط تنش خشکی نیز کاهش ۵۰ درصدی میزان آب آبیاری سبب کاهش ۲۴ درصدی ارتفاع بوته گندم شد (Hossein Panahi et al., 2011). کاهش آب قابل دسترس گیاه از طریق اختلال در تقسیم سلولی، رشد طولی میانگره‌های ساقه و میزان تولید مواد فتوسنتزی سبب کاهش رشد و ارتفاع کمتر ساقه می‌گردد (Mirzakhani et al., 2015). نتایج نشان داد که افزایش تراکم یولاف به ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع گندم نسبت به شاهد بدون رقابت گردید (نمودار ۱- a). افزایش تراکم یولاف به ۸۰ بوته در متر مربع اگرچه سبب کاهش ارتفاع گندم گردید اما این کاهش در مقایسه با کاهش ارتفاع گندم تحت تأثیر رژیم آبیاری تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، کمتر بود (۵ درصد در مقابل ۱۱ درصد). در بررسی دیگری نیز افزایش تراکم یولاف وحشی از صفر تا یک صد بوته در متر مربع سبب کاهش ارتفاع گندم شد، اما شدت تأثیرگذاری منفی بر ارتفاع گندم در تراکم‌های بیش از ۶۰ بوته یولاف در متر مربع بیشتر بود (Abrahimpour et al., 2005).

تعداد سنبله در واحد سطح

اثر رژیم آبیاری، تراکم یولاف و برهمکنش رژیم آبیاری و تراکم یولاف بر تعداد سنبله در واحد سطح، معنی‌دار بود (جدول ۳). در رژیم

برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش 2,4-D به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی گندم استفاده گردید و با سرکشی مداوم سایر علف‌های هرزی سبز شده به غیر یولاف وحشی در مزرعه، به صورت دستی حذف شدند. آبیاری کرت‌ها با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای نواری (Tape) با فاصله خروجی‌های ۱۰ سانتی‌متر در وسط هر پشته صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت بذرها صورت گرفت و آبیاری بعدی تمام کرت‌ها تا زمان مرحله طویل شدن ساقه‌های گندم، بر اساس تأمین کامل نیاز آبی صورت گرفت و پس از آن با توجه به تیمار کم آبیاری بر اساس ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ (بدون تنش) درصد نیاز آبی گندم صورت گرفت. دور آبیاری با توجه به قابلیت نگهداری آب توسط خاک مزرعه تعیین و به صورت ثابت در نظر گرفته شد. برای اعمال تیمارهای کم آبیاری با استفاده از روش پنمن - مانتیس فائو (برنامه نرم‌افزاری OPTIWAT) میزان تبخیر روزانه محاسبه شد و مقدار آب مصرفی بر اساس میزان تبخیر، میزان بارندگی موثر، نوع تیمار و مساحت کرت‌ها محاسبه شد و در هر نوبت با استفاده از کنتورهای حجمی و شیرهای تعبیه شده در سیستم، آبیاری صورت گرفت. به منظور جلوگیری از تداخل اثر تیمارهای آبیاری فاصله یک و دو متری بین کرت‌های اصلی و تکرارها در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در انتهای فصل رشد، مساحتی معادل دو متر مربع از چهار خط میانی هر کرت پس از حذف اثر حاشیه به‌طور جداگانه برداشت گردید. همچنین از هر کرت یک نمونه تصادفی ۰/۲۵ متر مربعی برای تعیین تعداد سنبله در متر مربع تهیه و تعداد ۱۰ ساقه بارور از این نمونه به صورت تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری طول سنبله، دانه‌ها از سنبله‌ها خارج، توزین و شمارش شدند و از تقسیم تعداد دانه بر تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و از تقسیم وزن دانه‌ها بر تعداد دانه، متوسط وزن دانه به‌دست آمد. اثر تیمارها بر تعداد پنجه نابارور نیز با شمارش تعداد پنجه نابارور در همین نمونه و تقسیم آن بر تعداد پنجه نابارور شاهد بدون تنش و رقابت (تیمار رژیم آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تراکم صفر یولاف) و تعیین نسبت پنجه نابارور صورت گرفت. شاخص بهره‌وری آب با تقسیم عملکرد دانه بر کل آب مصرفی محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با

(جدول ۳). کاهش میزان آب آبیاری سبب کاهش طول سنبله گردید به طوری که کاهش میزان آب به ۶۰ درصد نیاز آبی، کاهش ۱۲ درصدی این صفت را نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به دنبال داشت (جدول ۴). امیری و همکاران (Amiri et al., 2013) در بررسی اثر تنش خشکی آخر فصل روی ۸۰ رقم گندم، به طور میانگین کاهش ۲/۵۸ درصدی طول سنبله را گزارش کردند. ایشان معتقدند که کاهش طول سنبله به این دلیل که سنبله نزدیکترین منبع اسیمیلات به دانه‌ها می‌باشد و برای مدت طولانی‌تر سبز هستند در کاهش عملکرد دانه نقش مهمی دارد. افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری بر طول سنبله نداشت اما افزایش بیشتر تراکم یولاف باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد به طوری که تراکم ۸۰ بوته در متر مربع یولاف، کاهش ۱۲/۸ درصدی طول سنبله را به دنبال داشت (شکل ۱- c). به نظر می‌رسد که کاهش طول سنبله گندم در اثر افزایش تراکم یولاف به دلیل کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به سنبله و تداخل در گرده‌افشانی ناشی از سایه‌اندازی یولاف باشد (Abrahimpour et al., 2005).

تعداد دانه در سنبله

اثر رژیم آبیاری و تراکم یولاف بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی روند تغییرات تعداد دانه در سنبله نشان داد که با کاهش میزان آب آبیاری از ۱۰۰٪ به ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی تعداد دانه در سنبله به ترتیب ۹/۸ و ۱۵/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محدوده زمانی پیش از گرده‌افشانی در گندم با تکامل و شکل‌گیری گلچه‌ها همراه است و تنش خشکی در این مرحله سبب کاهش تعداد گلچه بارور در سنبله و در نتیجه تعداد دانه در سنبله در مرحله گرده‌افشانی می‌گردد. کاهش تعداد دانه در سنبله در اثر تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش تعداد دانه در سنبلک و تعداد سنبلک در سنبله باشد، زیرا در این وضعیت در اثر افزایش ABA ناشی از تنش خشکی، مرگ دانه‌های گرده و گلچه‌ها اتفاق افتاده (Siani and Aspinall, 1981; Westgate et al., 1996) و در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌های تشکیل شده و به تبع آن در پر شدن و تشکیل دانه اختلال روی می‌دهد. در این مرحله ساقه در حال طویل شدن نیز برای جذب اسیمیلات رقابت می‌کند و سبب محدودیت منبع می‌گردد و در نتیجه تعداد گلچه بارور کمتر می‌گردد (Rajala et al., 2009). غلیون و همکاران (Ghiglione et al., 2008) نیز بین محتوی کربوهیدرات سنبله و مرگ گلچه‌ها همبستگی گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه کاهش ۲۲ درصدی تعداد دانه نسبت به شاهد بدون تنش را به دنبال داشت (Rajala et al., 2009). با وجود اینکه افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیری بر

آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری روی تعداد سنبله در واحد سطح نداشت اما با افزایش بیشتر تراکم یولاف در تمام رژیم‌های آبیاری، تعداد سنبله در واحد سطح کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵) به طوری که در تیمار تأمین ۱۰۰ نیاز آبی افزایش تراکم یولاف به ۸۰ بوته در متر مربع سبب کاهش شش درصدی تعداد سنبله در واحد سطح در مقایسه با تیمار عدم حضور یولاف وحشی شد. این کاهش در شرایط مشابه در تیمارهای تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب منجر به کاهش ۱۳/۸ و ۹ درصدی این صفت شد (جدول ۵). در اثر رقابت یولاف وحشی تعداد زیادی از پنجه‌های گندم از ورود به مرحله زایشی و تولید دانه باز می‌مانند (Balyan et al., 1991). قرخلو و همکاران (Gherekloo et al., 2004) کاهش تعداد پنجه‌های بارور گندم را در اثر رقابت با علف‌های هرز گزارش کردند. در تحقیقی دیگر نشان داده شد که افزایش تراکم یولاف به ۵۰ و ۷۵ بوته در متر مربع به ترتیب باعث کاهش ۲۹/۹ و ۴۳/۳ درصدی تعداد سنبله در واحد سطح شد (Armin et al., 2007).

در واقع یولاف وحشی اثر خود را روی کاهش عملکرد گندم بیشتر از طریق کاهش تعداد سنبله‌های بارور و تعداد بذور تشکیل شده اعمال می‌کند (Zamani et al., 2005; Ahmadvand et al., 2006). افزایش ۳۵، ۴۰ و ۴۶/۲ درصدی نسبت پنجه نابارور به ترتیب در اثر افزایش تراکم یولاف به ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع (شکل ۱-b) و کاهش میزان آب به ۶۰ درصد نیاز آبی (جدول ۴) نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده افزایش تعداد پنجه نابارور در کاهش تعداد سنبله در واحد سطح و به تبع آن کاهش عملکرد می‌باشد. کاهش تعداد پنجه بارور در واحد سطح در اثر افزایش فشار رقابتی علف هرز در مطالعات متعددی گزارش شده است (Huel and Hucl, 1996; Das and Yaduraju, 1999; Gherekloo et al., 2004). با توجه به اعمال تیمارهای آبیاری پس از اتمام مرحله پنجه‌زنی گندم، کاهش تعداد سنبله در واحد سطح در این تیمارها می‌تواند به دلیل عدم باروری سنبله تعدادی از پنجه‌های تولیدی به دلیل کاهش میزان آب آبیاری و همچنین افزایش رقابت درون و بین گونه‌ای و محدودیت فضای رشد باشد (Saadatian et al., 2012). راجالا و همکاران (Rajala et al., 2009) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی قبل از مرحله گرده‌افشانی نیز سبب کاهش اندک تعداد پنجه می‌گردد. وقوع تنش خشکی قبل از مرحله گلدهی از طریق محدودیت مواد فتوسنتزی سبب کاهش و توقف رشد پنجه‌های تشکیل شده و در نتیجه کاهش تعداد پنجه‌های بارور می‌گردد.

طول سنبله

طول سنبله تحت تاثیر رژیم آبیاری و تراکم علف هرز قرار گرفت

رژیم آبیاری $\times$ تراکم یولاف بر عملکرد گندم معنی‌دار بود (جدول ۳). هرچند که در تمامی تراکم‌های یولاف کاهش میزان آب آبیاری به ۶۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش عملکرد شد ولی این کاهش در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع یولاف، ۳۴/۲ درصد و در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع، ۳۸/۶ درصد بود (شکل ۲-۲a). در تیمار تأمین ۱۰۰ نیاز آبی افزایش تراکم یولاف به ۸۰ بوته در متر مربع سبب کاهش ۲۲ درصدی عملکرد در مقایسه با تیمار عدم حضور یولاف شد در حالی که این کاهش در شرایط مشابه در تراکم‌های ۲۰ و ۴۰ بوته در متر مربع یولاف به ترتیب کاهش ۵/۵ و ۱۷/۶ درصدی این صفت را در پی داشت (شکل ۲-۲a). افزایش تراکم یولاف سبب افزایش تراکم گیاهی در واحد سطح شده و به دلیل برتری یولاف در استفاده از منابع محیطی به ویژه نور به دلیل ساختار رشدی و نحوه توزیع برگ‌ها در کانوپی از طریق کاهش نور در دسترس باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد گندم می‌گردد (Cousens et al., 1991). زنده و همکاران (Zand et al., 2005) در تحقیقی نشان دادند که رقم الوند در رقابت با یولاف وحشی آرایش کانوپی خود را به گونه‌ای تغییر داد که حداکثر سطح برگ، در ارتفاع بالاتری نسبت به ارقام غیر رقیب گندم قرار گرفت و این ویژگی مانع از غالبیت کامل کانوپی یولاف وحشی گردید. این وضعیت نشان‌دهنده رقابت‌پذیری بیشتر این رقم بوده و حساسیت کمتر این رقم به رقابت تراکم‌های پایین یولاف وحشی را توجیه می‌نماید.

سعادتیان و همکاران (Saadatian et al., 2012) نیز ضمن گزارش نتایج مشابه عنوان کردند که در تراکم ۸۰ بوته چاودار در متر مربع، رقم سایسون ۴۴ درصد کاهش عملکرد نشان داد در حالی که رقم الوند تنها ۲۹ درصد کاهش عملکرد داشت. در تحقیق دیگری مشخص گردید که افزایش تراکم یولاف سبب کاهش معنی‌دار عملکرد گندم گردید به طوری که تراکم‌های ۳۹/۲ و ۶۱ بوته یولاف در متر مربع به ترتیب کاهش ۳۵/۲ و ۴۳/۹ درصدی عملکرد گندم را به دنبال داشت (Montazeri, 2007). بررسی روند تغییرات عملکرد دانه با افزایش تراکم یولاف از ۴۰ به ۸۰ بوته در متر مربع نشان داد که افزایش تراکم یولاف در شرایط مطلوب رطوبتی بر خلاف شرایط کم آبیاری سبب کاهش معنی‌داری عملکرد دانه نشد (شکل ۲-۲b). این امر می‌تواند ناشی از کاهش توانایی رقابتی گندم در اثر تنش خشکی و به دلیل توانایی بیشتر یولاف در جذب منابع رشدی در این شرایط و در نتیجه حفظ فشار رقابتی بر گیاه زراعی باشد.

این جز از عملکرد دانه نداشت اما افزایش بیشتر تراکم یولاف سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار بدون رقابت (تراکم صفر یولاف) گردید (شکل ۱)، به طوری که در تراکم ۸۰ بوته یولاف در متر مربع کاهش تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار شاهد حدود ۲۱/۶ درصد بود. کاهش تعداد دانه در سنبله با افزایش تراکم یولاف توسط منتظری (Montazeri, 2007) نیز گزارش گردید. در اثر سایه‌اندازی ناشی از افزایش تراکم علف هرز، کارایی فتوسنتزی گندم و در نتیجه توانایی رقابت در دریافت نور، مواد غذایی و تخصیص آسیمیلات به اندام‌های زایشی کاهش یافته و باعث کاهش باروری گلچه و کاهش تعداد دانه در سنبله می‌شود (Blakshaw et al., 2004; Rezvani et al., 2013).

وزن هزار دانه

نتایج نشان داد که اثر رژیم آبیاری و تراکم یولاف بر وزن هزار دانه گندم معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش میزان آب آبیاری به ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گندم به ترتیب سبب کاهش ۹ و ۱۹ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار آبیاری کامل شد (جدول ۴). در بررسی سایر محققان نیز کمبود آب در مرحله پر شدن دانه (خصوصاً ۲ تا ۳ هفته پس از گلدهی)، باعث کاهش مدت دوره پر شدن دانه و کاهش وزن آن شد (Gooding et al., 2003; Paknejad et al., 2007). نتایج نشان داد که وزن هزار دانه در اثر افزایش تراکم یولاف، کاهش یافت. افزایش تراکم یولاف از صفر تا ۲۰ بوته در متر مربع تأثیری بر وزن هزار دانه نداشت اما افزایش بیشتر تراکم یولاف سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گندم گردید به طوری که افزایش تراکم یولاف به ۸۰ بوته در متر مربع کاهش ۱۶ درصدی وزن هزار دانه گندم را به دنبال داشت (شکل ۱-۱d). سایه‌اندازی یولاف در مرحله پر شدن دانه، به دلیل ارتفاع بیشتر آن نسبت به گندم از طریق کاهش جذب تشعشع توسط گندم و در نتیجه کاهش فتوسنتز جاری منجر به کاهش وزن دانه می‌گردد (Anafjeh et al., 2008). زمانی و همکاران (Zamani et al., 2005) در بررسی اثر تراکم یولاف وحشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، کاهش وزن هزار دانه گندم را در اثر افزایش تراکم یولاف گزارش کردند. منتظری (Montazeri, 2007) نیز گزارش کرد که افزایش تراکم یولاف به بیش از ۳۹ بوته در متر مربع سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گندم گردید.

عملکرد دانه

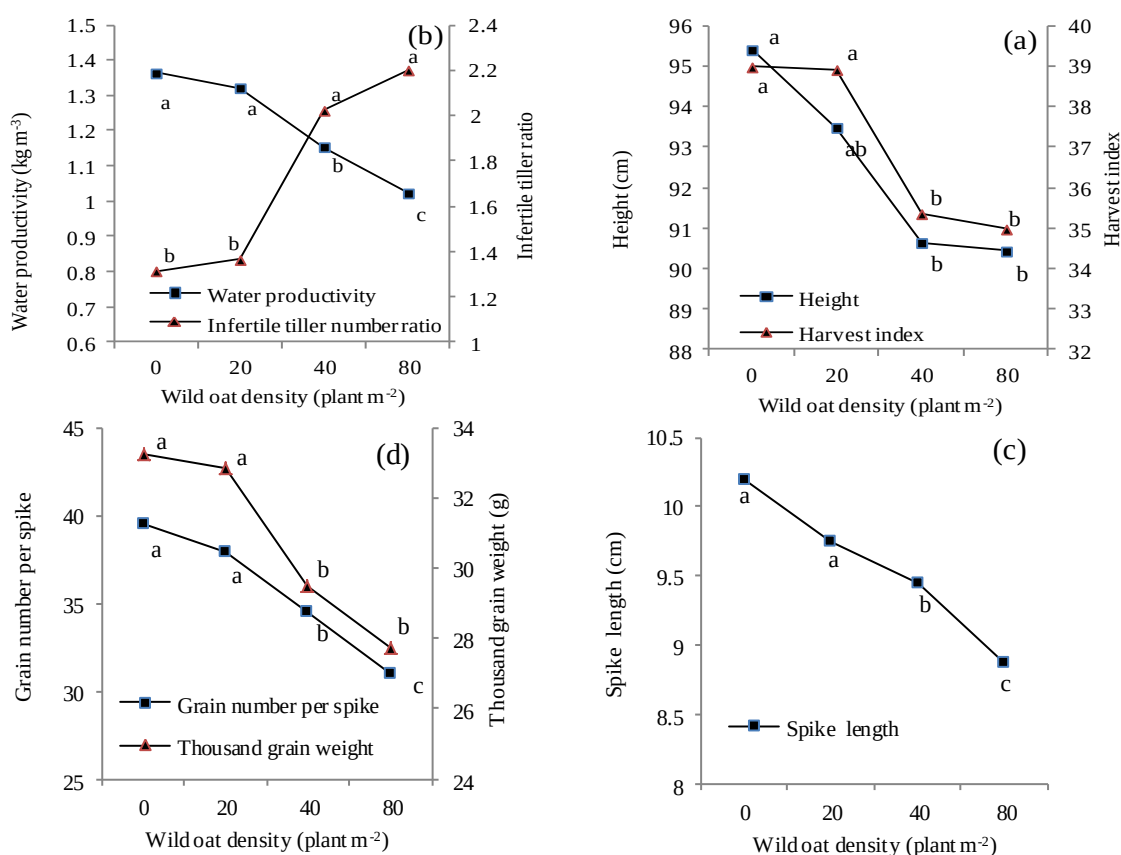
نتایج نشان داد که اثر رژیم آبیاری، تراکم یولاف و برهمکنش

جدول ۳- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات اثر رژیم آبیاری و تراکم یولاف بر ارتفاع، اجزای عملکرد، نسبت پنجه نابارور، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و بهره‌وری آب

Table 3- Source of variation, degree of freedom and Mean Squares of irrigation regime and wild oat density on height, yield components, infertile tiller ratio, grain yield, biological yield, harvest index and water productivity index

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	تعداد سنبله	نسبت پنجه نابارور	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	بهره‌وری آب
S.O.V	d.f	Height	Spike number	Infertile tiller ratio	Spike length	Grain number per Spike	1000 grain weight	Grain yield	Biological yield	Harvest index	Water productivity
بلوک (B)	2	12.655	61.89	0.72	0.126	0.33	23.795	0.011	0.927	5.246	0.0004
رژیم آبیاری	2	421.86*	26954.44*	3.76*	4.787*	111.87**	125.594*	16.845**	23.665**	278.284*	0.159*
Irrigation regime(I.R)											
خطای اول (B× I.R)	4	42.712	570.355	0.186	0.522	3.787	6.186	0.121	0.288	6.487	0.007
تراکم یولاف	3	51.457*	5973.364*	1.845*	2.703*	130.033**	63.636*	4.542**	9.801**	43.242*	0.222*
Wild oat Density (W.D)											
رژیم آبیاری × تراکم یولاف	6	11.837 ^{ns}	389.109*	0.93 ^{ns}	0.221 ^{ns}	2.305 ^{ns}	10.771 ^{ns}	0.166*	1.595**	10.085 ^{ns}	0.006 ^{ns}
I.R × W.D											
خطای دوم (Eb)	18	13.26	112.021	0.99	0.326	3.465	7.343	0.055	0.3178	3.946	0.003

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}، * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۱- تاثیر تراکم یولاف وحشی روی ارتفاع، شاخص برداشت (a) بهره‌وری آب، نسبت پنجه نابارور، (b) طول سنبله، (c) تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه، (d) گندم. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد. Figure 1- Effect of Wild oat on height and harvest index (a) Water productivity, infertile tiller ratio, (b) Length of spike, (c) Grain number per spike and thousand grain weight, (d) of wheat. The same letter indicates no statistical difference at P= 0.05.

تمامی تراکم‌های یولاف کاهش میزان آب آبیاری به ۶۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش عملکرد بیولوژیک شد. این کاهش در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع یولاف، ۱۸/۷۵ درصد و در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع، ۱۰/۴۲ درصد بود (شکل ۲- b). کاهش کمتر این صفت در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع ناشی از کاهش بسیار بیشتر (۱۷/۶۸ درصدی) عملکرد بیولوژیک در تیمار تأمین ۱۰۰ نیاز آبی در اثر افزایش تراکم یولاف به ۸۰ بوته در متر مربع در مقایسه با کاهش ۴/۳۶ درصدی این صفت در تراکم ۴۰ بوته در متر مربع یولاف در شرایط مشابه بود (شکل ۲- b). افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گندم در رژیم‌های آبیاری تأمین ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی نداشت در حالی‌که در رژیم آبیاری تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، افزایش تراکم یولاف به ۲۰ بوته در متر مربع سبب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید.

افزایش نسبت بیوماس علف هرز *Echinochloa colona* به برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش خشکی نیز نشان‌دهنده توانایی بیشتر این علف هرز در استفاده از منابع رشدی نسبت به برنج در این شرایط است (Chauhan and Johnson, 2010). کاهش ۱۰۰ درصدی عملکرد ذرت در رقابت با تاج خروس در شرایط محدودیت آبیاری در مقایسه با کاهش ۶۲/۵ درصدی عملکرد، ناشی از رقابت این علف هرز در شرایط آبیاری مناسب (Ruf-Pachta et al., 2013) نیز نشان‌دهنده غلبه برخی علف‌های هرز در شرایط کمبود آب نسبت به شرایط عدم کمبود آب نسبت به گیاه زراعی می‌باشد.

عملکرد بیولوژیک

اثر رژیم آبیاری و تراکم علف هرز و برهمکنش رژیم آبیاری × تراکم علف هرز بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳). در

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد تحت تاثیر رژیم آبیاری

Table 4- Mean comparison of yield and yield components traits affected by deficit irrigation regimes

تیمارهای آبیاری	ارتفاع (سانتی متر)	نسبت پنجه نابارور	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	طول سنبله (سانتی متر)	شاخص برداشت	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مربع)
Irrigation treatment	Height (cm)	Infertile tiller ratio	Grain number per spike	1000 grain weight (g)	Spike length (cm)	Harvest index (%)	Water productivity (kg m ⁻³)
FI	96.52 ^a	1.26 ^c	39.02 ^a	34.01 ^a	10.06 ^a	40.48 ^a	1.25 ^b
80% FI	95.28 ^a	1.56 ^b	35.18 ^b	30.94 ^b	9.77 ^a	39.13 ^a	1.31 ^a
60% FI	85.69 ^b	2.35 ^a	32.98 ^c	27.54 ^c	8.85 ^b	31.55 ^b	1.08 ^c

FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گندم، 80% FI: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گندم، 60% FI: تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گندم. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

FI: Supply of 100% of wheat water requirement, 80%FI: Supply of 80% of wheat water requirement, 60% FI: Supply of 60% of wheat water requirement. Within each column the same letter indicates no statistical difference at P = 0.05.

جدول ۵- مقایسات میانگین تعداد سنبله در رژیم‌های آبیاری تحت تاثیر تراکم یولاف وحشی

Table 5- Mean comparison of spike number in irrigation regimes affected by Wild oat density

Table 3. Mean comparison of spike number in irrigation regimes affected by wild oat density									
صفت	رژیم آبیاری	تراکم یولاف وحشی							
Trait	Irrigation regime	Wild oat density (plants m ⁻²)							
		0		20		40		80	
تعداد سنبله (در متر مربع) Spike number (.m ⁻²)	۱۰۰٪ نیاز آبی 100% of W.R ¹	615.41	a	612.07	a	593.89	bc	576.56	c
	۸۰٪ نیاز آبی 80% of W.R	611.33	ab	576.33	c	543	d	526.67	de
	تأمین ۶۰٪ نیاز آبی 60% of W.R	532	de	517	e	490.33	f	483.33	f

¹ Water Requirement

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از روش برش‌دهی اثرات متقابل ندارند.

Means with same letters don't have significant difference, using Slicing method, p=0.05

کاهش معنی‌دار شاخص برداشت در رژیم آبیاری تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی را می‌توان به تاثیر مشابه این تیمار کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم مرتبط دانست. افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری روی شاخص برداشت نداشت اما افزایش تراکم این علف هرز به ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار ۹/۳ و ۱۰/۲ درصدی شاخص برداشت گردید (شکل ۱- d). عطاریان و راشد محاسل (Attarian and Rashed Mohasel, 2002) با بررسی اثر رقابت یولاف وحشی و سه رقم گندم زمستانه نتیجه گرفتند که با افزایش تراکم یولاف وحشی، شاخص برداشت کاهش می‌یابد. سایه‌اندازی یولاف بر روی گندم از طریق کاهش فتوسنتز، تولید و تخصیص مواد لازم جهت ساخت اندام‌های زایشی و پر شدن دانه‌ها را دچار اختلال کرده و در نتیجه موجب کاهش عملکرد اقتصادی و کاهش شاخص برداشت می‌گردد.

این نتایج نشان می‌دهد که عملکرد بیولوژیک این رقم گندم همانند ارتفاع حساسیت کمتری به تنش ملایم خشکی دارد که این امر می‌تواند ناشی از ویژگی‌های رشدی این رقم و توانایی رقابت‌پذیری بیشتر آن مرتبط دانست (Zand et al., 2005). در بررسی اثر تراکم یولاف بر عملکرد دو رقم گندم مشاهده شد که افزایش تراکم یولاف تا ۲۵ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری روی عملکرد بیولوژیک نداشت اما افزایش تراکم یولاف به ۵۰ و ۷۵ بوته در متر مربع به دلیل افزایش رقابت درون و برون گونه‌ای سبب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید (Armin et al., 2007).

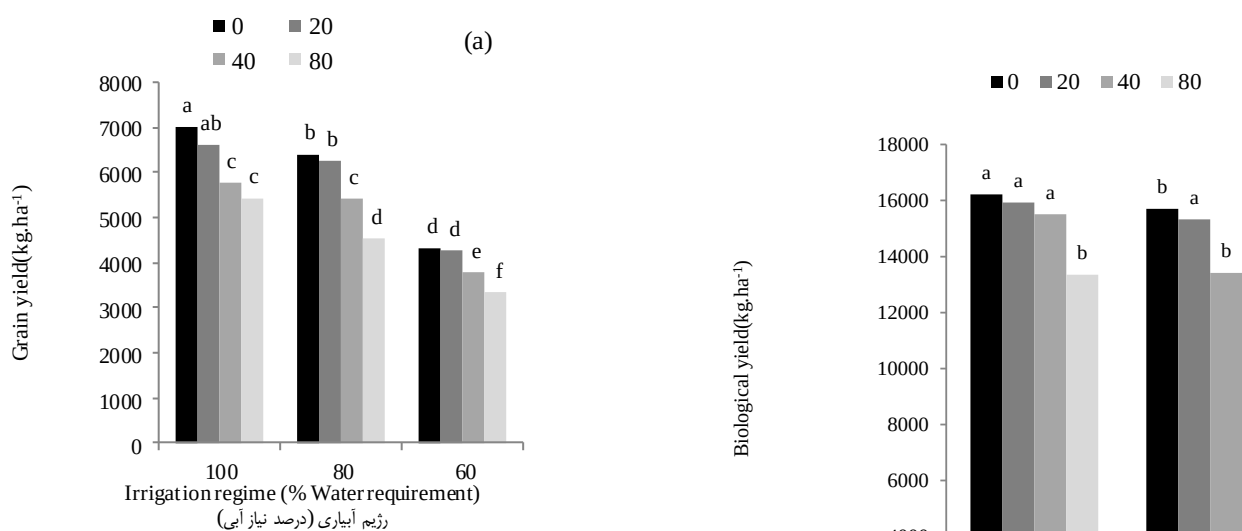
شاخص برداشت

اثر کم‌آبیاری و تراکم علف هرز بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش میزان آب آبیاری به ۸۰ درصد نیاز آبی گندم سبب کاهش جزئی (۳ درصد) و غیر معنی‌دار شاخص برداشت گردید در حالی که با کاهش بیشتر میزان آب آبیاری (۶۰ درصد نیاز آبی) شاخص برداشت به میزان ۲۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴). عدم

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه گیری شده در گندم
Table 6- Correlation coefficient of measured wheat traits

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9
۱- ارتفاع 1. Height	1								
۲- تعداد سنبله در متر مربع 2. Spike number per square meter	0.90 **	1							
۳- تعداد دانه در سنبله 3. Grain number per spike	0.69 *	0.88 **	1						
۴- وزن هزار دانه 4. 1000 grain weight	0.78 **	0.89 **	0.90 **	1					
۵- طول سنبله 5. Spike length	0.85 **	0.87 **	0.89 **	0.86 **	1				
۶- نسبت پنجه نابارور 6. Infertile tiller ratio	-0.88 **	-0.96 **	-0.91 **	-0.91 **	-0.89 **	1			
۷- عملکرد دانه 7. Grain yield	0.91 **	0.97 **	0.87 **	0.94 **	0.93 **	-0.95 **	1		
۸- عملکرد بیولوژیک 8. Biological yield	0.85 **	0.93 **	0.87 **	0.90 **	0.87 **	-0.90 **	0.93 **	1	
۹- شاخص بهره‌وری آب 9. Water productivity index	0.74 **	0.79 **	0.86 **	0.85 **	0.87 **	-0.90 **	-0.90 **	0.94 **	1

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد
** and * significant at 1% and 5% probability levels respectively



شکل ۲- تاثیر تراکم یولاف وحشی بر عملکرد دانه (a) و بیولوژیک (b) گندم در رژیم‌های آبیاری
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد، با استفاده از روش برش‌دهی اثرات متقابل ندارند).
Figure1- Effect of drought stress on length (a) and dry weight (b) of plumule in irrigation regimes
(Means with same letters don't have significant difference, using Slicing method, p=0.05)

بهره‌وری آب

نتایج نشان داد که اثر رژیم آبیاری و تراکم علف هرز بر بهره‌وری آب معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش میزان آب مصرفی از ۱۰۰٪ نیاز آبی به ۸۰٪ نیاز آبی سبب افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب گردید در حالی که کاهش آب مصرفی به ۶۰٪ نیاز آبی سبب کاهش معنی‌دار بهره‌وری آب نسبت به سایر رژیم‌های آبیاری گردید (جدول ۴). کاهش میزان مصرف آب در تیمارهای تأمین ۸۰ و ۶۰٪ نیاز آبی نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی به ترتیب ۱۲/۴ و ۲۶/۷ درصد بود در حالی که میزان کاهش عملکرد در این تیمارها نسبت به تیمار تأمین ۱۰۰٪ نیاز آبی به ترتیب ۹ و ۳۶/۶ درصد بود. در واقع در تیمار تأمین ۸۰٪ نیاز آبی کاهش عملکرد کمتر از کاهش مصرف آب بود و در نتیجه بهره‌وری آب افزایش یافت در حالی که در تیمار تأمین ۶۰٪ نیاز آبی کاهش عملکرد بیشتر از کاهش مصرف آب بود و به همین دلیل بهره‌وری آب در این تیمار کاهش یافت. بررسی روند تغییرات بهره‌وری آب با افزایش تراکم علف هرز یولاف نشان داد که با افزایش تراکم یولاف، بهره‌وری آب کاهش داشت (شکل ۱- b). افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیر معنی‌داری بر بهره‌وری آب نسبت به تیمار بدون علف هرز نداشت اما با افزایش تراکم یولاف به ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع، بهره‌وری آب به واسطه کاهش عملکرد ناشی از محدودیت آب قابل دسترس برای گندم (به دلیل مصرف بیشتر آب توسط یولاف) کاهش معنی‌داری نشان داد. نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با ارتفاع، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، طول سنبله، وزن سنبله و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۶). وجود این همبستگی بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته

را می‌توان به وجود ذخایر آسمیلات در ساقه و انتقال آن به دانه‌ها در طول دوره پر شدن دانه‌ها مرتبط دانست. وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0.97^{**}$) بین تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد، نشان‌دهنده اهمیت این عامل در تعیین میزان عملکرد می‌باشد (جدول ۶). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه هم در شرایط مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Leilah and Al-Khateeb, 2005; Mohammadi, 2014).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود. کاهش مصرف آب به ۸۰ درصد نیاز آبی اگرچه با کاهش ۹ درصدی عملکرد همراه بود اما منجر به صرفه‌جویی ۱۲ درصدی آب و به تبع آن افزایش بهره‌وری آب شد و از این حیث امکان توصیه آن برای مناطقی که با کمبود آب قابل بررسی می‌باشد. به عبارت دیگر در مناطق کم‌آب، استراتژی آب کمتر- بهره‌وری بیشتر، مناسب‌ترین گزینه برای مدیریت بهینه آبیاری جهت ثبات تولید و افزایش آب قابل استفاده است. افزایش تراکم یولاف تا ۲۰ بوته در متر مربع تاثیری معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم نداشت اما افزایش تراکم تا ۸۰ بوته در متر مربع سبب کاهش این صفات در تمامی رژیم‌های آبیاری شد. عدم حساسیت رقم الوند گندم به رقابت یولاف در تراکم‌های کمتر به دلیل ویژگی‌های رشدی و توانایی رقابتی رقم مذکور است که مانع از غالبیت یولاف و کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک و بهره‌وری آب در این شرایط می‌شود.

References

1. Abrahimpour Noorabady, F., Ayneband, A., Nour Mohammadi, G., Moosavinia, H. and Mesgarbashi, M. 2005. Study of some wheat ecophysiological indices as influenced by wild oat interaction. Pajouhesh and Sazandegi 73: 117-125. (in Persian).
2. Ahmadvand, G., Naseri-Mahalati, M., and Kochehi, A. R. 2006. Effect of light competition and nitrogen fertilizer on canopy structure of wheat and wild oat. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12 (6): 100-112. (in Persian).
3. Amiri, R., Bahraminejad, S., and Jalali-Honarmand, S. 2013. Effect of terminal drought stress on grain yield and some morphological traits in 80 bread wheat genotypes. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (10): 1145-1153.
4. Anafteh, Z., Fathi, G., Ebrahimpour, F., Zand, E., and Chaab, A. 2008. Study on Competitiveness of Wild oat (*Avena fatua* L.) with Wheat (*Triticum aestivum* L.) Chamran Cultivar. Iranian Journal of Weed Science 8: 35-46. (in Persian with English abstract).
5. Armin, M., Noormohammadi, Gh., Zand, E., Baghestani, M. A., and Darvishi, F. 2007. Competition effect of wild oat (*Avena ludoviciana* L.) on two wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes contrasting in their competitive ability. Iranian Journal of Field Crops Research 5 (1): 9-18. (in Persian with English abstract).
6. Attarian, A. M., and Rashed Mohasel, M. H. 2002. Competitive effects of wild oat (*Avena ludoviciana*) on yield and yield components of three winter wheat varieties. Journal of Agricultural Science and Technology 2 (1): 25-32. (in Persian with English abstract).

7. Bazrafshan, F., Moosavinia, H., Moezi, A., Siadat, A., and Hamidi, R. 2010. Influence of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) different densities on yield and yield component of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Weed Research Journal 2:15-28. (in Persian).
8. Balyan, R. S., Mlik, R. K., Panvvar, R. S., and Singh, S. 1991. Competitive ability of winter cultivars with wild oat (*Avena ludoviciana*). Weed Science 39: 154-158.
9. Blakshaw, R. E., Molnar, L. J., and Janzen, H. H. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. Weed Science 52 (4): 614-622.
10. Chauhan, B. S., and Preston, D. E. 2010. Growth and reproduction of Jungle rice (*Echinochloa colona*) in response to water stress. Weed Science 58 (2): 132-135.
11. Cousens, R. D., Weaver, S. E., Martin, T. D., Blair, A. M., and Wilson, J. 1991. Dynamics of competition between wild oat (*Avena fatua*) and winter cereals. Weed Research 37 (4): 203-210.
12. Delmer, D. P. 2005. Agriculture in the developing world: connecting innovations in plant research to downstream applications. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102: 15739 -15746.
13. Das, T. K., and Yaduraju, N. T. 1999. Effect of weed competition on growth, nutrient uptake and yield of wheat as affected by irrigation and fertilizers. Journal of Agricultural Science 133 (1): 45-51.
14. Eslami, S. V., Gill, G. S., Bellotti, B., and McDonald, G. 2006. Wild radish (*Raphanus raphanistrum*) interference in wheat. Weed Science 54 (4): 749-756.
15. Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F., and De Juan, J. A. 2002. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. Agricultural Water Management 54 (2): 93-105.
16. Gherekhloo, J., Mazaheri, D., Ghanbari, A., and Ghannadha, M. R. 2004. Mutispecies competition effects of weeds on yield and yield components of wheat. Desert 9 (2): 197-206. (in Persian with English abstract).
17. Ghiglione, H., Gonzalez, F., Serrago, R., Maldonado, S., Chilcott, C., Cura, J., Miralles, D. J., Zhu, T., and Casal, J. 2008. Autophagy regulated by day length sets the number of fertile florets in wheat. the Plant Journal 55 (6): 1010-1024.
18. Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R., and Schofield, J. D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Science 37 (3): 295-309.
19. Hossein Panahi, F., Kafi, M., Parsa, M., Nasiri Mahallati, M., and Banayan, M. 2011. Evaluation of yield and yield components of resistant to drought cultivars of wheat under moisture stress, using Penman-Muntis FAO model. Journal of Environmental Stress in Crop Science 5 (1): 47-63. (in Persian).
20. Huel, D. G., and Hucl, P. 1996. Genotypic variation for competitive ability in spring wheat. Plant Breeding 115 (5): 325-329.
21. Kang, S., Zhang, L., Ling, Y., Hu, X., Cai, H., and Gu, B. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. Agricultural Water Management 55 (3): 203-216.
22. Leilah, A. A., and Al-Khateeb, S. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. Journal of Arid Environments 61 (3): 483-496.
23. Mirzakhani, M., Hemmati, Z., and Sajedi, N. A. 2015. Response of wheat physiological and agronomic traits to water Stress and zeolite Application. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (1):173-183. (in Persian with English abstract).
24. Mohammadi, S. 2014. Evolution of grain yield and its components relationships in bread wheat genotypes under full irrigation and terminal water stress condition using multivariate statistical analysis. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 99-109. (in Persian).
25. Montazeri, M. E., Zand, E., and Baghestani, M. A. 2005. Weeds and their control in wheat fields in Iran. Advances in Agronomy 58: 57-93.
26. Montazeri, M. 2007. Influence of winter wild oat (*Avena ludoviciana*), annual canary grass (*Phalaris minor*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*) at different density on yield and yield component of wheat. Pajouhesh and Sazandegi 74: 72-78. (in Persian).
27. Paknejad, F., Majidi, E., Noormohammadi, G., Seadat, A., and Vazan, S. 2007. Evaluation of drought stress on effective traits at accumulative assimilate of grain in different cultivars of wheat. Journal of Agricultural Sciences 13 (1): 137- 149. (in Persian).
28. Pester, T. A., Westra, P., Anderson, R. L., Lyon, D. L., Miller, S. D., Stahlman, P. W., Northam, F. E., and Wicks, G. A. 2000. *Secale cereale* interference and economic thresholds in winter *Triticum aestivum*. Weed Science 48 (6): 720-727.
29. Rajala, A., Hakala, K., Makela, P., Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. Field Crop Research 114 (2): 263-271.
30. Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., and Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161 (11):1189-1202.

31. Rezvani¹, H., Asghari, J., Ehteshami, S. M. R., and Kamkar, B. 2013. Study the response of yield and component yield of wheat cultivars in competition with wild mustard in Gorgan Electronic Journal of Crop Production 6 (4): 187-214. (in Persian with English abstract).
32. Ruf-Pachta, E. K., Rule, D. M., and Dille, J. A. 2013. Corn and palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) interactions with nitrogen in dryland and irrigated environments. Weed Science 61 (2): 249-258.
33. Saadatian, B., Ahmadvand, G., and Soleymani, F. 2012. Study of canopy structure and growth characters role of two wheat cultivars in competition, on economic threshold and yield of rye and wild mustard. Iranian Journal of Field Crops Research 9 (3): 494-504. (in Persian).
34. Salimi, H. 1996. Biology review competition and damage rate of wild oat densities in Irrigated wheat. Twelfth congress of Iranian Plant Protection. Karaj, Iran.
35. Siani, H. S. and Aspinall, D. 1981. Effects of water deficit on sporogenesis in wheat. Annals of Botany 48 (5): 623-633.
36. Wang, H., Zhang, L., Dawes, W. R., and Liu, C. 2001. Improving water use efficiency of irrigated crops in North China plain measurements and modeling. Agricultural Water Management 48 (2): 151-167.
37. Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta 218 (1):1-14.
38. Westgate, M. E., Passioura, J. B., and Munns, R. 1996. Water status and ABA content of floral organs in drought-stressed wheat. Australian Journal of Plant Physiology 23 (6): 763-772.
39. Zamani, G. R., Rahimian, H., Kafi, M., and Bagheri, A. R. 2005. Effects of salinity and wild oat (*Avena ludoviciana*) densities on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11 (4): 35-45. (in Persian with English abstract).
40. Zand, E., Koochaki, A., Rahimiyan mashhadi, H., Deyhim fard, R., Soofi zade, S., and Nassiri mahalati, M. 2005. Studies on some ecophysiological traits associated with competitiveness of old and new Iranian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars against wild oat (*Avena ludoviciana* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 2 (2): 160-174. (in Persian with English abstract).
41. Zhang, B. C., Li, F. M., Huang, G. B., Gan, Y., Liu, P. H., and Heng, Z. Y. C. 2005. Effects of regulated deficit irrigation on grain yield and water use efficiency of spring wheat in an arid environment. Canadian Journal of Plant Science 85 (4): 829-837.



Effects of Deficit Irrigation and Wild Oat (*Avena ludoviciana*) Density on Yield and Yield Components of Wheat

A. R. Barjasteh¹, A. Nezami^{2*}, H. R. Khazaei², E. Zand³

Received: 13-07-2016

Accepted: 23-01-2017

Introduction: Water stress is one of the most important abiotic factors that restrict the growth and production of plants in the world, especially in arid and semi-arid regions. In Iran, a majority of wheat are located in arid and semi-arid regions. In these regions, drought stress occurs due to the lack of water which causes a considerable decrease in the yield of wheat. A suitable strategy to achieve satisfactory production in these areas is to apply deficient irrigation systems with the aim of improving water use efficiency and acceptable yield. Weed competition is another factor which decreases the wheat yield. Wild oat, due to its high compatibility and different ecological conditions, is one of the most important weed in wheat in most areas of Iran. Therefore, it is necessary to understand their behavior in the field, if we plan to apply appropriate weed management methods. Because any management change in the field may change weed behavior, and since the drip irrigation is spreading and the merits of deficit irrigation is known, it is necessary to evaluate their behavior at these conditions. Thus, the aim of this study was to study the wheat response to the interference of wild oat under deficit irrigation conditions.

Materials and Methods: An experiment as split plot in randomized complete block design was conducted to evaluate the effects of deficit irrigation in three levels (supply of 100, 80 and 60 percent of crop water requirement as main plot) and wild oat density in four levels (0, 20, 40 and 80 plant m⁻²) on wheat yield in Shahrood agricultural research center. Wild oat seed was collected from wheat field around Shahrood and was planted with wheat. Crop water requirements calculated by Penman-Monteith equation amended by FAO. Irrigation treatments was applied at the beginning of jointing stage and continued during the growing season. At the end of experiment, two square meters of each plot harvested to measure the grain yield and biological yield. At this time 0.25 square meters of each plot harvested and yield components were measured. Data were analyzed in SAS software (version 9.1). Slicing method was used for interaction mean comparison.

Results and Discussion: The effects of irrigation regime and wild oat density were significant on the number of spikes, the number of grains at spike, infertile tiller ratio, spike length, plant height, biological yield, grain yield, harvest index and water productivity. Decreasing the water usage to 60% of the water requirement decreased the grain yield and biological yield of wheat by 38.59 and 11.64%, respectively at the density of 80 bushes m⁻². Increasing the wild oat density up to 20 plants per m² had no significant effect on the grain and biological yield of wheat, while increasing it up to 80 plants in the deficient irrigation regime with 60% of water requirement, decreased the grain and biological yield of wheat to 52.3 and 26.2%, respectively, compared with the control (100% of the water requirement) and zero density of wild oat treatment. Spike numbers per unit area showed a significant and positive correlation ($r=0.97^{**}$) with yield. Moreover, the results showed that deficient irrigation regime with supplying 80% of the water requirement reduced the grain yield and water usage by 9 and 12%, respectively and it improved the water productivity by 4.6% compared with the optimum water conditions. Whereas, reducing the amount of irrigation water to 60% of the required water, decreased the water productivity by 13.6% compared with the optimum water conditions.

Conclusions: Results showed that the deficit irrigation decreases the yield and yield components. Reducing water usage to 80% of water requirement reduced the water usage to 12%, consequently, although the water productivity increased, the yield decreased by 9%. Thus, it could be a suitable approach for regions with low water reservoirs. In the other words, in low water regions, the best choice to manage optimum irrigation to achieve constant production and increasing usable water is “the lower water-the higher productivity” strategy.

1- PhD student of Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor of Crop physiology, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor of Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: nezami@um.ac.ir)

Increasing wild oat density up to 20 plants m⁻² had no significant effect on the grain and biological yield of wheat. However, increasing wild oat density up to 80 plants m² decreased these properties under all irrigation regimes. The insensitivity of wheat to wild oat competition in lower densities is due to the growth characteristics and competitive ability of Alvand variety.

Keywords: Drought stress, Height, Number of spike, Water productivity, Weed



پایش عملکرد گندم و چغندر قند در استان خراسان: ۲- برآورد خلاء عملکرد

علیرضا کوچکی^{*}، مهدی نصیری محلاتی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

چکیده

در این تحقیق عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد گندم آبی و چغندر قند در استان خراسان رضوی طی دوره‌ای ۱۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۴) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور بر اساس داده‌های درازمدت هواشناسی ۱۷ شهرستان و با استفاده از آنالیز خوشه‌ای سه ناحیه اقلیمی کشاورزی در استان خراسان رضوی از یکدیگر تفکیک شدند. پیش‌بینی عملکرد پتانسیل با استفاده از مدل شبیه‌سازی LINTUL1 انجام شد و پیش از استفاده از آن بر مبنای داده‌های عملکرد در معرض تعیین اعتبار متقابل قرار گرفت. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، عملکرد پتانسیل (YP) گندم آبی در نواحی اقلیمی کشاورزی ۱ (نیمه‌خشک و معتدل)، ۲ (خشک و گرم) و ۳ (نیمه‌خشک و گرم) به ترتیب ۷۲۴۸، ۶۴۷۸ و ۷۸۵۲ و در کل استان ۶۹۳۶ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در حدود ۷۴ درصد از تغییرات سالانه YP گندم آبی ناشی از تغییر در طول دوره پر شدن دانه به دلیل افزایش درجه حرارت می‌باشد. خلاء عملکرد گندم آبی در هر سه ناحیه در طی ۵ سال ابتدای دوره به‌طور نسبی افزایش یافته و به حدود ۴ تن در هکتار رسید ولی از سال ۱۳۹۰ خلاء عملکرد در حال کاهش بوده به‌طوری‌که میزان خلاء قابل مهار آن در سال ۹۳ بین ۰/۵۰-۰/۴۸ عملکرد پتانسیل بوده است. میانگین عملکرد پتانسیل گندم در نواحی اقلیمی بین ۲۸۰۰-۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد و بر این اساس میانگین خلاء نسبی استان در محدوده ۰/۸-۰/۷۵ به‌دست آمد. میانگین ۱۰ ساله عملکرد پتانسیل چغندر قند در نواحی اقلیمی استان خراسان رضوی بین ۸۸-۷۸ t ha⁻¹ پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: اطلس جهانی خلاء عملکرد، عملکرد پتانسیل، خلاء قابل مهار، تعیین اعتبار متقابل

مقدمه

جمله ایران (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2014) حتی

تداوم روندهای فعلی نیز چندان محتمل به‌نظر نمی‌رسد.

بر اساس برآورد فیشر و ادیمیداس (Fischer and Edmeades, 2010) میانگین سرعت رشد عملکرد گندم در مناطق مختلف جهان بین ۰/۹-۰ درصد در سال می‌باشد که کمتر از ۱/۱۶ درصد پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۵۰ است. به‌علاوه این نرخ رشد در کشور چین یعنی بزرگترین تولیدکننده گندم در جهان بین ۰/۷۵-۰/۶۸ درصد در سال گزارش شده (Zhang et al., 2013; Zhou et al., 2007) و در انگلستان نیز رشد عملکرد گندم در طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۴۸ معادل ۰/۷۶ درصد در سال بوده است (Mackay et al., 2011). در آمریکا سرعت رشد عملکرد ذرت در بهترین شرایط آبیاری و مصرف نیتروژن، ۰/۷۹ درصد در سال می‌باشد و متوسط عملکرد آن در تمام آمریکا در فاصله سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۲ ثابت مانده است (Grassini et al., 2011). باید توجه داشت که سرعت افزایش عملکرد مفهومی متفاوت از میزان افزایش عملکرد می‌باشد برای مثال در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ میلادی عملکرد غلات در جهان به میزان ۵۲/۶ کیلوگرم در هکتار در سال افزایش یافته است در حالی‌که در طی همین دوره سرعت افزایش عملکرد (درصد افزایش نسبت به سال مبنا) کاهش یافته و از ۳/۴ درصد در سال ۱۹۶۰ به ۱/۲ درصد در سال ۲۰۱۰ رسیده است (FAOSTAT, 2013).

برای تأمین نیاز غذایی جهان به غلات (گندم، برنج و ذرت) لازم است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی تولید جهانی این محصولات نسبت به سال ۲۰۰۶ به میزان ۴۹ درصد افزایش یابد (Bruinsma, 2009) که البته بسته به سناریوهای مختلف تولید سوخت‌های زیستی باید ۹ تا ۱۹ درصد به این مقدار اضافه کرد (Fischer, 2009). تحقق این میزان از تولید مستلزم آن است که عملکرد این محصولات با نرخ ۱/۱۶ تا ۱/۳۱ درصد در سال افزایش یابد در حالی‌که سرعت فعلی افزایش عملکرد غلات در اغلب سیستم‌های زراعی کمتر از این مقدار است (Hall and Richards, 2013). باوجودی که برخی محققین (Ewert et al., 2005; Jaggard et al., 2010) پیش‌بینی کرده‌اند که روند فعلی رشد عملکرد در آینده نیز همچنان تداوم خواهد یافت ولی با توجه به شواهد موجود در مورد ثابت شدن روند عملکرد گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*) و ذرت (*Zea mays*) در برخی مناطق جهان (Acreche et al., 2008; Brisson et al., 2011; Cassman et al., 2010) و از

۱- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(Email: akooch@um.ac.ir)
* - نویسنده مسئول
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.62557

Deihimfard *et al.*, 2015a; Deihimfard *et al.*, 2015b; Soltani *et al.*, 2016) مورد توجه قرار گرفته است. با شکل‌گیری اطلس جهانی خلاء عملکرد^۱ این پایگاه چارچوب جدیدی را برای برآورد خلاء عملکرد ارائه کرده است (<http://www.yieldgap.org>) که تاکنون در کشور به کار گرفته نشده است. به علاوه نتایج پژوهش‌های موجود خلاء عملکرد را در یک مقطع زمانی (معمولاً سال اجرای تحقیق) برآورد کرده‌اند در صورتی که آگاهی از روند تغییرات این خلاء در طی زمان اطلاعات جامع‌تری را فراهم خواهد ساخت (van Bussel *et al.*, 2015; Merlosa *et al.*, 2015). براین اساس هدف از اجرای این پژوهش برآورد تغییرات زمانی خلاء عملکرد گندم آبی و چغندر قند در استان خراسان رضوی به روش پیشنهاد شده توسط اطلس جهانی خلاء عملکرد طی یک دوره ۱۰ ساله می‌باشد. به علاوه خلاء عملکرد گندم دیم نیز با استفاده از روش خط مرزی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

چارچوب مطالعه

براساس روش ارائه شده توسط اطلس جهانی خلاء عملکرد (van Bussel *et al.*, 2015; Grassini *et al.*, 2015; <http://www.yieldgap.org/methods>) مراحل محاسبه عملکرد پتانسیل محصولات زراعی در مقیاس منطقه‌ای (استان خراسان رضوی) شامل تعیین نواحی اقلیمی کشاورزی، انتخاب تعدادی شهر در هر ناحیه، انتخاب مدل شبیه‌سازی مناسب، واسنجی و تعیین اعتبار آن، پیش‌بینی عملکرد پتانسیل در شهرهای منتخب در هر ناحیه اقلیمی به وسیله مدل، تغییر مقیاس نتایج از شهرستان به ناحیه اقلیمی، و در نهایت تغییر مقیاس از نواحی اقلیمی به استان می‌باشد. لازم به ذکر است که این محاسبات باید طی دوره‌های زمانی (حداقل ۱۰ ساله) اجرا می‌شود و میانگین دوره، برآوردی از عملکرد پتانسیل ناحیه خواهد بود.

تعیین مناطق اقلیمی کشاورزی

داده‌های آب و هوایی مربوط به ۱۷ شهرستان منتخب در استان خراسان رضوی (شکل ۱) شامل حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، بارندگی ماهانه و تعداد ساعات آفتابی روزانه مربوط به دوره ۱۰ ساله ۱۳۹۳-۱۳۸۴ از پایگاه داده‌های مرکز ملی اقلیم‌شناسی خراسان جمع‌آوری شد. میزان تشعشع روزانه به روش ارائه شده در مدل سوکروز (Van Laar *et al.*, 1997) به دست آمد. در این روش ابتدا تشعشع روزانه بدون احتساب اتمسفر برآورد می‌شود و سپس با استفاده از داده‌های تعداد ساعات آفتابی و براساس معادله آنگستروم

بنابراین با توجه به عوامل متعددی که در شکل‌گیری عملکرد نقش دارند تداوم این روند در دهه‌های آینده به نظر می‌رسد.

از سوی دیگر به دلیل محدودیت منابع اصلی تولید یعنی آب و زمین امکان افزایش تولید غذا از طریق افزایش سطح زیر کشت عملی به نظر نمی‌رسد برای مثال در مقیاس جهانی سطح زیر کشت گندم در طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۷ تنها ۸ درصد افزایش یافته و پیش‌بینی شده که این افزایش تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سال ۲۰۰۷ تنها ۱ درصد باشد (Alexandratos and Bruinsma, 2012). بنابراین افزایش عملکرد مهمترین راه حل برای تأمین نیازهای غذایی آینده محسوب می‌شود. بالابردن عملکرد محصولات زراعی در مقیاس ملی و منطقه‌ای مستلزم آگاهی از پتانسیل عملکرد و پایش عوامل محدودکننده و کاهش‌دهنده آن می‌باشد (Lobell *et al.*, 2009).

عملکرد پتانسیل (بالقوه) در صورتی حاصل خواهد شد که آب و کلیه مواد غذایی مورد نیاز برای رشد در حد مطلوب و در محیطی عاری از علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها فراهم باشد. در شرایط پتانسیل رشد به وسیله درجه حرارت، تشعشع، غلظت دی‌اکسید کربن و آن دسته از صفات ژنتیکی تعیین می‌شوند که بر طول دوره رشد (دوره رسیدگی ارقام) و جذب تشعشع (ساختار کانوپی) تأثیر دارند (Kiniry *et al.*, 2004). عملکرد پتانسیل برای هر ژنوتیپ وابسته به اقلیم بوده و بنابراین در مناطق مختلف متفاوت است ولی به خصوصیات خاک بستگی ندارد زیرا فرض بر این است که گیاه در بهترین شرایط رشد قرار داشته و آب و مواد غذایی به طور کامل تأمین شده‌اند (van Ittersum *et al.*, 2013). چنین عملکردی به ندرت در محصولات زراعی تحقق می‌یابد زیرا در بهترین شرایط مدیریت نیز ممکن است گیاه هرچند به مدت کوتاه در معرض کمبود آب یا نیتروژن قرار گیرد به علاوه آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز هیچ‌گاه به طور کامل قابل کنترل نخواهند بود (Muchow and Kropff, 1997). بنابراین در عمل تنها بخشی از این عملکرد تحقق خواهد یافت که دامنه آن بسته به روش مدیریت بسیار متغیر می‌باشد.

به طور کلی اختلاف بین عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد قابل حصول در شرایط عدم وجود محدودیت (شرایط پتانسیل) خلاء عملکرد نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که خلاء عملکرد علاوه بر عوامل محیطی، تحت تأثیر روش‌های مدیریت تولید محصولات زراعی نیز قرار دارد (Fischer, 2015). کاسمن (Cassman, 2003) ارزیابی این خلاء و تلاش برای پرکردن آن را به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی محققین در قرن حاضر مطرح کرده و در این راستا طی دو دهه اخیر ارزیابی خلاء عملکرد محصولات زراعی در بسیاری از نقاط جهان (Abeledo *et al.*, 2008; Espe *et al.*, 2012; Affholder *et al.*, 2013; Laborte *et al.*, 2016) و نیز در ایران (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2009; Gharineh *et al.*, 2012; Parsa, 2008; Taei Semiromi *et al.*, 2012;

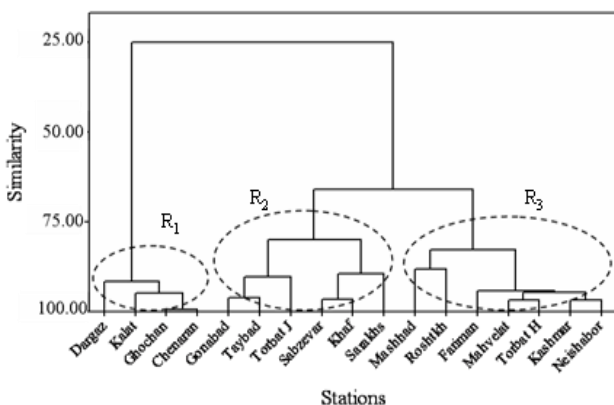
(R₃)، شهرهای مشهد، نیشابور، فریمان، تربت حیدریه، رشتخوار، مه ولات و کاشمر) در حد فاصل این دو ناحیه جای داشته و بر اساس شاخص‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی منطقه‌ای گرم و نیمه‌خشک می‌باشد. لازم به ذکر است که سه ناحیه از نظر میزان تشعشع تفاوت قابل توجهی ندارند (شکل ۳).

عملکرد واقعی

مقادیر عملکرد واقعی هریک از محصولات تحت بررسی (گندم و چغندر) برای دوره ۱۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۴) شهرستان‌های واقع در هر ناحیه اقلیمی از سال‌نامه‌های آماری جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی جمع‌آوری شد، لازم به ذکر است که شهرستان‌های انتخاب شده در هر ناحیه اقلیمی بیش از ۸۵ درصد سطح زیر کشت محصولات تحت بررسی در کل ناحیه را دارا هستند. سپس عملکرد واقعی برای هر ناحیه اقلیمی با استفاده از معادله ۱ (Merlosa et al., 2015) محاسبه شد:

$$Y_k = \sum_{j=1}^n (\mu_j \times \frac{a_j}{a_k}) \quad (1)$$

که در آن Y_k میانگین عملکرد واقعی محصول در ناحیه اقلیمی k، n تعداد شهرستان‌های ناحیه k، μ_j میانگین عملکرد واقعی محصول در شهرستان j، a_j سطح زیر کشت محصول در شهرستان j و a_k سطح زیر کشت محصول در کل ناحیه اقلیمی k می‌باشد. واضح است که با استفاده از معادله ۱ می‌توان به سهولت عملکرد واقعی در مقیاس استان را نیز برآورد کرد.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از اجرای آنالیز خوشه‌ای بر روی متغیرهای اقلیمی-کشاورزی شهرستان‌های استان خراسان رضوی و تفکیک ۳ ناحیه اصلی (R₁، R₂ و R₃)، خوشه‌بندی بر مبنای ۷۵ درصد تشابه انجام شده است.

Figure 2- Dendrogram of performing cluster analysis on agroclimatic variables of counties over Khorasan-Razavi province showing 3 separate homogenous regions (R₁, R₂ and R₃), clustering is based on 75% similarity

ضریب نشر آتمسفر^۱ برای روزهای سال محاسبه شده و تشعشع روزانه به‌دست می‌آید.



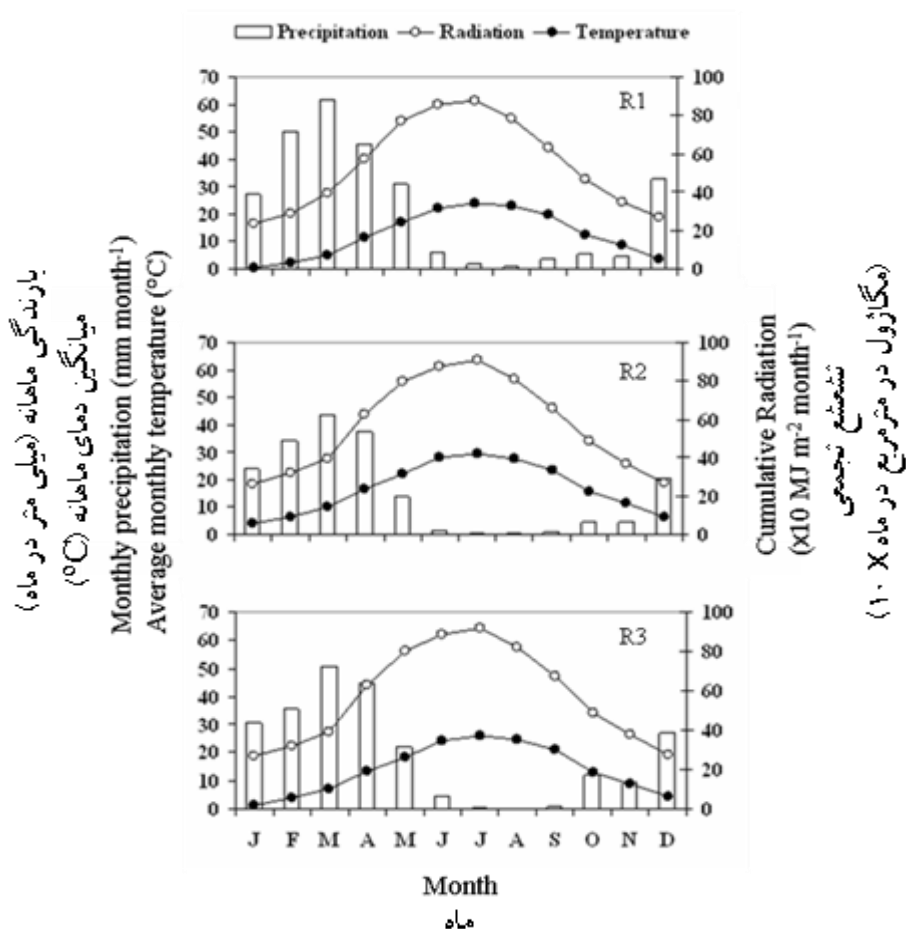
شکل ۱- موقعیت ۱۷ شهرستان منتخب در استان خراسان رضوی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

Figure 1- Location of 17 selected districts within the Khorasan Razavi province subjected to the analysis

بر اساس پروتکل ارائه شده توسط اطلس جهانی خلاء عملکرد طبقه‌بندی نواحی اقلیمی کشاورزی بر اساس سه معیار شامل مجموع درجه روزهای بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد، شاخص خشکی (نسبت بارندگی کل سالانه به مجموع کل تبخیر و تعرق بالقوه سالانه) شدت فصلی بودن درجه حرارت (انحراف معیار ماهانه درجه حرارت) انجام شد (van Bussel et al., 2015) و در ادامه نواحی اقلیمی-کشاورزی^۲ استان خراسان رضوی با اجرای آنالیز خوشه‌ای^۳ بر روی معیارهای فوق تعیین گردید. با انجام این آنالیز به روش وارد^۴ سه ناحیه اقلیمی-کشاورزی با تشابه بیشتر از ۷۵ درصد در استان خراسان رضوی از یکدیگر تفکیک شدند (شکل ۲).

براساس داده‌های ۱۰ ساله ناحیه ۱ (R₁) شامل شهرهای درگز، کلات، قوچان و چناران دارای بیشترین میزان بارش و پایین‌ترین میانگین دمای ماهانه بوده، مجموع درجه روزهای بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد در این ناحیه ۴۵۱۲ °C d و مقدار شاخص خشکی آن ۰/۳۱ است که بر اساس طبقه‌بندی متزگر و همکاران (Metzger et al., 2013) منطقه‌ای معتدل و نیمه‌خشک می‌باشد. ناحیه ۲ (R₂) شامل شهرهای گناباد، تایباد، تربت جام، سبزوار، خواف و سرخس) از بالاترین میانگین دما و کمترین میزان بارندگی برخوردار است، مجموع درجه روزهای رشد سالانه آن ۶۴۷۶ °C d بوده و با شاخص خشکی حدود ۰/۱۳ ناحیه‌ای گرم و خشک محسوب می‌شود. ناحیه ۳

- 1- Atmospheric transmission
- 2- Agroclimatic
- 3- Cluster analysis
- 4- Ward method



شکل ۳- میانگین درجه حرارت ماهانه، مجموع بارندگی ماهانه و تشعشع تجمعی ماهانه در ۳ ناحیه اقلیمی-کشاورزی (R1-R3) استان خراسان رضوی

Figure 3- Average monthly temperature, cumulative monthly precipitation and cumulative monthly radiation in 3 agroclimatic regions (R1-R3) of Khorasan Razavi province

برآورد عملکرد پتانسیل

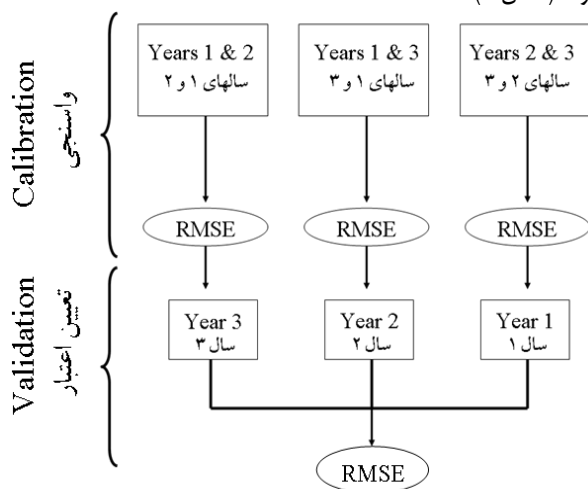
گندم آبی و چغندر قند: در این مطالعه عملکرد پتانسیل گندم و چغندر در کشت آبی با استفاده از مدل شبیه سازی LINTUL-1^۱ برآورد شد. LINTUL-1 مدل ساده‌ای است که رشد سطح برگ، جذب نور، تولید ماده خشک و عملکرد محصولات زراعی را در شرایط پتانسیل شبیه سازی می کند فان دلدن (van Delden, 2001). در این مدل سرعت تولید ماده خشک ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) از حاصل ضرب تشعشع جذب شده ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) در کارایی مصرف نور (RUE, g MJ^{-1}) محاسبه شده و سپس ماده خشک با الگوی که تابع مرحله نمو گیاه می باشد بین اندام ها (برگ، ساقه، ریشه و اندام ذخیره‌ای) تخصیص می یابد. شاخص سطح برگ (LAI) از تقسیم ماده خشک

اختصاص یافته به برگ ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) بر سطح ویژه برگ ($\text{SLA, m}^2 \text{g}^{-1}$) محاسبه می شود و جذب نور به صورت تابعی نمایی از LAI و ضریب خاموشی نور (k) بر اساس معادله لامبرت-بیر برآورد می گردد. در این مطالعه کارایی مصرف نور برای گندم $1/60$ گرم بر مگاژول (Nassiri Mahallati et al., 2011; O'Connell et al., 2004) و برای چغندر قند $1/48$ گرم بر مگاژول (Richter et al., 2001; Parsa, 2008) منظور شده است. مراحل نمو شامل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی تابع مجموع درجه روزهای رشد (TSUM, $^{\circ}\text{C d}$) مورد نیاز برای هریک از این مراحل می باشد که بر اساس میانگین دمای روزانه و دمای حداقل (T_{base}) هر محصول محاسبه می شود. مراحل نمو فوق مربوط به گیاهان دانه‌ای (گندم) است و در مورد محصولاتی نظیر چغندر این مراحل به صورت کاشت تا سبز شدن؛ سبز شدن تا شروع رشد اندام ذخیره‌ای (غده) و

1- Light Interception and Utilization (LINTUL)

پیش‌بینی مدل موثر باشد.

در روش LOO ابتدا مدل بر اساس مجموعه‌ای از داده‌های اندازه‌گیری شده عملکرد از n فصل زراعی n مرتبه به‌طور مستقل از هم واسنجی و تعیین اعتبار می‌شود. الگوریتم مربوط به تعیین اعتبار متقابل به روش LOO در شکل ۴ ارائه شده است. ابتدا مدل با داده‌های $n-1$ سال از n سال واسنجی و تعیین اعتبار می‌شود تا حداقل RMSE حاصل شود. برای مثال از ۳ سال داده عملکرد موجود برای یک ناحیه ۲ سال (سال‌های ۱ و ۲) برای واسنجی به‌کار رفته و RMSE مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در این مرحله داده‌های ۳ سال خارج شده‌اند. سپس مدل مجدداً توسط داده‌های عملکرد سال‌های ۱ و ۳ (سال ۲ خارج می‌شود) واسنجی و تعیین اعتبار شده و نهایتاً واسنجی و تعیین اعتبار با داده‌های سال‌های ۲ و ۳ انجام و سال ۱ خارج می‌شود (شکل ۴). پس از اتمام مراحل واسنجی متقابل، مرحله تعیین اعتبار متقابل اجرا می‌شود. به این منظور مدل واسنجی شده با داده‌های سال‌های ۱ و ۲ با داده‌های سال ۳ که در مرحله واسنجی خارج بوده تعیین اعتبار می‌شود، فرآیند به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا داده‌های تمام n سال زراعی یک بار برای تعیین اعتبار به‌کار برده شوند (شکل ۴).



شکل ۴- مراحل اجرای واسنجی و تعیین اعتبار متقابل مدل به روش خارج کردن یک به یک (LOO) بر اساس داده‌های عملکرد مربوط به ۳ سال زراعی

Figure 4- Steps in cross calibration and validation of model using leave-one-out (LOO) method based on 3-year yield data.

سپس توانایی مدل واسنجی شده به روش LOO بر اساس میانگین ریشه مربعات خطای پیش‌بینی ($RMSEP^4$) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (معادله ۲):

رشد غده تا رسیدگی تعریف می‌شود. ورودی‌های مدل داده‌های روزانه تشعشع خورشیدی، درجه حرارت حداقل و حداکثر در طی دوره رشد محصول می‌باشد. لازم به ذکر است که مدل LINTUL برای گندم بهاره طراحی شده و نیاز ورنالیزاسیون در آن در نظر گرفته نشده است، در این تحقیق فرآیند ورنالیزاسیون به روش ارائه شده توسط نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2007) در مدل تعریف گردید. گراسینی و همکاران (Grassini *et al.*, 2015) بیان داشتند که در اجرای پروتکل اطلس جهانی خلاء عملکرد برای انتخاب مدل شبیه‌سازی عملکرد محدودیتی وجود ندارد و در واقع مدل بر اساس میزان دسترسی به داده‌های مورد نیاز برای اجرای آن انتخاب می‌شود. انتخاب مدل LINTUL برای این مطالعه نیز به دلیل داده‌های ورودی نسبتاً محدود این مدل بوده و به‌علاوه این مدل قبلاً برای پیش‌بینی عملکرد گندم (Mondani, 2012) و چغندر قند (Parsa, 2010) در شرایط پتانسیل برای مشهد واسنجی و تعیین اعتبار شده است. باید توجه داشت که عملکرد پتانسیل در هر ناحیه اقلیمی برای بهترین رقم توصیه شده و مناسب‌ترین تاریخ کاشت در منطقه برآورد می‌شود (van Ittersum *et al.*, 2013). در این پژوهش ارقام توصیه شده گندم آبی و چغندر قند برای هر منطقه بر اساس اطلاعات افراد خبره شناسایی شد و بهترین تاریخ کاشت در هر ناحیه اقلیمی با اجرای مدل شبیه‌سازی در تاریخ‌های مختلف کاشت با فواصل ۱۵ روزه تا حصول به حداکثر عملکرد به‌دست آمد.

واسنجی و تعیین اعتبار متقابل مدل

پارامترهای مدل در جریان واسنجی برای هر سال در یک ناحیه مشخص اقلیمی به‌طور مستقل تصحیح شدند تا مقدار جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$) در هر ناحیه به حداقل برسد. یعنی در هر ناحیه اقلیمی مدل برای هر سال واسنجی شد. از آنجا که داده‌های عملکرد مزارع آزمایشی یا محصول مربوط به دوره ۱۰ ساله تحت بررسی اندک می‌باشند بنابراین در عمل تعیین اعتبار مدل به‌وسیله داده‌هایی مستقل از آنچه که در مرحله واسنجی به‌کار رفته امکان‌پذیر نخواهد بود. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های تعیین اعتبار متقابل^۲ و از بین آنها تعیین اعتبار به روش "خارج کردن یک به یک"^۳ (LOO) (Efron, 1983; Efron and Tibshirani, 1998) رایج می‌باشد. این روش برای واسنجی مدل با تعداد کم داده در سایر مطالعات نیز به‌کار رفته است (Irmak *et al.*, 2000; Jones and Carberry 1994; Xiong *et al.*, 2008). مدل باید بین سال‌ها نیز واسنجی و تعیین اعتبار شود زیرا تغییر شرایط محیطی در فصول مختلف ممکن است بر مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و قدرت

1- Root Mean Square Error

2- Cross validation

3- Leave-One-Out

4- Root Mean Square Error of Prediction

مقادیر متغیر مستقل، خارج کردن نقاط پرت، مشخص ساختن داده‌هایی که نشان‌دهنده حداکثر عملکرد در هر سطح از عامل تحت بررسی هستند و برازش تابع به داده‌های حداکثر عملکرد می‌باشد (Shatar and McBratney, 2004). محققین توابع مختلفی را برای به‌دست آوردن خط مرزی ارائه کرده‌اند که رایج‌ترین آنها توابع خطی و چند جمله‌ای درجه دوم می‌باشند (Casanova et al., 1999; Schnug et al., 1996). در این پژوهش تابع تولید مرزی برای تخمین عملکرد پتانسیل در شرایط محدودیت آب بر اساس میزان بارندگی سالانه و عملکرد واقعی گندم (عملکرد گزارش شده) و نیز عملکردهای ثبت شده از مزارع پر محصول و آزمایشات ایستگاهی در استان‌های خراسان رضوی و شمالی در هر سطح از بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که استان خراسان شمالی در مقایسه با خراسان رضوی بارندگی بیشتری داشته و سطح اراضی و عملکرد گندم در آن بیشتر است داده‌های این استان نیز به مجموعه داده‌ها اضافه گردید تا خط مرزی و عملکرد پتانسیل به‌طور دقیق‌تر برآورد شود.

تغییر مقیاس نتایج

در دستورالعمل اطلس جهانی خلاء عملکرد مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد پتانسیل در هر شهر ابتدا باید به ناحیه اقلیمی و سپس به استان تغییر مقیاس یافته یا به عبارت دیگر بزرگ مقیاس شود^۳ (van Bussel et al., 2015). به دلیل نوسان سالانه عملکرد پتانسیل برای پیش‌بینی آن در هر شهر (YP_{city}) باید میانگین مقادیر پیش‌بینی شده برای یک دوره زمانی شامل p سال محاسبه شود (معادله ۳) که حداقل طول این دوره ۱۰ سال است (Grassini et al., 2015):

$$YP_{city} = \frac{\sum_{i=1}^p YP_{year_i}}{p} \quad (3)$$

سپس با استفاده از معادله ۴ (van Bussel et al., 2015) عملکرد پتانسیل پیش‌بینی شده هر محصول در هر شهر (YP_{cityi}) بزرگ مقیاس شد تا عملکرد پتانسیل هر یک از نواحی اقلیمی (YP_{CZ}) به‌دست آید:

$$YP_{CZ} = \frac{\sum_{i=1}^q YP_{city_i} \times A_{city_i}}{\sum_{i=1}^q A_{city_i}} \quad (4)$$

که در آن q تعداد شهرهای واقع در هر ناحیه اقلیمی و A_{cityi} سطح زیر کشت محصول در هر شهر می‌باشد. در نهایت عملکرد پتانسیل هر محصول در کل استان (YP_{province}) با بزرگ مقیاس

$$RMSEP = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Ym_{ij} - Ys_{ij})^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

که در آن Ym_{ij} عملکرد اندازه‌گیری شده برای ز امین ناحیه در i امین سال از n سال زراعی می‌باشد که در LOO به‌کار رفته‌اند، Ys_{ij} عملکرد شبیه‌سازی شده برای ز امین ناحیه که با استفاده از مدل واسنجی شده بدون سال i ام به‌دست آمده است.

به همین ترتیب تعیین اعتبار متقابل به روش LOO در همه نواحی اقلیمی به‌کار برده شده و با مقایسه RMSEP بین سه ناحیه می‌توان قابلیت مدل را در هر ناحیه برآورد و نتایج پیش‌بینی را مقایسه کرد به‌علاوه تغییرات زمانی (بین سال‌های زراعی) و مکانی (بین مناطق) عملکرد را نیز می‌توان مورد ارزیابی قرار داد. چون مدل با استفاده از داده‌های چند سال زراعی واسنجی شده بنابراین قابلیت پیش‌بینی مدل تا حد زیادی تابع این است که سال‌های زراعی تا چه اندازه تغییر ویژگی‌های اقلیمی را منعکس می‌کنند. بدیهی است که با افزایش تعداد سال‌ها قدرت مدل بهبود خواهد یافت.

تعیین اعتبار مدل هم بر اساس عملکردهای ثبت شده از مزارع پر محصول و هم از آزمایشات ایستگاهی در شرایط بهینه رشد انجام شد. این داده‌های عملکرد برای شهرستان‌های واقع در هر یک از سه ناحیه اقلیمی در فاصله سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۴ جمع‌آوری و توزیع احتمال آنها در هر ناحیه به روش ذکر شده توسط نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2019) تعیین گردید. با معلوم بودن احتمال عملکرد مزارع پر محصول، ۱۰ درصد بالای توزیع به‌عنوان برآوردی از عملکرد پتانسیل گندم و چغندرقد (عملکرد مشاهده شده) در هر ناحیه در نظر گرفته شد (van Ittersum et al., 2013).

برآورد عملکرد پتانسیل گندم

در این مطالعه عملکرد پتانسیل گندم دیم با برازش خط مرزی^۱ یا تابع تولید مرزی^۲ برآورد شد. برآورد تابع مرزی روشی آماری برای جدا کردن پاسخ هر متغیر مورد نظر (برای مثال عملکرد) به یک عامل خاص (برای مثال آب) در مجموعه‌ای از داده‌های عملکرد است که تحت تاثیر چندین عامل قرار دارند. در واقع خط مرزی نشان‌دهنده حداکثر عملکرد در پاسخ به عامل تحت بررسی می‌باشد. نقاط واقع بر روی این خط عملکرد پتانسیل در سطوح مختلف یک عامل و در غیاب سایر عوامل محدودکننده عملکرد هستند (Elliott and De Jong, 1993) و هر نقطه از داده‌های عملکرد که زیر خط مرزی قرار بگیرد توسط عوامل دیگری محدود شده است. مراحل برازش خط مرزی به‌طور خلاصه شامل: گروه‌بندی داده‌های عملکرد بر اساس

1- Boundary line

2- Frontier production function

3- Up-scaling

تعیین اعتبار متقابل روش مناسب و نسبتاً ساده‌ای برای بهبود قدرت پیش‌بینی مدل در مطالعات مرتبط با ارزیابی خلاء عملکرد می‌باشد. این روش در پژوهش‌های مشابه نیز در کاهش خطای پیش‌بینی مدل‌ها با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (Xiong et al., 2008; Thorp et al., 2007).

عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد چغندر قند

میانگین ۱۰ ساله عملکرد واقعی چغندر قند در استان ۳۴/۲ تن در هکتار برآورد شد، این مقدار در سه ناحیه اقلیمی اختلافی در حدود ۱/۵ تن در هکتار داشت و بالاترین عملکرد واقعی (۳۶/۴) تن در هکتار) مربوط به ناحیه ۳ بود (جدول ۲). ضریب تغییرات عملکرد این محصول در نواحی اقلیمی و در کل استان پایین و بین ۹-۱۲ درصد قرار دارد. بیشترین و کمترین عملکرد پتانسیل چغندر قند براساس نتایج ۱۰ ساله به میزان ۸۷/۷ و ۷۸/۶ تن در هکتار به ترتیب در ناحیه ۳ و ۲ و میانگین این عملکرد در کل استان ۸۳/۹ تن در هکتار به دست آمد.

بر اساس این نتایج میانگین ۱۰ ساله خلاء عملکرد چغندر قند در استان خراسان رضوی ۴۹/۷ تن در هکتار و به طور نسبی معادل ۵۹ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد به بیان دیگر عملکرد واقعی این محصول در استان تنها ۴۱ درصد از عملکرد پتانسیل است. بیشترین خلاء نسبی عملکرد چغندر به میزان ۶۰ درصد مربوط به ناحیه ۳ و در دو ناحیه دیگر بین ۵۶ تا ۵۷ درصد می‌باشد (جدول ۲).

خلاء قابل مهار عملکرد (خلاء ۸۵٪) این محصول در کل استان ۳۷/۱ تن در هکتار است که بر این اساس در عمل ۴۸ درصد از عملکرد قابل مهار توسط کشاورزان تولید می‌شود، البته میانگین ۱۰ ساله این مقدار در نواحی اقلیمی استان متفاوت است و در ناحیه ۲ در حدود ۵۲ درصد از عملکرد قابل مهار تحقق یافته که بالاترین مقدار بین سه ناحیه می‌باشد (جدول ۲).

تغییرات زمانی عملکرد پتانسیل چغندر قند ($YP_{85\%}$) نشان می‌دهد که این عملکرد در هر ۳ ناحیه اقلیمی استان بدون روند بوده و تنها نوسان سالانه اندکی در آن مشهود است (شکل ۶). البته خلاء قابل مهار (خلاء ۸۵٪) عملکرد این محصول در طی این دوره در حال پر شدن می‌باشد و مقدار آن که در ابتدای دوره تقریباً ۴۰ تن در هکتار بوده در سال‌های انتهایی دوره به حدود ۲۰ تن در هکتار رسیده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که خلاء قابل مهار در نواحی اقلیمی ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۸۳/۰، ۱/۱، ۱/۴۴ تن در هکتار در سال کاهش یافته است (شکل ۶a، b6 و c6) لازم به ذکر است که در شکل مقدار خلاء عملکرد به صورت منفی نمایش داده شده و در نتیجه مقدار صفر به معنی پر شدن کامل این خلاء می‌باشد. بر این اساس خلاء نسبی عملکرد ($YG_{85\%}/YP_{85\%}$) نیز در طی دوره ۱۰ ساله تحت بررسی در هر سه ناحیه اقلیمی استان روند کاهشی معنی‌داری داشته و

کردن عملکرد پتانسیل در هر یک از c ناحیه اقلیمی متناسب یا سطح زیر کشت محصول در آن ناحیه (AC_{Zi}) به دست آمد (معادله ۵):

$$YP_{province} = \frac{\sum_{i=1}^c YP_{CZ_i} \times AC_{Z_i}}{\sum_{i=1}^c AC_{Z_i}} \quad (5)$$

تخمین خلاء عملکرد

خلاء عملکرد (YG) محصولات تحت بررسی از اختلاف بین عملکرد پتانسیل (YP) و عملکرد واقعی (YA) برای هر ناحیه اقلیمی برآورد و سپس به کل استان تغییر مقیاس داده شد. مطالعات نشان داده است که حتی در بهترین شرایط تولید نیز عملکرد در سطحی پایین‌تر از عملکرد پتانسیل به ثبات می‌رسد زیرا پر کردن خلاء باقی‌مانده توجیه اقتصادی نخواهد داشت (Lobell et al., 2009; Cassman et al., 2010). این سطح که در حدود ۸۵ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد به خلاء قابل مهار^۱ موسوم است (van Ittersum et al., 2013). بر این اساس در این مطالعه خلاء قابل مهار ($YG_{85\%} = 0.85YP - YA$) نیز در مقیاس ناحیه اقلیمی و استان برای هر یک از محصولات و نیز روند ۱۰ ساله آن برآورد گردید.

نتایج و بحث

تعیین اعتبار متقابل مدل

نتایج تعیین اعتبار متقابل نشان داد که قدرت مدل در تخمین عملکرد گندم آبی و چغندر قند در هر سه ناحیه اقلیمی مطلوب می‌باشد (شکل ۵) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE٪) برای دو محصول تحت بررسی در هر سه ناحیه از ۱۳/۱ درصد تجاوز نکرد (جدول ۱). عملکرد پتانسیل معمولاً با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی پیش‌بینی می‌شود و این مدل‌ها قبلاً باید بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده تعیین اعتبار شوند. در اغلب مطالعات داده‌های لازم برای تعیین اعتبار از آزمایشات ایستگاهی جمع‌آوری می‌شوند (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2009). در حالی که بررسی‌ها نشان می‌دهد مدل‌هایی که براساس داده‌های جمع‌آوری شده از کرت‌های آزمایشی واسنجی و تعیین اعتبار می‌شوند معمولاً در مقیاس‌های بزرگ به خوبی عمل نمی‌کنند و خطای پیش‌بینی آنها قابل توجه خواهد بود (De Wit et al., 2005; Batchelor, 2002; Viglizzo et al., 2004; Palosuo et al., 2011). از سوی دیگر در روش ارائه شده توسط اطلس جهانی خلاء عملکرد در انتخاب مدل شبیه‌سازی برای پیش‌بینی عملکرد پتانسیل محدودیتی وجود ندارد ولی اعتبارسنجی دقیق آن مورد تأکید قرار گرفته است (Grassini et al., 2015). یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که

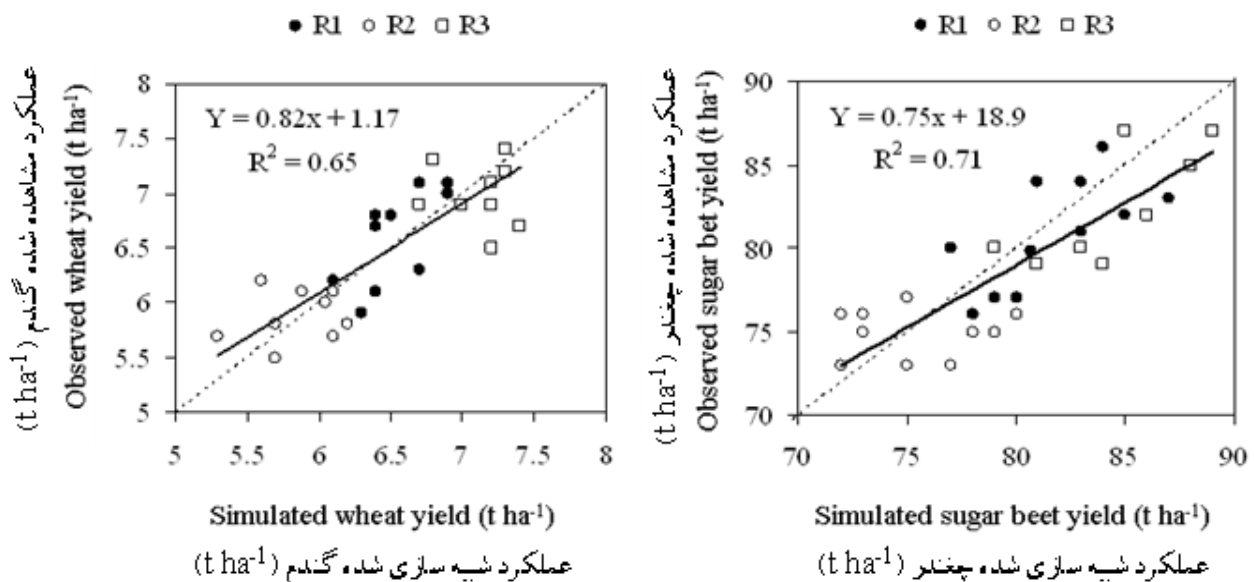
1- Exploitable gap

در پایان دوره (سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) به طور متوسط ۴۰ درصد در استان به حدود ۶۰ درصد عملکرد پتانسیل قابل مهار این محصول می باشد (شکل e6، d6 و f6)، به بیان دیگر عملکرد واقعی چغندر قند رسیده است.

جدول ۱- مقایسه مقادیر درصدی جذر میانگین مربعات خطای پیش بینی (RMSE%) برای عملکرد گندم آبی و چغندر در سه ناحیه اقلیمی کشاورزی خراسان پس از تعیین اعتبار مدل در سطح کرت آزمایشی و پس از تعیین اعتبار متقابل

Table 1- Comparison of percentage root mean squared error of prediction (RMSE%) for irrigated wheat and sugar beet yield in 3 agroclimatic regions of Khorasan Razavi after validation of model at plot level and after cross validation

	Region 1 ناحیه ۱	Region 2 ناحیه ۲	Region 3 ناحیه ۳
Wheat گندم			
Plot validated model تعیین اعتبار در کرت	19.2	18.4	18.7
Cross validated model تعیین اعتبار متقابل	11.3	10.6	11.1
Δ RMSE	7.9	7.8	7.6
Sugar beet چغندر قند			
Plot validated model تعیین اعتبار در کرت	20.5	19.7	19.1
Cross validated model تعیین اعتبار متقابل	13.1	12.1	12.6
Δ RMSE	7.4	7.6	6.5



شکل ۵- تعیین اعتبار متقابل مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده عملکرد گندم و چغندر قند در ۳ ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی (R1, R2, R3). در مورد هر دو محصول شیب خط رگرسیون تفاوت معنی داری با خط ۱:۱ (خط نقطه چین) ندارد.

Figure 5- Cross validation of observed and simulated yields of wheat and sugar beet in 3 agroclimatic regions (R1, R2, R3) of Khorasan Razavi province. For both crops the slope of regression lines was not significantly different from 1:1 line (dotted line).

جدول ۲- میانگین عملکرد واقعی و ضریب تغییرات (CV) آن و مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و خلاء نسبی عملکرد چغندر قند طی دوره ۱۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۴) در ۳ ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی و تغییر مقیاس نتایج به کل استان

Table 2- Mean actual yield and its coefficient of variation (CV) and simulated values of potential yield, yield gap and relative yield gap for sugar beet during a 10-year period (1384-1393) in 3 agroclimatic regions of Khorasan Razavi province and up-scaled results to the whole province

	Region 1 ناحیه ۱	Region 2 ناحیه ۲	Region 3 ناحیه ۳	Province استان
Sugar beet چغندر قند				
Actual yield (YA kg ha ⁻¹) عملکرد واقعی	36.4	34.8	34.9	34.2
CV (%) ضریب تغییرات (%)	9.5	11.9	10.8	9.2
Potential yield (YP kg ha ⁻¹) عملکرد پتانسیل	84.9	78.6	87.7	83.9
Yield gap (YG kg ha ⁻¹) خلاء عملکرد	48.5	43.8	52.8	49.7
Relative gap خلاء نسبی	0.57	0.56	0.60	0.59
Yield gap _{85%} (YG _{85%} kg ha ⁻¹)(%) خلاء عملکرد (۸۵٪)	35.8	32.0	39.6	37.1
Relative gap (85%) خلاء نسبی (۸۵٪)	0.50	0.48	0.53	0.52

ظاهر گردد (van Bussel *et al.*, 2015; van Wart *et al.*, 2013). میانگین جهانی عملکرد چغندر قند در سال ۲۰۱۵ در حدود ۵۲ تن در هکتار بوده و کشورهای اروپایی بالاترین عملکردها را در اختیار دارند که در میان آنها فرانسه با میانگین عملکرد ۸۸ تن در هکتار در صدر قرار دارد (FAOSTAT, 2015) در حالی که در آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۳ (MJA, 2015) میانگین عملکرد این محصول در کشور ۴۷/۸ و در استان خراسان رضوی ۴۳/۴ تن در هکتار گزارش شده که در حدود ۲۰ درصد کمتر از میانگین جهانی می‌باشد.

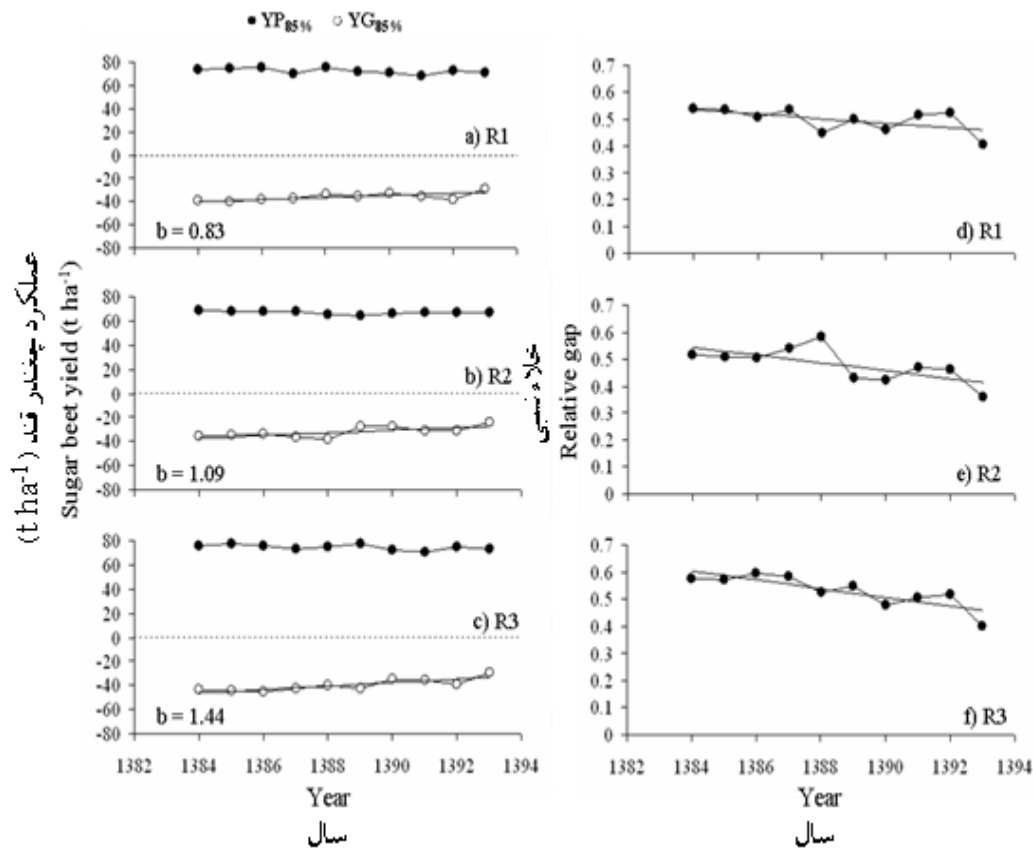
یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که برای رسیدن میانگین عملکرد استان به سطح جهانی باید حداقل ۲۵ درصد از خلاء فعلی عملکرد چغندر قند از طریق بهبود عملیات زراعی پر شود. باید توجه داشت تا زمانی که عملکرد واقعی تفاوت قابل توجهی با عملکرد پتانسیل داشته باشد خلاء عملکرد عمدتاً ناشی از روش‌های مدیریت بوده و افزایش پتانسیل ژنتیکی ارقام تاثیر چندانی در افزایش عملکرد واقعی نخواهد داشت (Hall *et al.*, 2013; Espe, 2016).

عملکرد چغندر قند به شدت تابع میزان تشعشع جذب شده در طی فصل رشد است در این محصول رشد اولیه کانوپی سریع بوده و معمولاً پوشش زمین در فاصله ۵۰ روز بعد از سبز شدن کامل می‌شود به علاوه در شرایط مطلوب رشد، دوام کانوپی طولانی است و در حدود ۱۰۰ روز به طول می‌انجامد و در انتهای دوره رشد نیز پوشش کانوپی در حدود ۷۰ می‌باشد (Werker and Jaggard, 1998).

در ایران مطالعات اندکی در مورد برآورد عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد چغندر قند اجرا شده است برای مثال پارسا (Parsa, 2005) با استفاده از مدل شبیه‌سازی LINTUL عملکرد پتانسیل این محصول در استان خراسان رضوی را ۱۱۰ تن در هکتار به دست آورد و بر این اساس خلاء عملکرد آن در حدود ۷۰ درصد پیش‌بینی شد. دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard *et al.*, 2015b) نیز با به کارگیری مدل SUCROS عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد چغندر قند در استان خراسان رضوی را به ترتیب ۱۰۰ و ۶۸ تن در هکتار برآورد کردند که بر این اساس عملکرد واقعی این محصول در استان تنها ۳۲ درصد از عملکرد پتانسیل آن می‌باشد.

نتایج این محققین با یافته‌های پژوهش حاضر تفاوت قابل توجهی دارد که دلیل آن عمدتاً مربوط به روش مطالعه است. در هر دو تحقیق فوق مدل شبیه‌سازی در مقیاس کرت‌های آزمایشی واسنجی و تعیین اعتبار شده و بدیهی است که پیش‌بینی چنین مدلی در مقیاس منطقه‌ای با خطا همراه خواهد بود در حالی که در این پژوهش پیش‌بینی‌ها پس از واسنجی و تعیین اعتبار متقابل مدل در مقیاس بزرگ انجام شده و در نتیجه از دقت بالاتری برخوردار است.

به علاوه بر اساس پروتکل پیشنهادی اطلس جهانی خلاء عملکرد که در این مطالعه به کار گرفته شد، جهت پیش‌بینی عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد در مقیاس منطقه‌ای یا ملی ابتدا باید نواحی اقلیمی کشاورزی تعیین و سپس میانگین طولانی مدت این مقادیر (حداقل ۱۰ ساله) در هر ناحیه برآورد شود تا تغییرات مکانی و زمانی خلاء



شکل ۶- عملکرد پتانسیل ($YP_{85\%}$) و خلاء قابل مهار ($YG_{85\%}$) عملکرد چغندر قند در سه ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی (a-c) همراه با خلاء نسبی عملکرد (d-f) در طی دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۴-۱۳۹۳. مقادیر خلاء عملکرد به صورت منفی نشان داده شده است تا سرعت پر شدن خلاء ($b, t\ ha^{-1}\ y^{-1}$) در طی دوره تحت بررسی مشخص شود.

Figure 6- Potential yield ($YP_{85\%}$) and exploitable yield gap ($YG_{85\%}$) of sugar beet in 3 agroclimatic regions of Khorasan Razavi province (a-c) and relative gap (d-f) during 1384-1393 periods. Yield gap is presented as negative values to show the rate of gap filling ($b, t\ ha^{-1}\ y^{-1}$) during the studied period

اردبیهشت در تمام نواحی اقلیمی استان کاهش می‌یابد بنابراین به‌نظر می‌رسد تنظیم دقیق تاریخ کاشت روش مدیریتی مناسبی در کاهش خلاء عملکرد این محصول باشد. در همین ارتباط کشت پاییزه چغندر قند که در سال‌های اخیر با تشدید اثرات گرمایشی تغییر اقلیم مورد توجه محققین کشور و استان خراسان رضوی قرار گرفته و در مناطق مدیترانه‌ای و برخی کشورهای اروپایی نیز موفقیت‌آمیز بوده است (Jaggard and Werker, 1999; Kluge-Severin *et al.*, 2009) راهکار موثری برای بهبود جذب تشعشع و افزایش عملکرد به منظور پر کردن خلاء فعلی محسوب می‌شود. شواهد آزمایشی نشان داده است که در کشت پاییزه علاوه بر جذب بیشتر تشعشع، کارایی مصرف نور چغندر قند نیز در حدود ۱۰ درصد بالاتر از کشت بهاره است (Hoffmann and Kluge-Severin, 2010). البته علی‌رغم اصلاح ارقام مقاوم به بولتینگ بروز یخبندان‌های ناگهانی و شدید که افزایش فراوانی آنها از ویژگی‌های تغییر اقلیم محسوب می‌شود باعث

تنظیم تاریخ کاشت از جمله روش‌های زراعی می‌باشد که در گیاهانی که رشد رویشی آنها مورد توجه است و به‌ویژه در چغندر قند نقش مهمی در جذب نور و شکل‌گیری عملکرد دارد (Kenter *et al.*, 2006). نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در تاریخ کاشت بهینه مجموع تشعشع جذب شده توسط کانوپی چغندر قند در مناطق مختلف اقلیمی استان خراسان بین ۱۹۰۰-۱۷۰۰ مگاژول در متر مربع است. با محاسبات ساده‌ای (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2019) می‌توان تخمین زد که در شرایط پتانسیل میزان ماده خشک تولیدی با این مقدار تشعشع جذب شده و کارایی مصرف نور ۱/۴۸ گرم بر مگاژول بین ۲۵-۲۸ تن در هکتار است که با احتساب شاخص برداشت ۸۰ درصد و درصد ماده خشک، معادل عملکرد غده به میزان ۸۰ تا ۹۰ تن در هکتار می‌باشد و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی (جدول ۲) نیز قابل مقایسه است. البته عملکرد پتانسیل چغندر قند نسبت به تغییر تاریخ کاشت حساس بوده و با تاخیر در کشت به‌ویژه بعد از نیمه

افزایش ریسک در کشت پاییزه چغندر قند خواهد شد.

عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد گندم آبی

میانگین ۱۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳۸۴) عملکرد پتانسیل گندم آبی در نواحی اقلیمی ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۷۲۴۸، ۶۴۷۴ و ۷۸۵۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد در حالی که در طی همین دوره میانگین عملکرد واقعی این ۳ ناحیه به ترتیب ۲۸۹۰، ۲۷۱۰ و ۲۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (جدول ۳). بنابراین خلاء عملکرد در هر سه ناحیه بزرگ و در دامنه‌ای بین ۴۹۰۰-۳۷۰۰ کیلوگرم در هکتار قرار دارد و مقدار نسبی این خلاء یا به بیان دیگر بخشی از عملکرد پتانسیل که هنوز

تحقق نیافته است بین ۰/۵۸ تا ۰/۶۳ می‌باشد به علاوه نواحی اقلیمی ۳ و ۲ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین خلاء عملکرد هستند. تغییر مقیاس نتایج از نواحی اقلیمی به کل استان نشان داد که عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد این محصول در خراسان رضوی به ترتیب ۶۹۳۶ و ۴۰۶۱ کیلوگرم در هکتار است و در نتیجه عملکرد واقعی تنها ۴۱ درصد از عملکرد پتانسیل می‌باشد (جدول ۳). البته خلاء قابل مهار عملکرد گندم آبی (خلاء ۸۵٪) در کل استان ۵۱ درصد عملکرد پتانسیل بوده و مقدار نسبی آن در نواحی سه گانه اقلیمی نیز بین ۵۱ (ناحیه ۲) تا ۵۶ درصد (ناحیه ۳) می‌باشد.

جدول ۳- میانگین عملکرد واقعی و ضریب تغییرات (CV) آن و مقادیر شبیه سازی شده عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و خلاء نسبی عملکرد گندم آبی طی دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۳) در ۳ ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی و تغییر مقیاس نتایج به کل استان

Table 3- Mean actual yield and its coefficient of variation (CV) and simulated values of potential yield, yield gap and relative yield gap for irrigated wheat during a 10-year period (1384-1393) in 3 agroclimatic regions of Khorasan Razavi province and up-scaled results to the whole province

	Province استان	Region 3 ناحیه ۳	Region 2 ناحیه ۲	Region 1 ناحیه ۱
Irrigated wheat گندم آبی				
Actual yield (YA kg ha ⁻¹) عملکرد واقعی	2893	2710	2951	2875
CV (%) ضریب تغییرات (%)	19.3	22.0	16.7	18.9
Potential yield (YP kg ha ⁻¹) عملکرد پتانسیل	7248	6474	7852	6936
Yield gap (YG kg ha ⁻¹) خلاء عملکرد	4409	3764	4937	4061
Relative gap خلاء نسبی	0.61	0.58	0.63	0.59
Yield gap _{85%} (YG _{85%} kg ha ⁻¹) خلاء عملکرد (۸۵٪)	3268	2792	3723	3021
Relative gap (85%) خلاء نسبی (۸۵٪)	0.53	0.51	0.56	0.51

همکاران (Gharineh et al., 2009) با استفاده از مدل WOFOST پتانسیل عملکرد گندم آبی در استان خوزستان را طی دوره‌ای ۱۳ ساله بین ۷۵۳۹ تا ۹۲۴۵ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد را ۵۰۶۹-۳۱۳۸ کیلوگرم در هکتار معادل ۴۱/۶ تا ۶۵/۸ درصد عملکرد پتانسیل تخمین زدند. طائی سمیری و همکاران (Taei Semiromi et al., 2012) با ارزیابی بوم‌نظام‌های گندم حوضه آبریز بروجن پتانسیل عملکرد گندم آبی این منطقه را بر اساس پیش‌بینی مدل WOFOST بین ۶/۴-۲/۲ تن در هکتار و خلا عملکرد در این حوضه را در دامنه ۶/۲-۴/۲ تن در هکتار به دست آوردند. سید جلالی و همکاران (Seyed Jalali et al., 2012) نیز پتانسیل عملکرد گندم آبی در منطقه عقیلی استان خوزستان را با استفاده از روش فائو بسته به نوع مدیریت بین ۲۲۰۰ تا ۶۷۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. باوجودی که این مطالعات در مقیاس منطقه‌ای اجرا شده‌اند ولی بر مبنای مجموعه این نتایج به نظر می‌رسد که پتانسیل عملکرد گندم آبی در کشور در دامنه ۷/۵-۶/۵ تن در هکتار قرار داشته و با توجه به

طی سال‌های اخیر خلاء عملکرد گندم آبی در برخی مناطق کشور مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای مثال نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati and Koocheki, 2009) میانگین عملکرد پتانسیل گندم و خلاء آن در استان خراسان رضوی را طی سال‌های ۸۵-۱۳۷۵ به ترتیب ۶/۹ و ۴/۳ تن در هکتار پیش‌بینی کردند که این خلاء ۶۳ درصد عملکرد پتانسیل بود البته بر اساس نتایج تحقیق حاضر در فاصله سال‌های ۹۳-۱۳۸۴ میانگین خلاء نسبت به دوره ۱۰ ساله قبلی تنها ۴ درصد کاهش یافته است. دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2015a) عملکرد پتانسیل گندم آبی در کل استان خراسان را ۷/۸ و خلاء آن را ۵/۲ تن در هکتار برآورد کردند که نشان می‌دهد عملکرد واقعی استان در حدود ۳۳ درصد پتانسیل آن می‌باشد لازم به ذکر است که این ارزیابی تنها مربوط به یک سال (سال انجام مطالعه) و هر سه استان خراسان می‌باشد در حالی که بر مبنای میانگین ۱۰ ساله، عملکرد واقعی استان خراسان رضوی به ۴۱ درصد پتانسیل رسیده است (جدول ۳). قرینه و

سال‌های گذشته بر اساس نظر محققین مرکز تحقیقات کشاورزی استان تعیین شدند ولی به هر حال هر گونه خطا در این اطلاعات دقت پیش‌بینی عملکرد پتانسیل را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

از سوی دیگر عملکرد پتانسیل ممکن است تحت تاثیر تغییر شرایط اقلیمی نیز قرار گیرد، این تغییرات می‌تواند مانع از تحقق پتانسیل ژنتیکی ارقام شده و گاه نیز باعث بهبود آن شود (Hall and Richards, 2013; Neumann et al., 2010). برای مثال هاچمن و همکاران (Hochman et al., 2016) بیان داشتند کاهش میزان بارش سالانه باعث کاهش عملکرد پتانسیل ارقام پر محصول گندم دیم در استرالیا شده است در حالی که جاگارد و همکاران (Jaggard et al., 2010) نشان دادند که افزایش پتانسیل عملکرد چغندرقد در انگلستان از ابتدای قرن اخیر عمدتاً ناشی بهبود شرایط اقلیمی به‌ویژه درجه حرارت فصل بهار به دلیل گرمایش جهانی بوده و اصلاح ارقام نقشی در آن نداشته است.

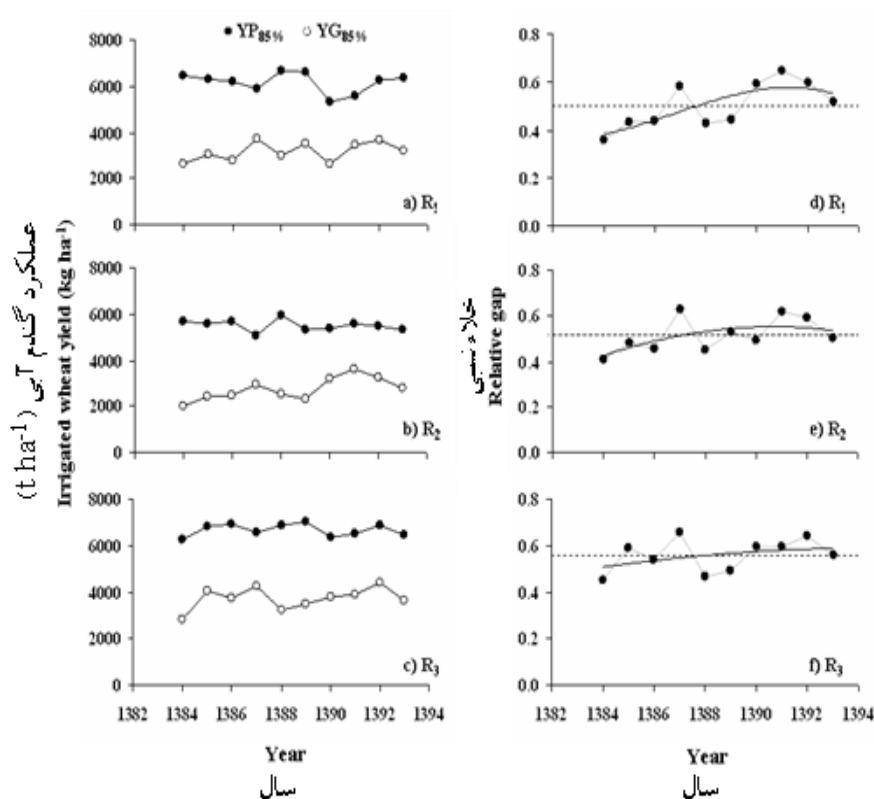
با وجود ثابت بودن روند تغییرات عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی گندم آبی استان در حدود ۵۰ درصد این پتانسیل است. تا زمانی که عملکرد واقعی تفاوت قابل توجهی با پتانسیل محیطی داشته باشد روش‌های مدیریتی راهکار اصلی برای پرکردن خلاء عملکرد می‌باشند و اهمیت روش‌های اصلاح نباتات در صورتی برجسته خواهد بود که خلاء عملکرد به صفر نزدیک شود (Fischer, 2015; Espe et al., 2016). بنابراین بر اساس یافته‌های این تحقیق تنظیم عملیات مدیریت زراعی راهکار اصلی در جهت کاهش خلاء عملکرد گندم آبی در استان محسوب می‌شوند. در همین ارتباط دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2015a) نشان دادند که خلاء عملکرد گندم در استان خراسان عمدتاً مبنای مدیریتی داشته و بین ۵۰ تا ۶۰ درصد از این خلاء مربوط به مدیریت نیتروژن و آب می‌باشد. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2016) نیز نشان دادند که با روش‌های مدیریتی می‌توان خلاء عملکرد نخود در کشور را تا ۷۵ درصد کاهش داد.

علی‌رغم معنی‌دار نبودن روند تغییرات عملکرد پتانسیل، نوسان سالانه آن قابل توجه و بین ۰/۱ تا ۲ تن در هکتار می‌باشد (شکل‌های a7، b7 و c7). نوسان عملکرد پتانسیل در طی زمان در سایر مطالعات نیز گزارش شده است برای مثال آبلدو و همکاران (Abeledo et al., 2008) تغییرات عملکرد پتانسیل گندم در آرژانتین را در طی دوره‌ای ۱۷ ساله بین ۳/۵ تا ۸ تن در هکتار گزارش کردند. این محققین نشان دادند که تغییرات سال به سال میانگین تشعشع روزانه در فاصله کاشت تا گرده‌افشانی دلیل اصلی نوسان عملکرد پتانسیل گندم بوده است.

میانگین عملکرد این محصول در کشور (تقریباً ۳ تن در هکتار) خلاء عملکرد گندم آبی در مقیاس ملی قابل توجه و در محدوده ۵۵ تا ۶۰ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد. باید توجه داشت که تحقق کامل عملکرد پتانسیل به دلیل بازده نزولی عملکرد در پاسخ به کود و سایر منابع تولید مستلزم مصرف مقادیر بیشتری از نهاده‌ها خواهد بود که این امر از نظر کشاورزان به لحاظ اقتصادی و از نظر برنامه‌ریزان به لحاظ زیست‌محیطی قابل پذیرش نمی‌باشد و شواهد موجود تیز نشان داده که در پیشرفته‌ترین بوم‌نظام‌های زراعی نیز عملکرد واقعی در ۸۵ درصد عملکرد پتانسیل به ثبات رسیده است (Lobell et al., 2009; Koning and van Ittersum, 2009; Grassini et al., 2011). البته حتی بر اساس خلاء ۸۵ درصد نیز مشابه آنچه برای خراسان رضوی ارائه شد (جدول ۳) در حال حاضر تنها ۵۰ درصد از پتانسیل عملکرد گندم آبی کشور در عمل تحقق یافته است.

در شکل‌های a7 تا c7 تغییرات ۱۰ ساله عملکرد پتانسیل (YP_{85%}) و خلاء قابل مهار عملکرد (YG_{85%}) گندم آبی در نواحی اقلیمی کشاورزی استان ارائه شده است. عملکرد پتانسیل در هیچ‌یک از سه ناحیه روند معنی‌داری را نشان نداد. خلاء عملکرد علی‌رغم نوسان سالانه، در ابتدای دوره نسبتاً پایین بود ولی در ادامه افزایش یافت و در هر سه ناحیه اقلیمی از ۴ تن در هکتار نیز تجاوز کرد البته در سال‌های انتهایی دوره نشانه‌هایی از کاهش خلاء مشهود می‌باشد. بر این اساس خلاء نسبی عملکرد که در ابتدای دوره بین ۴۵-۳۵ درصد بود در میانه دوره ۱۰ ساله به ۶۰-۵۵ درصد رسید و در پایان دوره ۵۰ درصد می‌باشد این شواهد نشان می‌دهد که روند تغییرات خلاء عملکرد گندم در استان خراسان رضوی خطی نبوده و با فرم درجه ۲ انطباق بهتری دارد (شکل‌های d7 تا f7).

به‌طور کلی انتظار می‌رود عملکرد پتانسیل در طی زمان با شیبی مثبت که نشان‌دهنده پتانسیل ژنتیکی عملکرد ارقام اصلاح شده جدید است افزایش یابد (Fischer et al., 2015; van Ittersum et al., 2013)، البته باید توجه داشت که برای تعیین دقیق این شیب عملکرد پتانسیل باید بر اساس سال آزادسازی ارقام بررسی شود. برای مثال کوچکی و نصیری محلاتی (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2019) با ارزیابی ارقام آزاد شده در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۴۷ نشان دادند که پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم آبی کشور به میزان ۵۷ کیلوگرم در هکتار در سال افزایش یافته است با این وجود در تحقیق حاضر عملکرد پتانسیل گندم در استان روند معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶) که احتمالاً به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات دقیق در مورد ارقام کشت شده در طی دوره ۱۰ ساله در هر ناحیه اقلیمی می‌باشد. در همین ارتباط دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2015a) با مقایسه ۳ رقم گندم در مناطق مختلف استان خراسان نشان دادند که میانگین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده ارقام ۲ تا ۲ تن در هکتار تفاوت داشت. با وجودی که در تحقیق حاضر ارقام گندم زیر کشت در



شکل ۷- عملکرد پتانسیل ($YP_{85\%}$) و خلاء عملکرد ($YG_{85\%}$) گندم آبی در سه ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی (a-c) همراه با خلاء نسبی عملکرد ($YG_{85\%}/YP_{85\%}$) در این سه ناحیه (e-f) در طی دوره ده ساله ۱۳۸۴-۱۳۹۳

Figure 7- Potential yield ($YP_{85\%}$) and yield gap ($YG_{85\%}$) of irrigated wheat in 3 agroclimatic regions of Khorasan Razavi province (a-c) and relative gap ($YG_{85\%}/YP_{85\%}$) in the studied regions (e-f) during 1384-1393 period

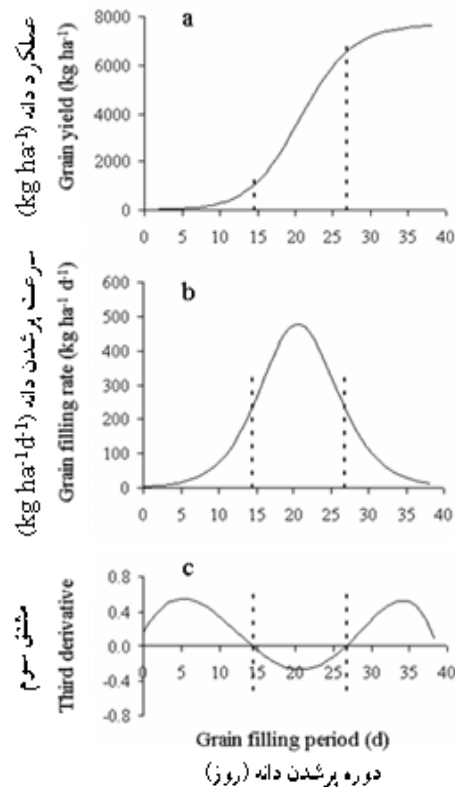
افزایش عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار در روز) را از مشتق اول تابع سیگموییدی برآورد کرد (شکل 8 b). نقاط تلاقی مشتق سوم تابع سیگموییدی با محور x (شکل 8 c) زمان دقیق شروع و پایان دوره موثر پر شدن دانه (EGFP) را مشخص می‌سازد (Dionora and Kropff, 1995).

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۱۰ طول دوره پر شدن دانه گندم آبی برای شرایط شبیه‌سازی (مشهد، سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰) ۳۸ روز و طول دوره موثر پر شدن دانه ۱۳/۷ روز است. باید توجه داشت که میانگین سرعت افزایش عملکرد دانه در طی EGFP بسیار زیاد و برای داده‌های شکل ۱۰ در حدود ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در روز است به بیان دیگر با وجودی که EGFP تنها ۳۴ درصد از کل دوره پر شدن دانه می‌باشد در حدود ۶۷ درصد از عملکرد در طی آن تجمع می‌یابد. در ادامه طول دوره موثر پر شدن دانه طی ۱۰ سال برای ۲ شهر منتخب از هر یک از ۳ ناحیه اقلیمی (مجموعاً ۶۰ مقدار) به روش فوق محاسبه شد. نتایج نشان داد طول این دوره برای گندم آبی در شرایط پتانسیل و در نواحی مختلف اقلیمی استان بین ۱۱ تا ۱۹ روز

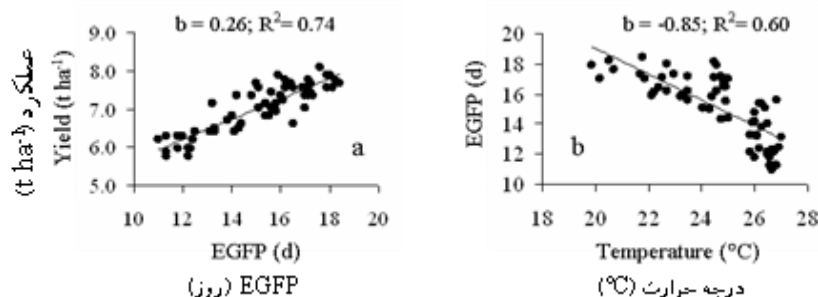
البته در مطالعه حاضر تغییر قابل توجهی از نظر میزان تشعشع بین سال‌های مختلف مشاهده نشد بنابراین به نظر می‌رسد که عوامل دیگری در تغییرات سالانه YP گندم آبی (شکل ۷) موثرند. طول دوره پر شدن دانه نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد غلات دارد در این ارتباط دیونورا و کراپف (Dionora and Kropff, 1995) در مطالعه‌ای بر روی برنج نشان دادند که طول دوره موثر پر شدن دانه^۱ (EGFP) یعنی مدت زمانی که تجمع ماده خشک در دانه به صورت خطی افزایش می‌یابد تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد در ارقام برنج می‌باشد. دینگکوئن و همکاران (Dingkuhn *et al.*, 2015) نیز EGFP را عامل مهمی در شکل‌گیری عملکرد پتانسیل در برنج ذکر کردند. بر این اساس با استفاده از نتایج شبیه‌سازی تأثیر طول دوره پر شدن دانه بر تغییرات عملکرد پتانسیل گندم آبی در استان خراسان مورد بررسی قرار گرفت. مدل LINTUL روند تجمع ماده خشک در دانه (عملکرد دانه، کیلوگرم در هکتار) را با فواصل یک روزه شبیه‌سازی می‌کند. با برازش تابع سیگموییدی به این داده‌ها (شکل ۸a) می‌توان سرعت

طول دوره موثر پر شدن دانه بوده و به ازای هر روز افزایش طول EGFP، این عملکرد در حدود ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد.

است. رابطه بین مقادیر EGFP و عملکردهای شبیه‌سازی شده متناظر با آنها (شکل a9) حاکی از آن بود که ۷۴ درصد از تغییرات مشاهده شده در عملکرد پتانسیل گندم آبی استان طی دوره ۱۰ ساله مربوط به



شکل ۸- a) پیش‌بینی روند تجمع وزن خشک دانه گندم آبی در شرایط پتانسیل به‌وسیله مدل LINTUL (داده‌ها مربوط به شبیه‌سازی در شرایط آب و هوایی مشهد در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ می‌باشد) و برازش تابع سیگموئیدی برای توصیف روند. b) برآورد سرعت تجمع ماده خشک دانه گندم بر اساس مشتق اول تابع سیگموئیدی. c) مشتق سوم تابع سیگموئیدی برای تعیین زمان شروع و اتمام دوره موثر پر شدن دانه (EGFP)
Figure 8- a) Time trend of grain filling of wheat simulated by LINTUL model (data from simulation results under Mashhad conditions for 2011-2012 season) and fitted sigmoid function. b) Grain filling rate estimated from the first derivative of the sigmoid function. c) Third derivative of the sigmoid function showing start and end of effective grain filling period (EGFP)



شکل ۹- رابطه طول دوره موثر پر شدن دانه (EGFP) و عملکرد پتانسیل گندم آبی (a) و پاسخ EGFP به میانگین روزانه درجه حرارت در طی دوره پر شدن دانه (b). داده‌ها (n=۶۰) حاصل ۱۰ سال شبیه‌سازی عملکرد گندم در ۲ شهر منتخب از هر یک از ۳ ناحیه اقلیمی استان می‌باشد.

Figure 9- Relation between effective grain filling period (EGFP) and potential yield of irrigated wheat (a) and response of EGFP to mean daily temperature during grain filling period (b). Data points (n=60) are obtained from 10 years simulation of wheat yield in 2 selected stations from each of 3 climatic regions of the province

۰/۵۴ قرار دارد یعنی در استان‌های تحت بررسی عملکرد واقعی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد حداکثر عملکرد قابل حصول می‌باشد.

با وجودی که مدل‌های شبیه‌سازی متعددی برای پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی در شرایط محدودیت آب وجود دارد ولی واسنجی و تعیین اعتبار این مدل‌ها مستلزم دسترسی به داده‌های دقیق آزمایشی است و بدون چنین داده‌هایی از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند (Grassini et al., 2015). تابع تولید مرزی از جمله روش‌های رایج در تخمین خلاء عملکرد محصولات زراعی است که در سال‌های اخیر جهت پیش‌بینی عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد به‌کار گرفته شده است (Kumbhakar and Tsionas, 2006; Neumann et al., 2010; Affholder et al., 2013) و جایگزین مناسبی برای مدل‌های شبیه‌سازی در شرایط محدودیت داده می‌باشد (van Ittersum et al., 2013).

با استفاده از تابع مرزی (شکل a10) عملکرد پتانسیل گندم دیم در ۳ ناحیه اقلیمی استان بین ۱۹۹۴ تا ۲۸۱۲ و میانگین ۱۰ ساله آن در کل استان ۲۴۳۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۴) در حالی که میانگین ۱۰ ساله عملکرد واقعی استان ۴۴۱ کیلوگرم در هکتار بوده و بالاترین مقدار آن در ناحیه ۱ از ۵۶۲ کیلوگرم در هکتار تجاوز نکرد به‌علاوه ضریب تغییرات عملکرد واقعی گندم دیم استان بین ۲۷-۲۹ درصد و به‌مراتب بیشتر از گندم آبی (جدول ۳) می‌باشد. پایین بودن عملکردهای واقعی باعث ایجاد خلاء بسیار زیاد معادل ۱۶۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلوگرم در هکتار شده است که در حدود ۸۰ تا ۸۴ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد بنابراین عملکرد واقعی گندم دیم استان تنها ۲۰ درصد پتانسیل آن است (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد پایین بودن کارایی مصرف آب در دیم‌زارهای استان نقش مهمی در شکل‌گیری این وضعیت دارد. برآورد کارایی مصرف آب (WUE) بر مبنای تابع تولید مرزی (شکل ۱۱) نشان داد که WUE در شرایط پتانسیل برای تولید گندم دیم با افزایش بارندگی افزایش یافته و در بارش‌های بین ۲۲۰ تا ۳۲۰ میلی‌متر به بالاترین مقدار (۱/۳۵) کیلوگرم دانه به ازای متر مکعب آب می‌رسد و نهایتاً در بارندگی‌های بالاتر از ۳۶۰ میلی‌متر به‌تدریج کاهش می‌یابد.

با وجودی که مقادیر واقعی WUE به مراتب کمتر از مقدار قابل حصول بود ولی از میزان بارندگی تبعیت کرده و با افزایش بارش از ۰/۳ به ۰/۷ کیلوگرم دانه به ازای مترمکعب آب رسید (شکل ۱۱).

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که خلاء عملکرد گندم دیم در استان‌های تحت بررسی به‌طور معنی‌داری تابع کارایی مصرف آب است (شکل ۱۲) و ۶۹ درصد از تغییرات مشاهده شده در خلاء عملکرد به‌وسیله WUE توصیف می‌شود.

مطالعات انجام شده در مورد برآورد عملکرد پتانسیل گندم در شرایط دیم بسیار محدود است برای مثال طائی سمیرمی و همکاران

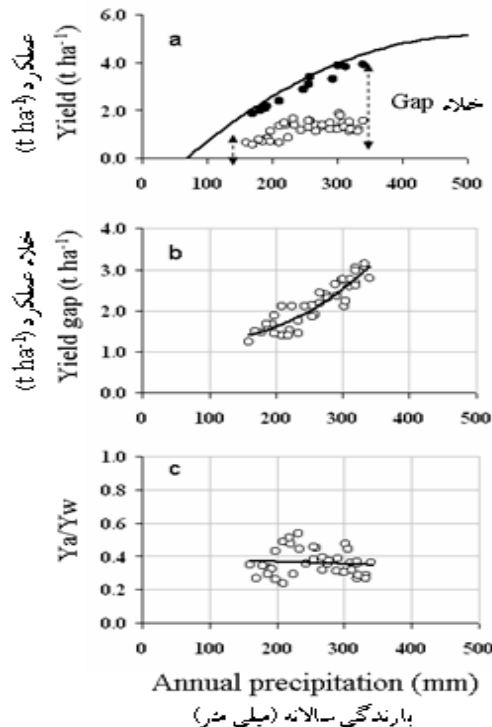
از سوی دیگر نتایج حاکی از وجود رابطه منفی و معنی‌داری ($R^2=0/60$) بین EGFP و میانگین درجه حرارت روزانه در طی دوره پر شدن دانه است (شکل b9) به‌طوری‌که به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما در طی دوره پر شدن دانه ۰/۸۵ روز از طول EGFP کاسته شده که تقریباً معادل ۲۲۰ کیلوگرم دانه در هکتار می‌باشد. تاثیر افزایش درجه حرارت بر کاهش عملکرد گندم به‌دلیل کوتاه شدن طول مراحل نمو در بسیاری از مطالعات (برای مثال Fulco and Senthold, 2006; Xiao, et al., 2008) و نیز در ایران (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2016) گزارش شده است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که افزایش درجه حرارت ناشی از گرمایش جهانی در طی دهه گذشته عامل اصلی نوسان مشاهده شده (شکل ۷) در پتانسیل عملکرد گندم آبی در استان خراسان باشد.

عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد گندم دیم

تابع تولید مرزی بین عملکردهای ثبت شده گندم دیم از مزارع پر محصول و آزمایشات ایستگاهی در استان‌های خراسان رضوی و شمالی در پاسخ به میزان بارش سالانه در شکل a10 ارائه شده است. نقاط روی منحنی در هر سطحی از بارندگی نشان‌دهنده عملکرد قابل حصول یا به بیان دیگر عملکرد پتانسیل گندم دیم می‌باشند و اختلاف بین عملکردهای مشاهده شده با تابع مرزی خلاء عملکرد در هر مقدار بارش را مشخص می‌سازد. بر اساس این نتایج عرض از مبدا تابع مرزی در ۸۰ میلی‌متر بارندگی قرار دارد و با افزایش بارش عملکرد به‌صورت خطی افزایش یافته و در بارش‌های بالاتر از ۵۰۰ میلی‌متر تقریباً به ثبات می‌رسد (شکل a10). نتایج نشان می‌دهد که در بوم‌نظام‌های تولید گندم دیم استان‌های خراسان رضوی و شمالی میزان بارش سالانه در دامنه‌ای بین ۱۶۰ تا ۳۴۰ میلی‌متر قرار دارد که بیش از ۹۵ درصد آن در طی دوره رشد گندم نازل می‌شود. در این بوم‌نظام‌ها عملکرد نسبتاً پایین و در محدوده ۰/۵ تا ۱/۸ تن در هکتار است البته عملکردهای گزارش شده از آزمایشات ایستگاهی با مدیریت دقیق و مزارع پر محصول در همین دامنه بارندگی بین ۲ تا ۴ تن در هکتار می‌باشد که نشان‌دهنده پتانسیل بالا و در نتیجه خلاء قابل توجه عملکرد در این مناطق است به‌طوری‌که خلاء عملکرد گندم دیم در دو استان تحت بررسی بین ۱/۲ تا ۳/۱ تن در هکتار برآورد گردید (شکل b10). به‌علاوه با افزایش بارندگی خلاء عملکرد نیز افزایش می‌یابد به عبارت دیگر در مناطقی که عملکرد پتانسیل گندم دیم بیشتر است خلاء عملکرد بالاتر خواهد بود.

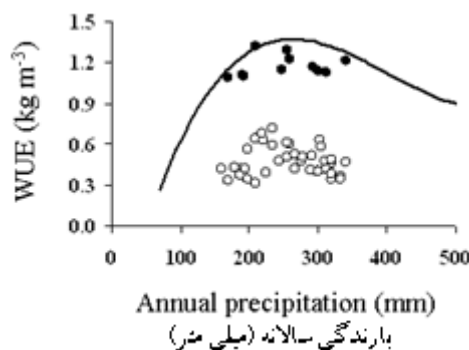
لازم به ذکر است نسبت عملکرد واقعی (Ya) به حداکثر عملکرد قابل حصول در شرایط دیم (Yw) با میزان بارندگی سالانه رابطه معنی‌داری نداشت (شکل c10) و در نتیجه با افزایش عملکرد پتانسیل گندم دیم مقدار Y_a/Y_w تقریباً ثابت بوده و در دامنه‌ای بین ۰/۲۴ تا

را ۲/۴-۳/۷ تن در هکتار و خلاء عملکرد آن را ۳/۰-۳/۶ تن در هکتار برآورد کردند. (Taei Semiromi et al., 2012) پتانسیل عملکرد گندم دیم در حوضه آبریز بروجن با بارندگی سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر



شکل ۱۰- (a) تابع مرزی تولید جهت توصیف رابطه عملکرد گندم دیم و میزان بارندگی سالانه در استان خراسان رضوی و شمالی، دایره‌های سیاه مقادیر عملکرد در آزمایشات ایستگاهی و مزارع پر محصول می‌باشند که تابع مرزی به آنها برآزش شده است و دایره‌های سفید عملکردهای واقعی را مشخص می‌سارند. (b) رابطه بین خلاء عملکرد گندم دیم و میزان بارندگی سالانه و (c) رابطه نسبت عملکرد واقعی (Y_a) به عملکرد قابل حصول (Y_w) با میزان بارندگی سالانه در استان‌های خراسان رضوی و شمالی

Figure 10- a) Frontier production function for relation between rainfed wheat yield and annual precipitation in Khorasan Razavi and Shomali provinces. The function is fitted to yields recorded in controlled experiments and high yielding farms (closed circle a), actual yields are shown with open circles. b) Relation between yield gap of rainfed wheat and annual precipitation and. c) relation between ratio of actual yield to attainable yield (Y_a/Y_w) and annual precipitation in Khorasan Razavi and Shomali provinces



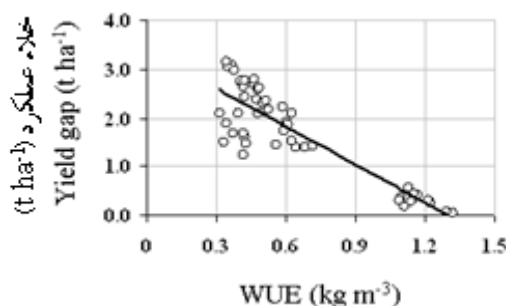
شکل ۱۱- رابطه کارایی مصرف آب (WUE) و میزان بارندگی سالانه در بوم‌نظام‌های تولید گندم دیم استان خراسان رضوی و شمالی. که بر اساس تابع تولید مرزی (شکل ۴-الف) برآورد شده است، دایره‌های سیاه مقادیر WUE مربوط به آزمایشات ایستگاهی و مزارع پر محصول و دایره‌های سفید مقادیر مشاهده شده WUE می‌باشند.

Figure 11- Relation between water use efficiency (WUE) and annual precipitation for rainfed wheat production systems of Khorasan Razavi and Shomali provinces obtained from frontier production function, closed circles show WUE of controlled experiments and high yielding fields and open circles are actual WUE

جدول ۴- میانگین عملکرد واقعی و ضریب تغییرات (CV) آن و مقادیر شبیه سازی شده عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و خلاء نسبی عملکرد گندم دیم طی دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۳) در ۳ ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی و تغییر مقیاس نتایج به کل استان

Table 4- Mean actual yield and its coefficient of variation (CV) and predicted values of potential yield, yield gap and relative yield gap for rainfed wheat over a 10-year period (1384-1393) in 3 agroclimatic regions of Khorasan Razavi province and up-scaled results to the whole province

		Region 1 ناحیه ۱	Region 2 ناحیه ۲	Region 3 ناحیه ۳	Province استان
Rainfed wheat گندم دیم					
Actual yield (Y_A kg ha ⁻¹)	عملکرد واقعی	562	343	407	441
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	29.3	26.7	27.0	27.7
Potential yield (Y_P kg ha ⁻¹)	عملکرد پتانسیل	2812	1994	2537	2431
Yield gap (Y_G kg ha ⁻¹)	خلاء عملکرد	2250	1651	2130	1990
Relative gap	خلاء نسبی	0.80	0.83	0.84	0.81
Yield gap _{85%} ($Y_{G85\%}$ kg ha ⁻¹)	خلاء عملکرد (۸۵٪)	1828	1352	1749	1625
Relative gap (85%)	خلاء نسبی (۸۵٪)	0.76	0.80	0.81	0.79



شکل ۱۲- رابطه خلاء عملکرد گندم دیم و کارایی مصرف آب (WUE) در بوم نظام های تولید گندم دیم در استان خراسان رضوی و شمالی ($r^2=0.69$)

Figure 12- Relation between yield gap of rainfed wheat yield and water use efficiency (WUE) in production systems of Razavi and Shomali provinces

کارایی مصرف آب 0.12 ± 0.58 کیلوگرم دانه به ازای متر مکعب آب به دست آمد. لازم به ذکر است که این کارایی بر اساس میزان بارندگی سالانه برآورد شده و در واقع کارایی مصرف بارندگی^۱ می باشد. بنی و هنسلی (Bennie and Hensley, 2001) نشان دادند که در حدود ۶۵-۷۰ درصد از کل بارش در طی فصل رشد برای گیاهان زراعی قابل استفاده است. بر این اساس کارایی مصرف آب در بوم نظام های دیم استان ۳۵-۳۰ درصد بیشتر و در حدود 0.78 ± 0.58 کیلوگرم دانه به ازای مترمکعب آب است در حالی که مقدار بهینه آن در استان حدود 1.82 ± 0.58 کیلوگرم دانه بر متر مکعب می باشد (شکل ۱۱). سادراس و آنگوس (Sadras and Angus, 2006) با برآزش تابع مرزی تولید آب در دامنه وسیعی از میزان آب قابل دسترس (بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی متر) نشان دادند که کارایی بالقوه مصرف آب در گندم دیم معادل 2.2 ± 0.58 کیلوگرم دانه به ازای متر مکعب آب می باشد.

هاچمن و همکاران (Hochman et al., 2013) با ارزیابی زمانی و مکانی تولید گندم دیم در استرالیا عملکرد پتانسیل گندم دیم در این کشور را 1.14 ± 0.50 و خلاء عملکرد را معادل 1.52 ± 0.77 تن در هکتار برآورد کردند. در ادامه هاچمن و همکاران (Hochman et al., 2016) با استفاده از حجم زیادی از داده ها شامل میانگین شبیه سازی شده عملکرد پتانسیل در ۲۴۵ منطقه و در طی یک دوره ۱۵ ساله عملکرد پتانسیل گندم دیم در استرالیا را 3.5 ± 0.5 و خلاء عملکرد را 1.9 ± 0.49 تن در هکتار و نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل را 0.49 ± 0.49 برآورد کردند که نشان دهنده خلای معادل ۵۱ درصد از عملکرد پتانسیل می باشد. به علاوه نتایج این تحقیق نشان داد که خلاء عملکرد در مناطقی که پتانسیل بیشتری داشتند بالاتر بود. البته کارایی مصرف آب در دیمزارهای این کشور با میانگین بارندگی ۲۳۴ میلی متر در سال 1.51 ± 0.79 کیلوگرم دانه به ازای متر مکعب آب است (Hochman et al., 2013) در حالی که در دیمزارهای خراسان رضوی و شمالی با بارندگی سالانه 258 ± 52 میلی متر میانگین

داده‌های دقیق برای واسنجی و تعیین اعتبار مدل‌های رشد (نظیر شرایط محدودیت آب) تابع تولید مرزی برآورد قابل قبولی از عملکرد پتانسیل به‌دست خواهد داد.

بالاترین میانگین عملکرد پتانسیل چغندر قند و گندم آبی مربوط به نواحی اقلیمی معتدل خشک و معتدل نیمه‌خشک بوده و عملکرد پتانسیل این محصولات در ناحیه گرم و خشک استان در حدود ۱۵ درصد کمتر از دو ناحیه دیگر است در حالی که در میانگین عملکرد پتانسیل گندم دیم در ناحیه معتدل نیمه‌خشک بالاترین مقدار را دارد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که خلاء قابل مهار عملکرد چغندر قند و گندم آبی در کل استان در حدود ۵۲ درصد از عملکرد پتانسیل است به بیان دیگر ۴۸ درصد از پتانسیل اقلیمی استان در تولید این محصولات در عمل تحقق می‌یابد. این خلاء در مورد گندم دیم بسیار زیاد بوده و عملکرد واقعی تنها ۲۵ درصد از عملکرد پتانسیل است. روند تغییرات ۱۰ ساله حاکی از آن است که خلاء عملکرد در چغندر قند و با سرعت کمتری در گندم آبی در حال پر شدن است در حالی که در مورد خلاء عملکرد گندم دیم روندی افزایشی مشاهده شد. با توجه به نتایج این مطالعه جهت پرکردن خلاء عملکرد چغندر قند و گندم آبی در استان خراسان رضوی اولویت با به‌سازی روش‌های مدیریتی بوده و اصلاح ارقام جدید در اولویت بعدی می‌باشد. در حالی که در مورد گندم دیم به دلیل کاهشی بودن روند ۱۰ ساله عملکرد پتانسیل، لازم است که اصلاح ارقام جدید به‌ویژه در جهت ارتقاء کارایی مصرف آب در کنار روش‌های مدیریتی به‌عنوان راهکارهای پرکردن خلاء عملکرد مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات طرح پژوهش شماره ۳۵۴۶۰ مورخ ۸۷/۷/۳۰ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

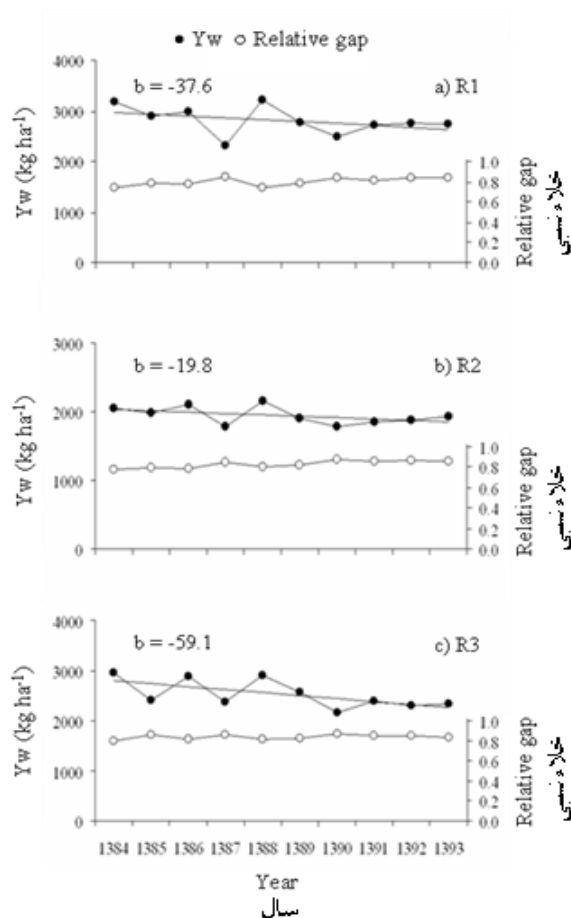
روند تغییرات زمانی پتانسیل عملکرد گندم دیم یا به بیان دیگر حداکثر عملکرد در شرایط محدودیت آب (Y_w) در هر سه ناحیه اقلیمی کشاورزی استان خراسان رضوی در حال کاهش می‌باشد. بیشترین شیب کاهش مربوط به ناحیه ۳ ($R3$) به میزان ۵۹/۱- کیلوگرم در هکتار در سال (شکل c13) و کمترین آن (۱۹/۸- کیلوگرم در هکتار در سال) مربوط به ناحیه ۲ ($R2$) است (شکل b13). این روند منفی در پتانسیل عملکرد گندم دیم استان به دلیل کاهش نزولات در طی دوره ۱۰ ساله تحت بررسی می‌باشد که عملکرد واقعی گندم دیم را نیز با شیب مشابهی کاهش داده است و در نتیجه خلاء نسبی عملکرد (Y_G/Y_w) در فاصله سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۴ در هر سه ناحیه تقریباً ثابت و در دامنه‌ای بین ۰/۸۴-۰/۷۶ در نوسان بوده است.

منفی بودن شیب تغییرات عملکرد پتانسیل گندم دیم در نواحی اقلیمی استان در واقع نشان می‌دهد که ارقام زراعی فعلی در شرایط جدید اقلیمی قادر به تولید عملکرد بالا نمی‌باشند که در این‌صورت خلاء عملکرد باید با تأکید بر روش‌های اصلاح نبات پر شود یافته‌های این تحقیق در مقیاس منطقه بوده و ممکن است در سایر استان‌ها و یا در کل کشور وضعیت دیگری حاکم باشد. برای مثال سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2016) با ارزیابی عملکرد پتانسیل و خلاء آن در مورد نخود دیم کشور نشان دادند که در مقیاس ملی سهم روش‌های اصلاحی در پر کردن این خلاء تنها ۲۵ درصد می‌باشد.

با توجه به پایین بودن کارایی مصرف آب در دیم‌زارهای استان (شکل ۱۱) و نقش تعیین‌کننده این کارایی در خلاء عملکرد گندم دیم (شکل ۱۲) بالا بردن کارایی مصرف آب موثرترین راه حل برای پر کردن خلاء عملکرد گندم دیم در بوم‌نظام‌های دیم استان محسوب می‌شود. افزایش کارایی مصرف آب هم از طریق اصلاح ارقام جدید و هم با روش‌های مدیریت زراعی امکان‌پذیر می‌باشد و تلفیق این دو راهکار مناسبی برای افزایش پتانسیل عملکرد گندم دیم و کاهش خلاء آن خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد پتانسیل چغندر قند، گندم آبی و دیم در نواحی اقلیمی استان خراسان رضوی و در طی دوره‌ای ۱۰ ساله بر پایه چارچوب ارائه شده توسط اطلس جهانی خلاء عملکرد برآورد و سپس خلاء عملکرد این محصولات محاسبه شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی ساده‌ای نظیر LINTUL در صورت واسنجی و تعیین اعتبار آنها در مقیاس وسیع قابلیت مطلوبی در پیش‌بینی عملکرد پتانسیل دارند به‌علاوه در شرایط عدم دسترسی به



شکل ۱۳- روند تغییرات عملکرد پتانسیل عملکرد گندم دیم (Y_w) و خلاء نسبی عملکرد (Y_g/Y_w) در سه ناحیه اقلیمی کشاورزی (R_1 , R_2 , R_3) استان خراسان رضوی طی دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۴-۱۳۹۳. در شکل شیب تغییرات عملکرد قابل حصول (b , $\text{kg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) نیز نشان داده شده است.

Figure 13- Time trend of potential yield of rainfed wheat (Y_w) and relative yield gap (Y_g/Y_w) in 3 agroclimatic regions (R_1 , R_2 , R_3) of Khorasan e Razavi province during 1384-1393 period. Slope of the trend line (b , $\text{kg ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) is also shown

References

1. Abeledo, L. G., Savin, R., and Slafer, G. A. 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy* 28: 541-550.
2. Acreche, M. M., Briceño-Felix, G., Sanchez, J. A. M., and Slafer, G. A. 2008. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy* 28: 162-170.
3. Affholder, F., Poeydebat, C., Corbeels, M., Scopel, and E., Tittonell, P. 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modeling. *Field Crops Research* 143: 106-118.
4. Alexandratos, N., and Bruinsma, J. 2012. World agriculture towards 2030/2050. The 2012 Revision. ESA Working paper No. 12-03, April 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.
5. Batchelor, W. D., Basso, B., and Paz, J. O. 2002. Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. *European Journal of Agronomy* 18: 141-158.
6. Bennie, A. T. P., and Hensley, M. 2001. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa - a review. *Journal of Hydrology* 241: 124-139.
7. Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., and Huard, F. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research* 119: 201-212.
8. Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050. By how much do land; water use and crop yields need to increase by 2050? In: Proc. FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, 24-26 June 2009. FAO, Rome (available at <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/background-documents/expert-papers/en/>).

9. Casanova, D., Goudriaan, J., Bouma, J. and Epema, G. F. 1999. Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice. *Geoderma* 91: 191-216.
10. Cassman, K. G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of National Academy of Sciences of the U.S.A.* 96: 5952-5959.
11. Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T., and Yang, H. S. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environmental Resources* 28: 315-358.
12. Cassman, K. G., Grassini, P., and van Wart, J. 2010. Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. In: Rosenzweig, C., Hillel, D. (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems*. Imperial College Press, London, pp. 37-51.
13. De Wit, A. J. W., Boogaard, H. L., and van Diepen, C. A. 2005. Spatial resolution of precipitation and radiation: the effect on regional crop yield forecasts. *Agricultural and Forest Meteorology* 135: 156-168.
14. Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2015a. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modeling. *Field Crops Research* 184: 28-38.
15. Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2015b. Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model. *Journal of Agroecology* 7 (3): 315-330. (in Persian with English abstract).
16. Denison, R. F. 2015. Evolutionary tradeoffs as opportunities to improve yield potential. *Field Crops Research* 182: 3-8.
17. Dingkuhn, M., Laza, M. R. C., Kumar, U., Mendez, K. S., Collard, B., Jagadish, K., Singh, R. K., Padolina, T., Malabayabas, M., Torres, E., Rebolledo, M. C., Manneh, B., and Sow, A. 2015. Improving yield potential of tropical rice: achieved levels and perspectives through improved ideotypes. *Field Crops Research* 182: 43-59.
18. Dionora, M. J. A. and Kropff, M. J. 1995. Variation in rate and duration of grain filling in rice genotypes. In: Aggarwal, P. K., et al. (eds.). *Application of Systems Approaches in Plant Breeding*. SARP Research Proceedings, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. pp: 123-127.
19. Efron, B. 1983. Estimating the error rate of a prediction rule: Some improvements on cross validation. *Journal of the American Statistical Association* 78: 316-331.
20. Efron, B., and Tibshirani, R. J. 1998. *An Introduction to the Bootstrap*. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
21. Elliott, J. A., and De Jong, E. 1993. Prediction of field denitrification rates: a boundary-line approach. *Soil Science Society of America Journal* 57: 82-87.
22. Espe, M. B., Cassman, K. G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L. T., and Linquist, B. A. 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Research* 196: 276-283.
23. Ewert, F., Rounsevell, M. D. A., Reginster, I., Metzger, M. J., and Leemans, R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 107: 101-116.
24. FAOSTAT. 2013. Crop production Statistics. Food and Agriculture Organization: Rome. At www.fao.org.
25. FAOSTAT. 2015. Crop production Statistics. Food and Agriculture Organization: Rome. At www.fao.org.
26. Fischer, G. 2009. World food and agriculture to 2030/50: how do climate change and bioenergy alter the long-term outlook for food, agriculture and resource availability? In: *Proc. FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, (available at <http://www.fao.org/wsfs/forum2050/backgrounddocuments/expert-papers/en/>).
27. Fischer, R. A. 2015. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Field Crops Research* 182: 9-18.
28. Fischer, R. A., and Edmeades, G. O. 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Science* 50: S86-S98.
29. Fulco, L., and Senthold, A. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural Systems* 90: 159-179.
30. Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A., Andarzian, B., and Faieai zadeh, N. 2012. Agroecological zoning of Khozestan province for potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. *Journal of Agroecology* 4 (3): 255-264. (in Persian with English abstract).
31. Grassini, P., Thornburn, J., Burr, C., and Cassman, K. G. 2011. High-yield irrigated maize in the Western US Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. *Field Crops Research* 120: 144-152.
32. Grassini, P., van Bussel, L. G., van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., van Ittersum, M. K., and Cassman, K. G. 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research* 177: 49-63.
33. Hall, A. J., Feoli, C., Ingaramo, J., and Balzarini, M. 2013. Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina. *Field Crops Research* 143: 119-129.
34. Hall, A. J., and Richards, R. A. 2013. Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research* 143: 18-33.

35. Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Reese, H., Marinoni, O., Garcia, J. N., and Horan, H. 2013. Reprint of "Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia". *Field Crops Research* 143: 65-75.
36. Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., and Garcia, J. N. 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research* 197: 97-106.
37. Hoffmann, C. M., and Kluge-Severin, S. 2010. Light absorption and radiation use efficiency of autumn and spring sown sugar beets. *Field Crops Research* 119: 238-244.
38. Irmak, A., J. W. Jones, T. Mavromatis, S. M. Welch, K. J. Boote, and G. G. Wilkerson. 2000. Evaluating methods for simulating cultivar responses using cross validation. *Agronomy Journal* 92 (6): 1140-1149.
39. Jaggard, K. W., Qi, A., Eric, S., and Ober, E. S. 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philosophical Transaction of Royal Society of Biology* 365: 2835-2851.
40. Jaggard, K. W., and Werker, A. R. 1999. An evaluation of the potential benefits and costs of autumn-sown sugarbeet in Europe. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 132: 91-102.
41. Jones, P. N., and P. S. Carberry. 1994. A technique to develop and validate simulation models. *Agricultural Systems* 46: 427-442.
42. Kenter, C., Hoffmann, C. M., and Märlander, B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development. *European Journal of Agronomy* 24: 62-69.
43. Kiniry, J. R., Bean, B., Xie, Y., and Chen, P. 2004. Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment. *Agricultural Systems* 82: 45-56.
44. Kluge-Severin, S., Hoffmann, C., and Märlander, B. 2009. Yield and quality of winter beets - prospects for sugarbeet production? *Zuckerindustrie* 134: 366-376.
45. Koning, N., and van Ittersum, M. K. 2009. Will the world have enough to eat? *Current Opinions on Environmental Sustainability* 1: 77-82.
46. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2019. Contribution of genetic and agronomic measures on yield gain of irrigated wheat in Iran for 1971-2011. *Journal of Agroecology* (in press). (in Persian with English abstract).
47. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2007. Impacts of climate change and CO₂ concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research* 6 (1): 139-153. (in Persian with English abstract).
48. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Effects of climate change on agricultural production of Iran: II. Predicting productivity of field crops and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14(2): 1-20. (in Persian with English abstract).
49. Kumbhakar, C. S., and Tsionas, E. G. 2006. Estimation of stochastic frontier production functions with input-oriented technical efficiency. *Journal of Econometrics* 133: 71-96.
50. Laborte, A. G., de Bie, C. A. J. M., Smaling, E. M. A., Moya, P. F., Boling, A. A., and van Ittersum, M. K. 2012. Rice yields and yield gaps in Southeast Asia: past trends and future outlook. *European Journal of Agronomy* 36: 9-20.
51. Lobell, D. B., Cassman, K. G., and Field, C. B. 2009. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environmental Resources* 34: 179-204.
52. Mackay, I., Horwell, A., Garner, J., White, J., McKee, J., and Philpott, H. 2011. Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time. *Theoretical and Applied Genetics* 122: 225-238.
53. Merlosa, F. A., Monzon, J. P., Mercau, J. L., Taboada, M., Andradea, F. H., Halle, A. J., Jobbagy, E., Cassman, K. G., and Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184: 145-154.
54. Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Sayre, R., Trabucco, A., and Zomer, R. 2013. A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography* 22: 630-638.
55. MJA, 2015. *Agricultural Statistics Yearbook, 2014-15*. vol. 1. Crops. Ministry of Jihad e Keshavrz, 2015.
56. Mondani, F. 2012. Simulating the effect of climate change on wild oat and sunn pest damage on wheat under Mashhad weather conditions. PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
57. Muchow, R. C., and Kropff, M. J. 1997. Assessing the potential yield of tropical crops: role of field experimentation and simulation. In: Kropff, M.J., Teng, P.S., Aggarwal, P.K., Bouma, J., Bouman, B.A.M., Jones, J.W., Van Laar, H.H. (Eds.), *Applications of Systems Approaches at the Field Level*. Vol. 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 101-112.
58. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Long term evaluation of yield stability trend for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology* 6 (3): 607-621. (in Persian with English abstract).
59. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2019. Yield monitoring for wheat and sugar beet in Khorasan province: 1- Analysis of methods for estimating potential yield. *Journal of Agroecology* 16 (4): 723-741. (in Persian with English abstract).

60. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2011. Radiation absorption and use efficiency in relay intercropping and double cropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (6): 878-890. (in Persian with English abstract).
61. Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2009. Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 695-709. (in Persian with English abstract).
62. Neumann, K., Verberg, P. H., Stehfest, E., and Muller, C. 2010. The yield gap of global grain production: a spatial analysis. Agricultural Systems 103: 316-326.
63. O'Connell, M. G., O'Leary, G. J., Whitfield, D. M., and Connor, D. J. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. Field Crops Research 85: 111-124.
64. Oerke, E. C., Dehne, H. W., Schonbeck, F., and Weber, A. 1994. Crop Production and Crop Protection. Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
65. Ortiz, R., Sayre, K. D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G. V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J. M., Ortiz-Monasterio, J. I., and Reynolds, M. 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? Agriculture Ecosystems and Environment 126: 46-58.
66. Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Helvinka, P., Moriondo, M., and Olesen, J. E. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison of eight crop models. European Journal of Agronomy 35: 103-114.
67. Parsa, S. 2008. Modeling spatial and temporal variation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield in Khorasan province. PhD thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
68. Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S. C., Furbank, R. T., Manes, U., Mather, D. E., and Parry, M. A. J. 2011. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. Journal of Experimental Botany 62: 439-452.
69. Richter, G. M., Jaggard, K. W., and Mitchell, R. A. C. 2001. Modeling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. Agricultural and Forest Meteorology 109: 13-25.
70. Sadras, V. O., and Angus, J. F. 2006. Benchmarking water use efficiency of rainfed wheat crops in dry mega-environments. Australian Journal of Agricultural Research 57: 847-856.
71. Schnug, E., Heym, J., and Achwan, F. 1996. Establishing critical values for soil and plant analysis by means of the Boundary Line Development System (Bolides). Communications in Soil Science and Plant Analysis 27: 2739-2748.
72. Seyed Jalali, S. A., Sarmadian, F., and Shorafa, M. 2012. Modeling potential land productivity for winter wheat in Aghili region, Khozestan province. Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences) 27 (4): 427-439.
73. Shatar, T. M., and McBratney, A. B. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. Journal of Agricultural Science 142: 553-560.
74. Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops Research 185: 21-30.
75. Taei Semiromi, J., Ghanbari, A., Amiri, F., Ghaffari, A., Siahsar, B., and Ayoubi, Sh. 2012. Agroecological zoning of wheat in the Borujen watershed: Rainfed and irrigated wheat cropping system evaluation. Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production 22 (4): 1-12. (in Persian with English abstract).
76. Thorp, K. R., Batchelor, W. D., Paz, J. O., Kaleita, A. L., and DeJonge, K. C. 2007. Using cross validation to evaluate CERES-Maize yield simulation within a decision support system for precision agriculture. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers 50 (4): 1467-1479.
77. van Bussel, L. G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K. G., and van Ittersum, M. K. 2015. From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. Field Crops Research 177: 98-108.
78. van Delden, A. 2001. Yielding ability and weed suppression of potato and wheat under organic nitrogen management. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands, ISBN 90 5808 519_/8, pp. 197.
79. van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. Field Crops Research 143: 4-17.
80. van Laar, H. H., Goudriaan, J., and Van Keulen, H. 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, The Netherlands, pp. 52.
81. van Wart, J., van Bussel, L. G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N. D., and Claessens, L. 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. Field Crops Research 143: 44-55.
82. Viglizzo, E. F., Pordomingo, A. J., Castro, M. G., Le'rtora, F. A., and Bernardos, J. N. 2004. Scale-dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment 101: 39-51.

83. Werker, A. R., and Jaggard, K. W. 1998. Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology* 89: 229- 240.
84. Xiao, G., Zhang, Q., Yao, Y., Zhao, G., Wang, R., Bai, H., and Zhang, F. 2008. Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid northwestern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127: 37-42.
85. Xiong, W., Holman, I., Conway, D., Lin, E., and Li, Y. 2008. A crop model cross calibration for use in regional climate impacts studies. *Ecological Modeling* 213: 365-380.
86. Zhang, X., Wang, S., Sun, H., Chen, S., Shao, L., and Liu, X. 2013. Contribution of cultivar, fertilizer and weather to yield variation of winter wheat over three decades: A case study in the North China Plain. *European Journal of Agronomy* 50: 52-59.
87. Zhou, Y., He, Z. H., Sui, X. X., Xia, X. C., Zhang, K., and Zhang, G. S. 2007. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the Northern China winter wheat region from 1960 to 2000. *Crop Science* 47: 245-253.



Yield Monitoring for Wheat and Sugar beet in Khorasan Province: 2- Estimation of Yield Gap

A. Koocheki^{1*}, M. Nassiri Mahallati¹

Received: 12-02-2017

Accepted: 17-10-2017

Introduction: To realize global food demand by 2050 world cereal production should be increased up to 49% compared to 2006. This level of production could be achieved by annual yield increment of 1.16%. However, the current rates are much lower. At the same time, there is a very restricted area to increase cultivated lands because of resource limitation, provided that increase in crop yields is the main option to sustain food security. Potential yield (YP) could be achieved when limiting and reducing factors are completely absent during crop growth. YP is an indicator for the yielding capacity of a given environment and management system and estimating the difference between YP and actual yield, known as yield gap, is crucial for improvement of crop production systems at regional or national scale. In this study yield gap and its temporal trend for sugar beet, irrigated and rainfed wheat are estimated over Khorasan Razavi province based on the method developed by Global Yield Gap Atlas.

Materials and Methods: Following the protocol provided by Global Yield Gap Atlas, Khorasan province was clustered into agroclimatic zones using the proposed indices (cumulative degree days above 0 °C, aridity index and temperature seasonality) based on 10 years (1384-1393) weather data. YP of sugar beet and irrigated wheat for the study period in the climatic regions was first estimated for selected cities within each region using LINTUL model and finally the simulation results were up scaled from cities to region and from regions to the whole province. The model was cross-validated against measured data using leave-one-out (LOO) method to increase accuracy of predictions. Potential yield of rainfed wheat (YW) was estimated from frontier production function which was fitted to yield data over a wide range of annual precipitation. Yield gap (YG) of the studied crops was estimated as the difference between potential (YP) and actual yields (YA) for each region and over the 10-year period. In addition exploitable gap ($YG_{85\%} = 85\%YP - YA$) was also calculated.

Results and Discussion: The accuracy of LINTUL model for simulation of sugar beet and irrigated wheat yields was considerably increased after cross validation and the prediction error was reduced by 6.5 - 7.8%. Mean YP of irrigated wheat in the climatic region 1 (temperate, semi-dry), 2 (hot, dry) and 3 (temperate, dry) was respectively, 7248, 6478 and 7852 and for the whole province 6936 kg ha⁻¹. Time trend of YP for irrigated wheat was not significant in 3 climatic regions however, high annual variation of YP was found over the studied period. Results indicated that up to 74% of this variation was accounted for by changes in the effective grain filling period in response to temperature. $YG_{85\%}$ of irrigated wheat in all climatic regions was increased up to 4 t ha⁻¹ during 1384-1388 but decreased later on so that relative gap was 0.48-0.50 of YP in 1993. Average YW of rainfed wheat in the climatic regions of the province was estimated as 2000-2800 kg ha⁻¹ with a negative trend due to decreased precipitation, the highest negative slope in YW (59 kg ha⁻¹ y⁻¹) was found in the hot dry region. Rainfed wheat showed an extremely high yield gap in all climatic regions and mean relative yield gap (YG/YW) was estimated as 0.75-0.80 over the province. Mean YP of sugar beet in different climatic regions of the province was estimated from 78 to 88 t ha⁻¹ with the lowest potential in hot-dry region. However, declining trend was found in the yield gap of sugar beet in all studied regions with the highest gap filling rate of 1.44 t ha⁻¹ y⁻¹ in temperate-dry region.

Conclusions: Simulated YP of sugar beet and irrigated wheat were higher in temperate-semi arid regions of the province and lower in hot-dry regions. However, cold-semi arid regions had the highest YW of rainfed wheat. When up-scaled over the province, $YG_{85\%}$ was about 50% of YP for irrigated wheat and sugar beet and 25% for rainfed wheat. It was concluded that closing yield gap of sugar beet and irrigated wheat would be possible mainly by improving management practices however, for rainfed wheat breeding strategies should be considered as the first priority.

Keywords: Cross validation, Exploitable yield gap, Global yield gap atlas, Potential yield

1- Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)



تاثیر بیوپار بر حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف آب در سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط تنش خشکی

فاطمه عباس‌پور^۱، حمیدرضا اصغری^{۲*}، پرویز رضوانی مقدم^۳، حمید عباسدخت^۴، جواد شباهنگ^۵، عادل بیگ بابایی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۸

چکیده

به منظور بررسی تاثیر بیوپار بر حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف آب در سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. تیمارها شامل آبیاری به عنوان عامل اصلی در سه سطح ۱۰۰ درصد، ۷۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی و کرت‌های فرعی شامل فاکتور بیوپار در سه سطح شامل بدون بیوپار، ۱۰ تن در هکتار بیوپار و ۲۰ تن در هکتار بیوپار و کود شیمیایی در دو سطح شامل بدون مصرف کود و مصرف کود بود. نتایج نشان داد که مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوپار بیشترین تاثیر را بر درصد نیتروژن خاک، میزان پتاسیم، درصد مواد آلی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک داشت ولی اثر بیوپار بر میزان فسفر قابل دسترس خاک معنی‌دار نبود. نتایج مرتبط با گیاه سیاه‌دانه نشان داد که با وجود معنی‌دار نبودن اثر ساده بیوپار بر صفات گیاه، اثر متقابل آن با کود شیمیایی و نیاز آبی معنی‌دار شد. بیشترین کارایی مصرف آب بر اساس عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی به همراه مصرف کود شیمیایی (I_2F_2) و ۱۰ تن در هکتار بیوپار به همراه مصرف کود شیمیایی (B_2F_2) مشاهده شد. اثرات متقابل آبیاری، بیوپار و کود شیمیایی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش در سیاه‌دانه داشت و بیشترین تاثیر مربوط به تیمار آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی به همراه ۱۰ تن در هکتار بیوپار و کودشیمیایی ($I_2B_2F_2$) بود. به طور کلی، استفاده از بیوپار در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر بهبود خصوصیات خاک، جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و با تاثیر بهینه بر عملکرد، میزان آب مصرفی در سیاه‌دانه را کاهش داده و باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کربن زیست‌توده میکروبی، کود شیمیایی، عملکرد دانه، مواد آلی خاک

مقدمه

افزایش جمعیت همراه با تغییرات شدید عوامل زیست‌محیطی و اقلیمی، بی‌ثباتی‌های اقتصادی، فقر، گرسنگی و به‌ویژه عدم وجود امنیت غذایی را به همراه دارد. امنیت غذایی، دسترسی همه مردم به غذای کافی در هر زمان برای یک زندگی سالم است که مستلزم افزایش عملکرد محصولات و پایداری آن، افزایش بازده منابع آب و خاک، کاهش ضایعات تولیدی و اصلاح الگوی تغذیه می‌باشد (Schouten, 2010).

سلامت خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گیاهان عناصر غذایی خود را از مواد آلی یا مواد معدنی موجود در خاک‌ها به‌دست می‌آورند. کشاورزی مدرن از طریق برداشت‌های مکرر محصول باعث کاهش مواد آلی خاک می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی که با صنعتی شدن کشاورزی رواج یافت، عملکرد گیاهان زراعی را به دو یا سه برابر افزایش داد ولی به دلیل کاهش کیفیت خاک، استفاده از کودهای شیمیایی برای حصول همان مقدار عملکرد به تدریج در طی زمان افزایش یافت. از طرف دیگر، مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن باعث تخریب خاک و مشکلات زیست‌محیطی در طی زمان شد (Widowati, 2012). در حال حاضر استفاده از انواع کودهای دامی یا آلی در خاک برای افزایش حاصلخیزی خاک یک روش معمول است. یکی از خصوصیات مواد آلی، تجزیه‌ی کندتر آن‌ها در مقایسه با کودهای معدنی است و معمولاً کودهای دامی هر دو تا سه سال اعمال می‌شود که علاوه بر هزینه‌های بالا، تجزیه سریع و معدنی شدن مواد آلی، تاثیر معنی‌داری نیز بر گرمایش جهانی دارد (Sika, 2012; Aslam et al., 2014). یک ایده جدید برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی مدت کربن در خاک استفاده از بیوپار است.

۱- دانشجوی دکتری اگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۵- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۶- استادیار، گروه شیمی فیزیک، موسسه پژوهشی صنایع غذایی خراسان رضوی

(Email: hamidasghari@gmail.com)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.63344

التهاب، سرفه، برونشیت، سردرد، آگزما، تب، سرگیجه و آنفولانزا نیز مصرف دارد. دانه یا روغن سیاه‌دانه به عنوان داروی ضدنفخ، ادرارآور، شیرآور و ضدانگل استفاده می‌شود (Boskabady et al., 2007; Akhondian et al., 2007).

آب یکی از مهمترین عوامل محیطی در تولید گیاهان دارویی می‌باشد. به طوری که کمبود آب در جریان تولید گیاهان می‌تواند صدمات سنگینی به رشد و نمو و همچنین مواد موثره گیاهان دارویی وارد نماید. آب نه تنها به لحاظ اکولوژیکی بلکه به لحاظ فیزیولوژیکی نیز دارای اهمیت است زیرا در اکثر فرایندهای داخلی گیاه دخالت داشته و تقریباً تمام فعالیت‌های متابولیکی سلول‌های گیاهی از جمله ساخت مواد موثره در گیاهان دارویی بستگی به وجود آب دارد. به نظر می‌رسد بیوپار با داشتن صفاتی مانند توانایی ویژه در جذب و نگهداری عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری آب بالا بتواند جایگزین کودهای شیمیایی در گیاهان شده و مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی را افزایش دهد (Haider, 2016). در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های تلفیقی برای افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های کم‌آبی، خاک‌های فقیر یا شور همراه با حفظ عملکرد مطلوب مورد توجه قرار گرفته است. از آنجایی که تحقیقات اندکی در رابطه با تاثیر بیوپار بر تنش خشکی وجود دارد، از طرفی نتایج مربوط به مطالعات بیوپار بسته به نوع ماده‌ی اولیه، دمای گرماکافت و خاک منطقه‌ی مورد استفاده متفاوت می‌باشد (Teat, 2014) و با توجه به اهمیت گیاه سیاه‌دانه در صنایع داروسازی و غذایی، اطلاعاتی در زمینه اثر بیوپار بر این گیاه به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود ندارد. لذا تحقیق حاضر بر روی گیاه سیاه‌دانه در اراضی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به صورت اسپلینت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۸ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) به اجرا درآمد. زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای این آزمایش به صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک این زمین نمونه برداری تصادفی انجام شد که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ آمده است. کرت‌های اصلی شامل سطوح آبیاری در سه سطح شامل آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_1)، آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی (I_2) و آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی (I_3) و کرت‌های فرعی فاکتوریل دو عامل بیوپار در سه سطح (بدون بیوپار (B_1), ۱۰ تن در هکتار بیوپار (B_2) و ۲۰ تن در هکتار بیوپار (B_3)) و عامل کود

بیوپار یک ماده زیستی گرماکافت (پیرولیز) شده است. گرماکافت فرآیند سوختن مواد آلی در حضور اکسیژن کم یا شرایط بدون اکسیژن است که منجر به تشکیل زغال غنی از کربن می‌شود که بسیار مقاوم به تجزیه است (Azeem et al., 2016; Mukherjee et al., 2014). دوام بالا و مقاومت به تجزیه‌ی بیوپار مربوط به تغییر در ساختار شیمیایی سلولز، همی سلولز و لیگنین در دمای بالای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است به طوری که بیوپار ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر مقاوم‌تر از سایر مواد آلی موجود در خاک است (Aslam et al., 2014; Azeem et al., 2016). توانایی بالای این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آشوبی آنها، جذب فلزات سمی و کودهای شیمیایی و کاهش آزادسازی گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Berek et al., 2011). بیوپار به دلیل منافذ زیاد و سطح ویژه بالا، زیستگاه مناسبی برای میکروارگانیسم‌های خاکزی است و از خشکی و شکار شدن آنها توسط موجودات بزرگتر جلوگیری کرده و منابع سرشاری از مواد معدنی و کربنی را برای میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند. با توجه به این که میکروارگانیسم‌ها از خدمات اکوسیستمی مهم در طبیعت هستند، می‌توانند با تاثیر بر ساختار بیولوژیکی خاک، چرخه‌ی عناصر غذایی، بهبود دانه‌بندی خاک و معدنی شدن کربن آلی بر رشد گیاه موثر باشند (Zhang et al., 2014; Aslam et al., 2016; Lehmann et al., 2011). به دلیل نقش بیوپار در پایداری اکوسیستم‌ها، آزمایش‌های گسترده‌ای در سال‌های اخیر در ارتباط با تاثیر بیوپار بر رشد گیاهان و حاصلخیزی خاک انجام شده است ولی اغلب این مطالعات بر روی گیاهان زراعی بوده و تحقیق در رابطه با تاثیر بیوپار بر گیاهان دارویی بسیار نادر است. گیاهان دارویی از ارزش و اهمیت خاصی در تأمین بهداشت و سلامت جوامع، هم به لحاظ درمان و هم پیشگیری از بیماری‌ها برخوردار بوده و هستند. تحقیقات سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد جمعیت جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از گیاهان دارویی به‌منظور رفع نیازهای اولیه بهداشتی و درمانی خود بهره می‌گیرند (Choudhary and Singh Sekhon, 2011). از طرفی به دلیل عوارض جانبی داروهای شیمیایی، روز به روز به گیاهان دارویی و فراورده‌های آن بیشتر توجه می‌شود و اعتقاد عمومی درباره استفاده از آن‌ها پیوسته تقویت می‌گردد.

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. یک گیاه دارویی دو لپه، علفی و یکساله که متعلق به خانواده آلاله می‌باشد که به دو صورت وحشی و زراعی در ایران دیده می‌شود. سیاه‌دانه دارای زمینه‌ی تاریخی و مذهبی در بین اقوام و ملل است، به طوری که میلیون‌ها نفر در نواحی مدیترانه و شبه قاره‌ی هند روزانه از روغن دانه آن در پیشگیری طبیعی و یا درمان بیماری‌ها استفاده می‌کنند. این گیاه به‌عنوان ادویه و در درمان بیماری‌هایی مثل آسم، فشارخون، دیابت،

هم‌زمان با عملیات برداشت، شاخص‌های مورد مطالعه در خاک شامل درصد نیتروژن کل خاک، درصد فسفر قابل دسترس، پتاسیم خاک و مقدار ماده آلی خاک تعیین شد. برای این منظور در سه نقطه از تمامی کرت‌های آزمایشی در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. هر سه نمونه با هم مخلوط و یک نمونه واحد تهیه و در کیسه پلاستیکی بسته‌بندی و به آزمایشگاه منتقل شد (Chaudhry et al., 2016). نمونه‌برداری برای کربن زیست‌توده میکروبی خاک جداگانه و در شرایطی که خاک مزرعه از نظر رطوبتی در حد ظرفیت زراعی بود، انجام گرفت. نمونه‌های برداشت شده در ظروف حاوی یخ قرار داده شد و سریعاً به آزمایشگاه منتقل و تا زمان آزمایش در دمای چهار درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شد. میزان کربن زیست‌توده‌ی میکروبی به روش تدخین - انکوباسیون (Horwath and Paul, 1994) در ۱۰۰ گرم خاک تعیین شد و بر حسب میلی‌گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک گزارش گردید. سایر نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری، نیتروژن کل با روش کج‌دال (AOAC, 2000)، فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن و سامرز (Olsen and Sammers, 1982)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (Klut, 1986) و کربن آلی به روش والکللی بلک (Nelson and Sommers, 1982) اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری کربن آلی، مقدار ماده آلی خاک از حاصل ضرب کربن آلی در عدد ۱/۷۲۴ به دست آمد (Baldock and Skjemstad, 1999). عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش با حذف ردیف‌های کناری و با برداشت ردیف‌های وسط در هر کرت تعیین شد. کارایی مصرف آب به صورت عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) به ازای میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات مرتبط با خاک

درصد نیتروژن خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بیوجار در سطح احتمال پنج درصد بر درصد نیتروژن خاک تاثیر مثبتی داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نیز بیانگر افزایش درصد نیتروژن خاک در تیمارهای ۲۰ و ۱۰ تن در هکتار بیوجار بود. به‌طوری‌که میزان نیتروژن در این دو تیمار به ترتیب ۰/۰۸۹ و ۰/۰۸۵ درصد در مقایسه با ۰/۰۷۶ درصد در شاهد بود (جدول ۴). هیچ‌یک از اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه‌ی تیمارهای مورد مطالعه بر درصد نیتروژن خاک معنی‌دار نبود. گزارش‌های زیادی مبنی بر تاثیر بیوجار

شیمیایی در دو سطح (بدون مصرف کود (F_1) و مصرف کود شیمیایی (F_2)) بود. میزان مصرف کود شیمیایی بر اساس آزمایش‌های خاک ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (P_2O_5)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2SO_4) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (اوره) بود. مراحل آماده‌سازی زمین در دی ماه سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام گرفت. ابعاد کرت‌های آزمایش ۳×۲ متر، فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک متر بود. بیوجار از ضایعات چوب درخت گردو تهیه شد (Mukome et al., 2012). برای این منظور از کوره‌ای که فضای آن کاملاً بسته بود، استفاده شد تا اکسیژن وارد کوره نشود. دمای کوره بین ۴۰۰-۶۵۰ درجه سانتی‌گراد بود (Mukherjee, 2011). تجزیه شیمیایی بیوجار نیز از طریق آزمایش مشخص شد (جدول ۲). بیوجار و کود شیمیایی فسفر و پتاسیم قبل از کاشت با خاک تا عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری مخلوط شد (Pühringer, 2016). سیاهدانه در تاریخ نوزدهم فروردین ماه ۹۵-۱۳۹۴ به‌صورت دستی در عمق دو سانتی‌متری کشت شد. هر کرت شامل هشت ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. گیاهچه‌های سیاهدانه در دو مرحله چهار و هشت برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در مترمربع) با فاصله روی ردیف دو سانتی‌متر تنک شدند. کود نیتروژن در دو مرحله بعد از تنک کردن بوته‌ها (مرحله ده برگی و قبل از شروع رشد زایشی) به کرت‌های مورد نظر اضافه شد. از وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز استفاده شد. نیاز آبی گیاه تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های روزانه‌ی پارامترهای هواشناسی ثبت شده از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید. تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از روش پنمن مونتیث فائو (Khosroshahi, 2013) محاسبه شد. نیاز آبی گیاه سیاهدانه بر اساس حاصل ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی سیاهدانه (K_c) (Ghamarnia et al., 2014) توسط نرم‌افزار آبیاری کراپ وات که یک نرم‌افزار مناسب برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری است و به‌وسیله فائو ارائه شده است، تعیین شد. مقدار نیاز آبی برای تیمار شاهد ۷۴۲/۹ میلی‌متر برآورد شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش آبی) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی (۷۰ و ۴۰ درصد) برآورد و توزیع شد. آبیاری به روش قطره‌ای و به‌صورت هفتگی انجام گرفت و برای اجرای مقدار آب تیمارهای آبیاری از کنتور حجمی استفاده شد. زمان اعمال تیمارهای آبیاری پس از توسعه کامل گیاه و قبل از شروع مرحله زایشی در تاریخ نهم خردادماه ۹۵-۱۳۹۴ بود. دلیل انتخاب این زمان برای اعمال تنش، افزایش نیاز آبی گیاه در این مرحله و همچنین سپری شدن دوره بارندگی بود. به این ترتیب حداکثر صرفه‌جویی در مصرف آب صورت گرفت. برداشت در تاریخ‌های ۴ و ۵ مرداد ماه ۹۵-۱۳۹۴ با زرد شدن برگ‌ها و فولیکول‌ها انجام شد.

نسبت داد. همچنین وجود منافذ زیاد و سطح ویژه بالا در بیوپچار موجب افزایش قدرت تبادل کاتیونی و افزایش عناصر غذایی در تیمارهای حاوی بیوپچار می‌شود (Jemal and Abebe, 2016).

بر افزایش درصد نیتروژن خاک وجود دارد (Nigussie *et al.*, 2012; Njoku *et al.*, 2016; Foster *et al.*, 2016). دلیل افزایش درصد نیتروژن در تیمارهای حاوی بیوپچار را می‌توان به توانایی بالای این ماده در نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی نیتروژن

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the experimental soil

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	درصد اشباع خاک SP (%)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن الی OC (%)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس Available P (mg kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmolc kg ⁻¹)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
7.65	1.9	40.2	0.079	0.837	220	12	8.9	38	41	21	Loam

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوپچار مورد استفاده

Table 2- Physicochemical properties of the biochar used for the experiment

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (μS cm ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	کربن Carbon	نیتروژن کل Total N	فسفر Available P	پتاسیم K	مواد آلی فرار و رطوبت Volatile organic matter & moisture
9.7	200	0.27	45.44	1.27	0.01	0.21	46.95

کامل مشاهده کردند.

درصد فسفر قابل دسترس در خاک

تاثیر بیوپچار بر فسفر قابل دسترس خاک معنی‌دار نبود ولی آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و کود شیمیایی در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد فسفر قابل دسترس خاک تاثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۳). در یک تحقیق بیوپچار بدون استفاده از کود شیمیایی باعث کاهش فسفر خاک شد، این امر به دلیل قلیایی شدن خاک و جذب فسفر توسط بیوپچار عنوان شد (Nelson *et al.*, 2011). ولی محققان دیگری به افزایش فسفر قابل دسترس در تیمارهای حاوی بیوپچار اشاره کردند و دلیل این افزایش را بهبود اسیدیته خاک و در نتیجه کاهش فعالیت یون‌های آلومینیوم و آهن بیان کردند (Dume *et al.*, 2016). عدم تاثیر بیوپچار بر فسفر قابل دسترس در تحقیق حاضر احتمالاً به دلیل جذب سریع فسفر توسط گیاه یا تعادل در فسفر ورودی ناشی از کود شیمیایی با معدنی شدن آن توسط میکروارگانیسم‌های خاک است که این نتایج همسو با گزارش‌های فوستر و همکاران (Foster *et al.*, 2016) بود. اثرات متقابل آبیاری و بیوپچار و آبیاری و کود شیمیایی نیز معنی‌دار بودند (جدول ۳) به‌طوری‌که تیمار I₃B₁ (آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی + بدون مصرف بیوپچار) با داشتن ۱۶ میلی گرم در کیلوگرم، بیشترین فسفر خاک را دارا بود (جدول ۵). اثرات متقابل آبیاری، بیوپچار و کود شیمیایی نیز بیانگر تاثیر بیشتر تیمار I₃B₁F₂ (آبیاری بر اساس ۴۰ درصد نیاز آبی + بدون بیوپچار + مصرف کود شیمیایی) بر درصد فسفر خاک بود (جدول ۵). فوستر و همکاران (Foster *et al.*, 2016) نیز فسفر قابل دسترس بیشتری را در تیمارهای تحت تنش نسبت به تیمار آبیاری

پتاسیم خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بیوپچار بر میزان پتاسیم خاک در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که با افزایش بیوپچار از ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار، میزان پتاسیم خاک از ۱۴۸/۶ تا ۱۷۲/۲ میلی گرم در کیلوگرم افزایش یافت (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری و بیوپچار نیز معنی‌دار بود و بیشترین تاثیر مربوط به تیمار I₁B₃ (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی + مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوپچار) به مقدار ۱۸۶/۷ میلی گرم در کیلوگرم بود (جدول ۵). در آزمایشات مختلف نیز به افزایش پتاسیم خاک با افزایش مقدار بیوپچار اشاره شده است (Dume *et al.*, 2016; Njoku *et al.*, 2016). بیوپچار به دلیل تاثیر بر افزایش قدرت تبادل کاتیونی در افزایش یون‌های خاک از جمله پتاسیم نقش دارد و باعث دسترسی بهتر گیاه به این عناصر می‌شود به‌علاوه بیوپچار به دلیل دارا بودن عناصر غذایی در افزایش این عناصر در خاک موثر است (Pühlinger, 2016).

درصد ماده آلی خاک

بیوپچار بر درصد مواد آلی خاک در سطح احتمال پنج درصد تاثیر معنی‌داری داشت ولی اثر سایر تیمارها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که در اثر افزایش سطوح بیوپچار، درصد ماده آلی خاک افزایش یافت به‌طوری‌که در

و بیوچار معنی‌دار بود و بیشترین کربن زیست‌توده میکروبی مربوط به تیمار I_1B_3 (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی + مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار) به میزان $41/54$ میلی گرم در ۱۰۰ گرم خاک بود. اثرات متقابل آبیاری، بیوچار و کود شیمیایی نیز معنی‌دار بود و بیشترین تأثیر مربوط به تیمار $I_1B_3F_2$ (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی + ۲۰ تن در هکتار بیوچار + مصرف کود شیمیایی) بود (جدول ۵). تأثیر بیوچار بر کربن زیست‌توده میکروبی به دلیل گزارش‌های متفاوت در مقالات هنوز ناشناخته است (Lehmann *et al.*, 2011). این تفاوت‌ها در نتایج با نوع و مقادیر بیوچار مصرفی و نوع خاک مرتبط است. برخی از محققان به افزایش کربن زیست‌توده میکروبی با افزایش مصرف بیوچار اشاره کردند (Demisie and Zhang, 2015) ولی محققان دیگری نیز کاهش کربن زیست‌توده میکروبی را در آزمایش‌های خود عنوان کردند (Dempster *et al.*, 2010). تغییرات در کربن زیست‌توده میکروبی خاک با توانایی بیوچار در بهبود اسیدیته و آب خاک، دسترسی بهتر به عناصر غذایی و جذب ترکیبات سمی مرتبط است به علاوه منافذ بیوچار می‌تواند از شکارشدن میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کرده و به ذخیره‌ی کربن و عناصر معدنی کمک کند (Zhang, 2014).

تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار، ماده آلی $1/392$ درصد و در تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار $1/558$ درصد بود (جدول ۴). محققان دیگری نیز به افزایش میزان کربن آلی و ماده آلی خاک با افزودن بیوچار به خاک اشاره کرده‌اند (Dume *et al.*, 2016). افزایش میزان کربن آلی خاک با افزایش مصرف بیوچار به وجود درصد بالایی از کربن آلی در بیوچار مصرفی مربوط است. با توجه به این که میزان ماده آلی خاک یکی از مولفه‌های مهم حاصلخیزی خاک است، افزودن بیوچار به خاک به دلیل کربن بالای آن می‌تواند منبع بسیار مناسبی برای جبران کمبود کربن و مواد آلی خاک و در نتیجه بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و نیز حفظ سلامت خاک باشد (Fredro, 2013).

کربن زیست‌توده میکروبی

کربن زیست‌توده میکروبی نشانگر حضور فعال میکروارگانیسم‌های مختلف و تجزیه مواد آلی در اکوسیستم‌ها است و در آزادسازی عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک نقش به‌سزایی دارد. در تحقیق حاضر بیوچار بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشت و بیشترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی $38/28$ میلی گرم در ۱۰۰ گرم خاک مربوط به مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار بود (جدول‌های ۳ و ۴). در بین اثرات متقابل دوگانه، اثر متقابل آبیاری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر برخی خصوصیات خاک

Table 3- Analysis of variance (mean square) for the effect of studied treatments on some properties of experimental soil

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	نیترژن کل Total nitrogen	فسفر قابل دسترس Available phosphorus	پتاسیم Potassium	مواد آلی خاک Soil organic matter	کربن زیست‌توده میکروبی Microbial biomass carbon
بلوک Block	2	0.0051 ^{ns}	0.891 ^{ns}	3292.1 ^{ns}	1.518 ^{ns}	35.29 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	0.0000 ^{ns}	8.25 ^{ns}	1357.4 ^{ns}	0.003 ^{ns}	38.76 ^{ns}
کرتهای اصلی خطای Main plot error	4	0.0003	2.3	435.8	0.108	30.95
بیوچار Biochar (B)	2	0.0007*	1.91 ^{ns}	4317.1**	0.253*	49.74*
بیوچار × آبیاری Irrigation × Biochar	4	0.0001 ^{ns}	25.44**	1762.9*	0.052 ^{ns}	67.74*
کود شیمیایی Fertilizer (F)	1	0.0003 ^{ns}	78.48**	185.1 ^{ns}	0.123 ^{ns}	67.84 ^{ns}
آبیاری × کود شیمیایی Irrigation × Fertilizer	2	0.0001 ^{ns}	8.76*	179.6 ^{ns}	0.067 ^{ns}	14.7 ^{ns}
بیوچار × کود شیمیایی Biochar × Fertilizer	2	0.00006 ^{ns}	4.43 ^{ns}	311.5 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.021 ^{ns}
آبیاری × بیوچار × کود شیمیایی Irrigation × Biochar × Fertilizer	4	0.00036 ^{ns}	14.37**	918.5 ^{ns}	0.128 ^{ns}	124.7**
خطای کرت های فرعی Sub plot error	30	0.0002	2.08	685.7	0.065	18.92
ضرب تغییرات C.V. (%)	-	19.2	10.4	16.9	17.9	11.8

ns, ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, ** and * are significant at $p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده بیوچار بر خصوصیات خاک

Table 4- Means comparison for biochar effects on soil properties

فاکتور Factor	سطوح Levels	نیترژن کل Total Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg kg ⁻¹)	مواد آلی خاک Soil organic matter (%)	کربن زیست توده میکروبی Microbial biomass carbonic (mgc100g soil ⁻¹)
بیوچار Biochar (t ha ⁻¹)	0 (B ₁)	0.076b	143.1b	1.329b	36.87ab
	10 (B ₂)	0.085ab	148.6b	1.392ab	34.96b
	20 (B ₃)	0.089a	172.2a	1.558a	38.28a

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column of each experimental factor, same letters had not significant differences in Duncan's multiple range at p<0.05

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه آبیاری×بیوچار و اثرات سه‌گانه آبیاری×بیوچار× کودشیمیایی بر خصوصیات خاک

Table 5-Mean comparison of interaction effects for irrigation× biochar and irrigation× biochar × fertilizer on soil properties

تیمار Treatment	فسفر قابل دسترس Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	پتاسیم Potassium (mg kg ⁻¹)	کربن زیست توده میکروبی Microbial biomass carbonic (mgc100g soil ⁻¹)
I ₁ B ₁	13.53c	148.3bcd	34.15cd
I ₁ B ₂	15.5ab	156.7abc	35.62bcd
I ₁ B ₃	14.17bc	186.7a	41.54a
I ₂ B ₁	11.12d	119.2d	39.57ab
I ₂ B ₂	12.7cd	144.2cd	38.25abc
I ₂ B ₃	15.4ab	176.7ab	35.99bcd
I ₃ B ₁	16a	161.7abc	36.89abc
I ₃ B ₂	12.93c	145cd	31.03d
I ₃ B ₃	12.97c	153.3bc	37.32abc
I ₁ B ₁ F ₁	14.2 cdef		35.9bcdefg
I ₁ B ₁ F ₂	12.8defg		32.3efgh
I ₁ B ₂ F ₁	14.6cde		40abcd
I ₁ B ₂ F ₂	16.4bc		31.1fgh
I ₁ B ₃ F ₁	13.2 defg		37.1bcdefg
I ₁ B ₃ F ₂	15.1cd		45.9a
I ₂ B ₁ F ₁	10h		41.1abc
I ₂ B ₁ F ₂	12.1fgh		37.9bcdef
I ₂ B ₂ F ₁	11.7gh		37.5bcdefg
I ₂ B ₂ F ₂	13.6defg		39abcde
I ₂ B ₃ F ₁	12.6efg		41.6ab
I ₂ B ₃ F ₂	18.2ab		30.35gh
I ₃ B ₁ F ₁	12.2efgh		33defgh
I ₃ B ₁ F ₂	19.7a		40.7abc
I ₃ B ₂ F ₁	12.8defg		34.2cdefgh
I ₃ B ₂ F ₂	13defg		27.7h
I ₃ B ₃ F ₁	11.9fgh		39.7abcd
I ₃ B ₃ F ₂	14cdefg		34.9bcdefgh

I₁, I₂ and I₃: 100, 70, 40% water requirement, respectively;B₁, B₂, B₃: 0, 10, 20 t ha⁻¹ biochar, respectively; F₁ and F₂: non-using chemical fertilizer, using chemical fertilizer, respectively

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند

In a column of each experimental factor, same letters had no significant differences in Duncan's multiple range test at p<0.05

صفات مرتبط با گیاه

عملکرد دانه

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشانگر تاثیر معنی‌دار آبیاری بر عملکرد دانه بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات ساده بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی با تیمار ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی بر عملکرد دانه بود (جدول ۷). تنش آبیاری با تاثیر بر کاهش رشد رویشی و زایشی در گیاه، افت عملکرد را در پی دارد (Shabanzadeh et al., 2011). در بین اثرات متقابل دوگانه، اثر متقابل کود و بیوپار بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و بیشترین مقدار مربوط به تیمار B_3F_2 (۲۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) و B_2F_2 (۱۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) به ترتیب برابر ۱۲۲۷ و ۱۱۸۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول‌های ۶ و ۸). این نتایج نشان داد که کاربرد بیوپار به همراه کود شیمیایی اثرات بهتری نسبت به مصرف هر یک از این دو ماده به تنهایی داشت. مطالعات مختلفی بیانگر تاثیر مضاعف بیوپار در ترکیب با کودهای آلی و معدنی بوده است که این امر با توانایی در جذب و نگهداری عناصر غذایی و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی مرتبط می‌باشد (Arif et al., 2012; Chaudhry et al., 2016; Gokila and Baskar, 2015). اثرات سه‌گانه کود، بیوپار و آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۹). در بین اثرات متقابل سه‌گانه، تیمار $I_2B_2F_2$ (آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) و تیمار $I_2B_3F_2$ (آبیاری بر اساس ۷۰ درصد نیاز آبی + ۲۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) به ترتیب با مقدار ۱۳۵۶ و ۱۳۲۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند. بالا بودن عملکرد در این دو تیمار نشانگر تاثیر بیوپار در کاهش میزان آب مصرفی است. به این ترتیب می‌توان با استفاده از بیوپار به جای ۱۰۰ درصد آبیاری از ۷۰ درصد آب مورد نیاز برای کشت سیاه‌دانه استفاده کرد. با کاربرد بیوپار به دلیل منافذ زیاد، سطح ویژه بالای آن، افزایش جذب عناصر غذایی و قدرت نگهداری آب بالا، موجبات عملکرد بیشتر گیاه فراهم گردید. به عبارت دیگر بیوپار در گیاهان تحت تنش ملایم، عملکرد دانه را به ازای مقدار آب مصرف شده بیشتر از تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد افزایش داد. در یک تحقیق، بیشترین تاثیر بر عملکرد دانه در لوبیای بالدار (*Vigna radiate*) در مصرف ۲۵ تن در هکتار بیوپار در مقایسه با مصرف ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار بیوپار مشاهده گردید (Rub et al., 2016). فوستر و همکاران (Foster et al., 2016) در آزمایش‌های خود به کاهش عملکرد ذرت (*Zea mays*) در تیمار بیوپار به همراه تنش آب اشاره کردند در حالی که بیوپار در تیمار آبیاری کامل باعث افزایش عملکرد شد.

عملکرد کاه و کلش

اثر ساده تیمار کود شیمیایی، اثر متقابل آبیاری و کود و اثرات متقابل سه‌گانه آبیاری، کود و بیوپار بر عملکرد کاه و کلش معنی‌دار بود ولی اثر ساده آبیاری و بیوپار بر عملکرد کاه و کلش تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶). عدم تاثیر معنی‌دار بیوپار بر زیست‌توده گیاهی در آزمایش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Schulz, et al., 2014). بیشترین عملکرد کاه و کلش در اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی مربوط به تیمارهای I_2F_2 (۷۰ درصد نیاز آبی + مصرف کود شیمیایی) و I_1F_2 (۱۰۰ درصد نیاز آبی + مصرف کود شیمیایی) به ترتیب ۴۰۴۴ و ۳۷۲۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۸). اثرات متقابل سه تیمار نشان‌دهنده تاثیر بالاتر تیمارهای $I_2B_2F_2$ (۷۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) بر عملکرد کاه و کلش بود (۴۴۲۰ کیلوگرم بر هکتار) (جدول ۹). بنابراین می‌توان اظهار داشت که استفاده از کود شیمیایی و بیوپار به همراه آبیاری مناسب، باعث فراهم شدن آب و مواد غذایی و در نتیجه رشد بهینه گیاه گردیده است. ابراهیم و همکاران (Ibrahim, et al., 2015) به افزایش بیشتر عملکرد کاه و کلش در تیمارهای حاوی بیوپار و آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با تیمارهای بدون بیوپار و ۱۰۰ درصد آبیاری اشاره کردند. در آزمایشی بر روی گیاه ذرت بالاترین عملکرد کاه و کلش در تیمار بیوپار به همراه کود شیمیایی مشاهده شد. استفاده همزمان بیوپار با کود شیمیایی باعث جذب نیتروژن توسط بیوپار و آزادسازی آهسته آن شده و ارتباط بین منبع و مخزن تقویت می‌شود که نتیجه آن افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه است. در مقابل کاربرد نیتروژن معدنی به تنهایی، به دلیل آبشویی آن به طور سریع‌تری از دسترس گیاه خارج می‌شود (Gokila and Baskar, 2015).

کارایی مصرف آب (بر اساس عملکرد دانه)

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تیمارها تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت ولی اثر متقابل بیوپار و کود شیمیایی و اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، بیوپار و کود معنی‌دار بود (جدول ۶). در بین تیمارهای مربوط به اثرات متقابل بیوپار و کود، تیمار B_3F_2 (۲۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) و B_2F_2 (۱۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) نیز بیشترین مقدار کارایی مصرف آب را داشتند (جدول ۸). مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که تیمارهای $I_3B_3F_2$ (۴۰ درصد نیاز آبی + ۲۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) و $I_2B_2F_2$ (۷۰ درصد نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوپار + مصرف کود شیمیایی) بیشترین کارایی مصرف آب را داشتند (به ترتیب ۰/۲۸۴ و ۰/۲۷۲ کیلوگرم در متر مکعب) (جدول ۹). افزایش کارایی مصرف آب با بالا بودن عملکرد و

گیاهان تحت تنش تیمار شده با بیوچار به دلیل افزایش کارایی مصرف آب و محتوای نسبی آب در این تیمارها افزایش یافت. در تحقیقی دیگر استفاده از مخلوط بیوچار و کمپوست بیشترین افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد را موجب شد (Abubakari *et al.*, 2015).

همچنین کاهش میزان آب مصرفی در این تیمارها مرتبط است. افزایش کارایی مصرف آب با کاربرد بیوچار در آزمایش‌های دیگر نیز گزارش شده است. اختر و همکاران (Akhtar *et al.*, 2014) گزارش کردند که در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) کاربرد بیوچار باعث مقاومت این گیاه به تنش خشکی گردید و عملکرد

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و کارایی مصرف آب در گیاه سیاه‌دانه

Table 6- The analysis of variance (mean square) for the effect of studied treatments on seed yield, straw yield and water use efficiency in black seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد کاه و کلش Straw yield	کارایی مصرف آب WUE
بلوک Block	2	338414.05 ^{ns}	4908604.05 ^{ns}	0.051 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	2	678718.6 *	4387008.56 ^{ns}	0.002 ^{ns}
خطای کرت‌های اصلی Main plot error	4	66526.7	1136303.54	0.017
بیوچار Biochar (B)	2	18891.2 ^{ns}	124676.87 ^{ns}	0.001 ^{ns}
آبیاری × بیوچار Irrigation × Biochar	4	30726.2 ^{ns}	238939.54 ^{ns}	0.002 ^{ns}
کودشیمیایی Fertilizer (F)	1	101375.7 ^{ns}	16534020.6 ^{**}	0.004 ^{ns}
آبیاری × کودشیمیایی Irrigation × Fertilizer	2	41023.2 ^{ns}	675786.42*	0.001 ^{ns}
بیوچار × کودشیمیایی Biochar × Fertilizer	2	168023.7 ^{**}	20575.56 ^{ns}	0.008 ^{**}
آبیاری × بیوچار × کودشیمیایی Irrigation × Biochar × Fertilizer	4	79246.9*	620880.02*	0.005 ^{**}
خطای کرت‌های فرعی Sub plot error	30	26548.1	246939.3	0.001
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	15.0	16.7	15.1

ns, ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, ** and * are significant at $p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر ساده تیمار آبیاری بر عملکرد دانه در گیاه سیاه‌دانه

Table 7- Means comparison for the effect irrigation on seed yield in black seed

فاکتور Factor	سطوح Levels	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
آبیاری	100 (I ₁)	1239.3a
Irrigation (I)	70 (I ₂)	1157.9a
(%)	40 (I ₃)	814.2b

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In a column of each experimental factor, same letters had not significant differences in Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه آبیاری× کودشیمیایی و بیوجار× کودشیمیایی بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و کارایی مصرف آب در گیاه سیاه‌دانه

Table 8- Mean comparison of interaction effects for irrigation× fertilizer and biochar× fertilizer on yield, straw yield and water use efficiency in black seed

فاکتور Factor	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد کاه و کلش Straw yield (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب WUE(kg m ⁻³)
I ₁ F ₁		2747b	
I ₁ F ₂		3725a	
I ₂ F ₁		2502b	
I ₂ F ₂		4044a	
I ₃ F ₁		2000c	
I ₃ F ₂		2800b	
B ₁ F ₁	1117abc		0.233abc
B ₁ F ₂	986.3c		0.203c
B ₂ F ₁	1033bc		0.213bc
B ₂ F ₂	1184ab		0.243ab
B ₃ F ₁	987.4c		0.203c
B ₃ F ₂	1227a		0.253a

I₁, I₂ and I₃: 100, 70, 40% water requirement, respectively; B₁, B₂, B₃: 0, 10, 20 t ha⁻¹ biochar, respectively; F₁ and F₂: Non-using chemical fertilizer, using chemical fertilizer, respectively

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In a column of each experimental factor, same letters had not significant differences in Duncan's multiple range test at p<0.05.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه آبیاری، کودشیمیایی و بیوجار بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و کارایی مصرف آب در گیاه سیاه‌دانه

Table 9- Mean comparison of interaction effects for irrigation x fertilizer x biochar on yield, straw yield and water use efficiency

فاکتور Factor	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد کاه و کلش Straw yield (kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب WUE (kg m ⁻³)
I ₁ B ₁ F ₁	1278ab	2747efgh	0.239abcd
I ₁ B ₁ F ₂	1289ab	3327bcde	0.246abcd
I ₁ B ₂ F ₁	1140abcdef	2773efgh	0.207de
I ₁ B ₂ F ₂	1314ab	3874abc	0.24abcd
I ₁ B ₃ F ₁	1232abc	2720efghi	0.234abcd
I ₁ B ₃ F ₂	1182abcd	3973ab	0.213cde
I ₂ B ₁ F ₁	1131abcdef	2400fghi	0.228bcd
I ₂ B ₁ F ₂	1087abcdef	4053ab	0.218cde
I ₂ B ₂ F ₁	1052bcdef	2273ghi	0.212cde
I ₂ B ₂ F ₂	1356a	4420a	0.272ab
I ₂ B ₃ F ₁	996.7cdefg	2833defgh	0.202de
I ₂ B ₃ F ₂	1325a	3660abcd	0.262abc
I ₃ B ₁ F ₁	941.2defg	1893i	0.23bcd
I ₃ B ₁ F ₂	583.7h	3080cdefg	0.146f
I ₃ B ₂ F ₁	906.3efg	2007hi	0.222bcd
I ₃ B ₂ F ₂	880.7fg	2213hi	0.218cde
I ₃ B ₃ F ₁	733.1gh	2100hi	0.173ef
I ₃ B ₃ F ₂	1174abcde	3107cdef	0.284a

I₁, I₂ and I₃: 100, 70, 40% water requirement, respectively; B₁, B₂, B₃: 0, 10, 20 t ha⁻¹ biochar, respectively; F₁ and F₂: non-using chemical fertilizer, using chemical fertilizer, respectively

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, same letters had not significant differences in Duncan's multiple range test at p<0.05.

نتیجه گیری

داده می شود که از هدررفت و آبشویی نیترات جلوگیری کرده و به دستیابی بهتر گیاه برای عناصر غذایی کمک می کند. بیوپچار در شرایط کم آبیاری به دلیل داشتن منافذ زیاد و توانایی نگهداری آب بالا، باعث افزایش کارایی مصرف آب در گیاه شد. این امر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک میزان آب مصرفی را کاهش داده و به ازای آب مصرفی، عملکرد بیشتر از گیاهان تحت تنش بدون بیوپچار افزایش می یابد. نتایج آزمایش نشان داد که با مصرف بیوپچار می توان به جای آبیاری ۱۰۰ درصد از ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه برای حصول همان میزان عملکرد استفاده کرده به این ترتیب می توان در میزان آب مصرفی صرفه جویی کرد.

بیوپچار با تاثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بهبود اسیدیته خاک، بهبود عناصر غذایی خاک، افزایش قدرت نگهداری عناصر غذایی و ایجاد شرایط مناسب برای میکروارگانیسم های خاک می تواند بر رشد رویشی و زایشی سیاه دانه تاثیر مثبت داشته باشد. اگرچه تاثیر مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوپچار بر خصوصیات خاک بیشتر از ۱۰ تن در هکتار بیوپچار بود ولی تفاوت معنی داری بر صفات مرتبط با سیاه دانه بین این دو تیمار مشاهده نشد. مصرف بیوپچار به همراه کود شیمیایی اثرات بهتری را بر عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش نسبت به مصرف بیوپچار یا کود شیمیایی به تنهایی داشت. این امر به منافذ و سطح ویژه بیشتر در بیوپچار نسبت

References

1. Abubakari, A. H., Bayor, H., Takyi, I., Chimsah, F. A., Nyarko, G., Atuah, L., and Banful, B. 2016. Effect of compost-biochar mixes and irrigation on the growth and yield of *Amaranthus* (*Amaranthus hybridus*) under two growing temperatures. *African Journal of Agricultural Research* 11 (25): 2257-2265.
2. Akhondian, J., Parsa, A., and Rakhshandeh, H. 2007. The effect of *Nigella sativa* (black cumin seed) on intractable pediatric seizures. *Medical of Science Monit* 13: 555-559.
3. Akhtar, S. S., Andersen, M. N., and Liu, F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agriculture of Water Management* 138: 37-44.
4. Arif, M., Asad, A., Umair, M., Munsif, F., Kawsar, A., Inamullah, M., Saleem, M., and Gohar, A. 2012. Effect of biochar, FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture* 28 (2): 191-195.
5. Aslam, Z., Khalid, M., and Aon, M. 2014. Impact of biochar on soil physical properties. *Scholarly Journal of Agricultural Science* 4 (5): 280-284.
6. A.O.A.C. 2000. Association of Official Agricultural Chemists, Official and Tentative Methods of Analysis, 2nd ed., Washington, DC, USA.
7. Azeem, M., Hayat, R., Hussain, Q., Ahmed, M., Imran, M., and Crowley, D. 2016. Effect of biochar amendment on soil microbial biomass, abundance, and enzyme activity in the mash bean field. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 8: 1-13.
8. Baldock, J. A., and Skjemstad, J. O. 1999. Soil Organic Carbon/Soil Organic Matter. CSIRO Publishing, Melbourne.
9. Berek, A. K., Hue, N., and Ahmad, A. 2011. Beneficial use of biochar to correct soil acidity. The Food Provider. Available at Website [http:// www.ctahr.hawaii.edu/huen/nvh/biochar](http://www.ctahr.hawaii.edu/huen/nvh/biochar).
10. Boskabady, M. H., Javan, H., Sajady, M. and Rakhshandeh H. 2007. The possible prophylactic effect of *Nigella sativa* seed extract in asthmatic patients. *Fundamental and Clinical Pharmacology* 21: 559-566.
11. Choudhary, N., and Singh Sekhon, B. 2011. An overview of advances in the standardization of herbal drugs. *Journal of Pharmacy Education Research* 2 (2): 55-70.
12. Chaudhry, U. K., Shahzad, S., Naqqash Abdul Saboor, M. N., Yaqoob, S., Salim, M., and Khalid, M. 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Peer Journal Pre Prints*. Available at Web site <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1631v1>.
13. Demisie, W., and Zhang, M. 2015. Effect of biochar application on microbial biomass and enzymatic activities in degraded red soil. *African Journal of Agricultural Research* 10: 755-766.
14. Dempster, D. N., Gleeson, D., B., Solaiman, Z. M., Jones, D. L., and Murphy, D. V. 2010. Biochar addition to soil changed microbial community structure and decreased microbial biomass carbon and net inorganic nitrogen mineralized. In 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia.
15. Dume, B., Mosissa, T., and Nebiyu, A. 2016. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology* 10:77-85.
16. Foster, E. J., Neil Hansenc, B., Matt Wallenstein, B. D., and Cotrufoa, F. 2016. Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 233:404-414.

17. Freddo, A. 2013. Biochar: for better or for worse? Ph.D. dissertation, University of East Anglia School of Environmental Science.
18. Ghamarnia, H., Miri, E., and Ghobadei, M. 2014. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (*Nigella sativa* L.) in a semi-arid climate. *Irrigation Science* 32 (1):67-76.
19. Gokila, B., and Baskar, K. 2015. Influence of biochar as soil amendment on yield and quality of maize. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 5:152-155.
20. Haider, G. 2016. Biochar as a Beneficial Soil Amendment in Sandy Soils. Ph.D. thesis. Department of Plant Ecology, Faculty of Biology and Chemistry Justus-Liebig-University Giessen, Germany.
21. Horwath, W. R., and Paul, E. A. 1994. Microbial biomass. In: DR Buxton (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. ASA and SSSA. Madison, WI.
22. Ibrahim, O. M., Bakry, A. B., El Kramany, M. F., and Elewa, T. A. 2015. Evaluating the role of biochar application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. *Global Journal of Advanced Research* 2 (2): 411-418.
23. Jemal, K., and Abebe, A. 2016. Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 4 (2): 149-157.
24. Khosroshahi, M., 2013. Estimating water requirement of *Prosopis juliflora* at different habitats of Persian Gulf - Aman Sea region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 21 (2): 300-315.
25. Klut, A. 1986. *Method of Soil Analysis: Physical, Chemical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA, 432-449.
26. Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota: A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1812-1836.
27. Mukherjee, A., Lal, R., and Zimmerman, A. R. 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment* 487: 26-36.
28. Mukherjee, A. 2011. *Physical and Chemical Properties of a Range of Laboratory-Produced Fresh and Aged Biochars*. Doctoral Dissertation, Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida.
29. Mukome, F. N. D., Six, J., and Parikh, S. J. 2012. The effects of walnut shell and wood feedstock biochar amendments on greenhouse gas emissions from a fertile soil. *Geoderma* 200(201):90-98.
30. Nelson, N. O., Agudelo, S. C., Yuan, W., and Gan, J. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science* 176, 1. doi:http://dx.doi.org/ 10.1097/SS.0b013e3182171eac.
31. Nelson, B. W., and Sommers L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page A.L, Miller R.H and Keeney D.R (eds). *Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties*. The American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 539-577.
32. Nigussie, A., Endalkachew Kissi, E., Misganaw, M., and Ambaw, G. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science* 12 (3): 369-376.
33. Njoku, C., Uguru, B. N., and Chibuike, C. C. 2016. Use of biochar to improve selected soil chemical properties, carbon storage and maize yield in an Ultisol in Abakaliki Ebonyi State, Nigeria. *International Journal of Environmental and Agriculture Research* 2: 15-22.
34. Olsen, S. R. and Sammers, L. E. 1982. Phosphorous. In: Page A.L, Miller R. Hand Keeney D.R (eds). *Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties*. The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 403-427.
35. Pühringer, H. 2016. Effects of different biochar application rates on soil fertility and soil water retention in on-farm experiments on smallholder farms in Kenya. Master's thesis, Independent Project in Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Swedish University of Agricultural Sciences.
36. Rab, A., Rabnawaz Khan, M., Ul Haq, S., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M.Z., Arif, M., and Munsif, F. 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. *Pure and Applied Biology* 5(3): 632-640.
37. Schouten, S. 2010. Biochar for sustainable agricultural development. A critical review of biochar for carbon management and the improvement of agricultural production systems. Institute of Environmental Sciences, Leiden.
38. Schulz, H., Dunst, G., and Glaser, B. 2014. No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil properties in a greenhouse experiment. *Agronomy* 4: 34-51.
39. Shabanzadeh, Sh., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2011. Influence of micronutrients foliar application on seed yield and quality traits of black cumin in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 1 (2):79-89.
40. Sika, M. P. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree Master of Science in Agriculture. University of Stellenbosch. ISSN 1818-6769.

41. Teat, L. 2014. Yield and physiological responses of the bioenergy crop miscanthus $\times$ giganteus to fertilizer, biochar and drought. Partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Graduate School at Appalachian State University.
42. Widowati, W. H. 2012. The effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of Maize (*Zea mays*) in green house experiment. Journal of Agricultural Science 4 (5): 256-262.
43. Zhang, H. 2014. Biochar Effects on Soil Microbial Biomass and Activity. Ph.D. dissertation, The University of Guelph, Canada.



Effects of Biochar on Soil Fertility and Water Use Efficiency of Black Seed (*Nigella sativa* L.) under Water Stress Conditions

F. Abbaspour¹, H. R. Asghari^{2*}, P. Rezvani Moghaddam³, H. Abbasdokht⁴, J. Shabahang⁵, A. Baig Babaei⁶

Received: 18-03-2017

Accepted: 07-04-2018

Introduction: Application of chemical fertilizers since green revolution, make the crop production doubled or even tripled in some crops. However, long-term overuse of these fertilizers decreased soil quality. Thus to obtain the same yield, the rate of inorganic fertilizer application steadily increases from year to year. Recent studies revealed that in order to increase the chemical fertilizer efficiency, it needed to integrate organic resources with chemical fertilizers to soil. However, using organic manure in the soil will be decomposed very rapidly. Biochar is a source of high organic carbon which highly resistant to decomposition. It has a porous quality and large surface area which reduces leaching of nutrients. Biochar addition to soils can change microbial biomass, adsorb toxic compounds and improved soil water and pH status. The internal porosity of biochars may help soil microorganisms avoid grazers. Globally demands for plant-based medicines are growing. Black seed (*Nigella sativa* L.) is annual plant to Ranunculaceae family, is grown in arid and semi-arid regions of the world. Black seed considered as a spice, medicinal plant and used as seasoning in cooking and foodstuffs. Recently, there has been an increasing interest in integrated approaches in improving crop production to resist conditions of nutrient-poor soil, drought, and salinization. Since, a few attempt has been made to investigate the effects of biochar amendment on medicinal plants in semi-arid agricultural systems, the present study was initiated in agro ecological condition of Mashhad.

Materials and Methods: A field experiment was conducted as split plots factorial layout based on a randomized complete block design with three factors and three replications at the Research Station, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran during growing season of 2016. Three levels of irrigation (100, 70, and 40 percent of water irrigation requirement) were assigned as main plots and the combination of three levels of biochar (0, 10, and 20 ton ha⁻¹) and two levels of chemical fertilizers (without and with chemical fertilizer) were allocated as sub plots. Recommended dose for nitrogen, phosphorus, and potassium was 150 kg ha⁻¹, 75 kg ha⁻¹ and 100 kg ha⁻¹, respectively. The size of each experimental unit was 3×2 m². Black seed thinning was performed after emergence to get a plant population density of 200 plants m⁻². Post experimental soil which was amended with biochar and fertilizer were analyzed for total nitrogen, available phosphorus, potassium, soil organic matter, and microbial biomass carbon. Plant criteria which studied were such as grain yield (kg ha⁻¹), straw yield (kg.ha⁻¹) and water use efficiency (base of grain yield). Analysis of Variance (ANOVA) and Duncan multiple range test were used to compare the recoded data.

Results and Discussion: Soil N, K, SOM, and Microbial biomass carbon were significantly affected by biochar application. Phosphorus was not affected by biochar. The highest biochar effect on soil characteristics was found under 20 ton ha⁻¹ biochar application treatment. The results showed that application of 10 and 20 ton ha⁻¹ of biochar improved soil nitrogen compared with control treatment. Soil organic matter was increased by 1.56% compared with 1.33% in control when 20 ton ha⁻¹ biochar was used. It has been reported that the biochar may increase the organic matter of the poor soils. The soil microbial biomass carbon was increased by biochar and fertilizer application. It seems that the reason for increasing soil microbial biomass by adding biochar to the soil is enhancing available soil nutrients, adsorption of toxic compounds and improved soil water and pH status. The internal porosity of biochars may help soil microorganisms avoid grazers. Combine use of fertilizer and

1- Ph.D. student of Agro ecology, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology

2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology

3- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology

5- Assistant professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

6- Assistant professor, Research Institute of Food Science and Technology

(*- Corresponding Author Email: hamidasghari@gmail.com)

biochar were more affected on plants growth than biochar or fertilizer alone. The interaction between biochar, chemical fertilizer and water requirements significantly affected the seed and straw yield. The significant increase of grain yield, straw yield observed in $I_2B_2F_2$ (70% water requirement+10 ton ha^{-1} biochar+ with chemical fertilizer) and $I_2B_3F_2$ (70% water requirement+20 t. ha^{-1} biochar+ with chemical fertilizer) treatments. Biochar significantly increased water use efficiency which shows that under water deficiency, biochar can increase the uptake of water and nutrients. As a result, plants tolerance against water deficiency increase and more yields will be produced for a specific value of water. This means the water use efficiency can increase and the use of water will decrease.

Conclusions: This study confirmed that biochar application can help in increasing of black seed production through the improving some physical and chemical properties of the soil such as soil pH, soil nutrient availability, soil nutrient holding capacity, and soil microorganism conditions. Although the application of 20 ton ha^{-1} biochar improved soil properties compared with 10 ton ha^{-1} , the difference was not significant. Application of biochar with chemical fertilizers had better effects on seed and straw yield, compared with solely application of biochar and chemical fertilizers. It may belong to the biochar ability to decrease nitrate and other elements leaching due to its high porosity and high water retention capacity which increased water use efficiency in the plant. This is important in particular, in arid and semi-arid areas, where reduces the amount of water consumed and increases water yields for plants that are under water stress. The seed production of black seed was not affected by reducing water requirements up to 70 % of its total water requirements when biochar was applied. This means that, by using the biochar in soil, only 70% water irrigation required. These results may use for water saving in agriculture in arid and semi-arid conditions.

Keywords: Chemical fertilizer, Seed yield, Soil microbial biomass carbon, Soil organic matter



بررسی خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر بهبود عملکرد ارقام کلزا

عباس فروغی آینه ده^{۱*}، عباس بیابانی^۲، علی راحمی کاریزکی^۳، قربانعلی رسام^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷

چکیده

به منظور مطالعه تغییرات خصوصیات فیزیولوژیک ارقام و لاین‌های کلزا و اثرات این تغییرات بر بهبود پتانسیل عملکرد، آزمایشی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مجتمع آموزش عالی شیروان، خراسان شمالی انجام شد. در این آزمایش ۲۰ رقم و لاین کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار آزمایش شدند. به منظور بررسی شاخص‌های رشد، ارقام بر اساس تجزیه کلاستر به سه گروه با عملکرد بالا (Bilbao)، متوسط (کرج ۳) و پایین (ساری گل) تقسیم شدند و از هر گروه یک نماینده انتخاب شد. ارقام از لحاظ خصوصیات فیزیولوژیک متنوع بودند به طوری که ارقامی نظیر ساری گل، طلایه، شیرالی، ظفر و زرقام زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. همبستگی مثبت و معنی‌دار دوام گل‌دهی با عملکرد ($r=0.66^{**}$) و تعداد خورجین در بوته ($r=0.88^{**}$) از اهمیت این دوره در تعیین عملکرد دانه دارد. از نظر شاخص سطح برگ، رقم Bilbao نسبت به دو رقم کرج ۳ و ساری گل برتری داشت. همچنین رقم ساری گل زودتر از دو رقم دیگر به حداکثر شاخص سطح برگ رسید. همبستگی قوی بین حداکثر تجمع ماده‌ی خشک و عملکرد دانه وجود داشت ($r=0.81^{**}$). شاخص‌های رشد از جمله CGR و RGR در سال اول به طور معنی‌داری از سال دوم بیش‌تر بودند. مقدار ضریب خاموشی (K) در سال اول از ۰/۶۵ (شیرالی) تا ۰/۷۷ (ظفر و ساری گل) و در سال دوم از ۰/۶۳ (کرج ۳) تا ۰/۸۰ (ظفر) متغیر بود. متوسط کارایی مصرف نور به ترتیب در دو سال آزمایش ۳/۸۰ و ۳/۶۳ گرم بر مگاژول در متر مربع برآورد گردید. به طور کلی عملکرد دانه در سال اول بیش‌تر از سال دوم انجام آزمایش بود. میانگین عملکرد ارقام در سال اول ۴۵۳/۸۰ گرم در متر مربع و در سال دوم ۴۰۱/۸۴ گرم در متر مربع بود. بیش‌ترین عملکرد در سال نخست انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، Kodiak، SW102، GKH-305 و Traviata با میانگین عملکرد ۴۹۵/۵۵ گرم در متر مربع و کم‌ترین عملکرد متعلق به ارقام زرقام، ساری گل، طلایه، شیرالی و Modena با میانگین عملکرد ۳۷۰/۴۸ گرم در متر مربع بود. بیش‌ترین عملکرد در سال دوم انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، GKH-305، SW102، L72، Kodiak و Traviata با میانگین عملکرد ۴۵۰/۳۱ گرم در متر مربع و کم‌ترین میزان عملکرد متعلق به ارقام طلایه، Opera، کرج ۳، Okapi، Modena، GKH-2005 و کرج ۱ با میانگین عملکرد ۳۴۹/۶۶ گرم در متر مربع بود. به طور کلی ارقامی که شاخص سطح برگ بالاتری داشتند و نیز زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر، هم‌زمان با تشعشع دریافتی بیش‌تر بود و همچنین از تشعشع دریافتی با کارایی بالاتر بهره‌مند شدند، عملکرد بالاتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فنولوژی، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی، کارایی مصرف نور

مقدمه

کاهش واردات روغن نباتی نیز سهم فراوانی برای آن در نظر گرفته شده است. این محصول در بین دانه‌های روغنی جهان بیش‌ترین رشد را در دهه‌های اخیر داشته و امروزه مقام سوم را پس از سویا و نخل روغنی در فراورده‌های روغن نباتی احراز کرده است (Berry, 2006). کلزا گیاهی است روغنی و یک‌ساله از تیره شب‌بوئیان که به صورت بوته‌ای استوار با انشعابات محدود و ارتفاع متوسط تا بلند رشد می‌کند. طول دوره رشد در ارقام زودرس و کشت بهاره ۹۰ تا ۱۵۰ روز و در کشت پاییزه از ۲۰۰ تا ۳۲۰ روز می‌رسد. گیاه کلزا در سال‌های اخیر به دلیل ویژگی‌های زراعی مناسب (جایگاه ویژه این گیاه در تناوب با گندم)، درصد روغن بالا و کیفیت مطلوب آن مورد توجه قرار گرفته و امید می‌رود که با توسعه کشت آن در کنار سایر محصولات روغنی تا حدودی از وابستگی کشور به روغن وارداتی کاسته شود (Rodi, 2003). عملکرد کلزا در سال ۲۰۰۳ میلادی در جهان و ایران

کلزا (*Brassica napus* L.) از دانه‌های ارزشمند روغنی است که در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و در طرح

۱- دانشجوی سابق فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۲- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۳- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۴- دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی شیروان، شیروان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: abbasfrooghi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.63733

تابش نور خورشید در طول فصل رویشی است. در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که با پوشش یکنواخت و کامل حداکثر جذب نوری را فراهم آورد (Ouzuni Douji et al., 2008). از بین خصوصیات وابسته به رشد، میزان ماده خشک به دلیل اهمیت اقتصادی بیشتر به عنوان یک عامل تعیین کننده محسوب می شود. مطالعه رشد و تجمع ماده خشک در گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که تولید ماده خشک به شاخص سطح برگ و مقدار تشعشع دریافت شده در طول دوره رشد (Yano et al., 2007) و کارایی گیاه در تبدیل تشعشع دریافت شده وابسته است. (Sinclair and Muchow, 1999). شاخص سطح برگ یکی از مهم ترین پارامترهایی است که برای مطالعه رشد و همانندسازی و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و اکولوژیک از جمله فتوسنتز، تعرق و بیان انرژی محیطی مورد استفاده قرار می گیرد (Ahmadi, 2013). شاخص سطح برگ بیان کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط محصول است. معمولاً شاخص سطح برگ مساوی سه الی پنج جهت تولید حداکثر ماده خشک برای اغلب محصولات کاشته شده لازم است. در کلزا اگر حداکثر شاخص سطح برگ کمتر از چهار باشد، می توان گفت رشد و عملکرد گیاه در اثر کمبود سطح برگ محدود می شود زیرا شاخص سطح برگ حدود چهار برای دریافت حدود ۹۰ درصد تشعشع خورشیدی کفایت می کند (Azizi et al., 2000).

کمیت هایی که در تجزیه و تحلیل رشد اجتماعات گیاهی مورد استفاده قرار می گیرند شامل شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت رشد محصول (CGR) می باشد. سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیاهی در واحد سطح در واحد زمان می باشد و معمولاً بر حسب گرم در متر مربع در روز بیان می گردد. افزایش جذب تابش خورشیدی توسط گیاه، تجمع ماده خشک را به دنبال خواهد داشت (Vanosterom et al., 2007). تجزیه و تحلیل شاخص های رشد، منحصرأ به اندازه گیری سطح برگ و وزن خشک گیاه نیاز دارد و هدف از محاسبه شاخص های رشد توضیح و توصیف عکس العمل گیاه به شرایط محیطی است (Etesami, 2007). شرایط اقلیمی به خصوص میزان تشعشع دریافتی و ابری بودن بیش تر هوا (تغییر کسر تشعشع پراکنده به مستقیم) تولید ماده خشک را تحت تأثیر قرار می دهد چنان که هی و پورتر (Hey and Porter, 2006) بیان کردند که کارایی مصرف نور علاوه بر گونه گیاهی، به طور عمده به تغییر حداکثر فتوسنتز برگ، کسر تابش مستقیم یا پراکنده و وضعیت نیتروژن تاج پوشش بستگی دارد. ایشان هم چنین بیان کردند که تاج پوشش از تابش پراکنده بیش از تابش مستقیم بهره می برد؛ اما کل تابش در روز ابری به اندازه روز آفتابی نیست. بنابراین در شرایط مشابه همیشه ماده خشک تولید شده در روز آفتابی صاف نسبت به روز ابری بیش تر است. این تحقیق با هدف بررسی شاخص های رشد و نیز ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور

به ترتیب ۱۵۶۷ و ۱۵۹۲ بوده که در سال ۲۰۱۴ به ۲۰۴۳ و ۲۱۲۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است (FAO, 2014). متخصصان فیزیولوژی گیاهان زراعی می بایست شاخص های فیزیولوژیک مهمی را که در گذشته باعث افزایش عملکرد شده اند و در آینده نیز می توانند به پیشرفت به نژادی در افزایش کمی و کیفی کمک کنند، شناسایی نمایند (Attarbashi, 2002).

واکنش فنولوژیک گیاهان زراعی به تغییرات دمای هوا در گونه های گیاهی مختلف از جمله کلزا مورد بررسی قرار گرفته است (Miralles et al., 2011). از عوامل مؤثر بر نمو کلزای تیپ بهاره در دوره بین سبز شدن تا شروع گل دهی، دما و فتوپریود است (Habekotte, 2007). در حالی که نمو کلزا از کاشت تا سبز شدن و از شروع گل دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تنها تحت تأثیر دما قرار می گیرد (Azizi et al., 2000). در گیاه کلزا حساس ترین زمان از نظر مواجه شدن با شرایط نامساعد محیطی و تأثیر آن بر عملکرد، مرحله گلدهی و اوایل خورجین بندی شناخته شده است؛ یعنی زمانی که تعداد دانه و خورجین در حال تعیین شدن است. بنابراین اثرات زیان آور این عوامل نه تنها به شدت، بلکه به زمان وقوع آن ها در طول فصل رویش بستگی دارد (Faraji, 2005).

زمان وقوع مراحل نمو برای تطبیق ژنوتیپ و محیط اهمیت حیاتی دارد و این بدان معنی است که چنانچه وقوع عوامل نامساعد مثل یخبندان و خشکی در فاصله بین گل دهی و رسیدگی به حداقل برسد و عوامل مساعد نظیر شرایط مطلوب تشعشع، دما و رطوبت برای رشد خورجین و دانه در حداکثر باشد؛ این تطبیق موفقیت آمیز است (Mendham et al., 2008). وجود واکنش به بهاره سازی یا طول روز در یک ژنوتیپ بدین معناست که اگر نیازهای مطلوب به طور کامل تأمین نشود، آغاز گل آذین و گل دهی به تأخیر خواهد افتاد و تعداد بیش تری آغازی برگ علاوه بر آن حداقل تعداد، تولید می شود. این امر بدان معناست که گل دهی تا پایان یافتن زمستان یا طولانی تر شدن روزها، یا هر دو به تأخیر می افتد. تأخیر در گل دهی ممکن است هم چنین باعث بزرگ تر شدن ساختارهای رویشی، تولید تعداد بیش تری خورجین و پتانسیل عملکرد بالاتر شود (Azizi et al., 2000).

تجزیه و تحلیل شاخص های رشد به منظور تفسیر چگونگی عکس العمل گونه های گیاهی به شرایط محیطی حائز اهمیت زیادی است (Lebaschy et al., 2004). در این راستا شاخص سطح برگ یکی از معیارهای اساسی و مهم در تعیین قدرت فتوسنتزی گیاه محسوب می گردد. نتایج برخی تحقیقات در این ارتباط نشان می دهد که شاخص سطح برگ معیار مناسبی برای برآورد میزان تغییرات عملکرد گیاهان زراعی می باشد (Lebaschy et al., 2004). پتانسیل فتوسنتزی و توان رشدی همبستگی بالایی با میزان سطح برگ دارند. میزان ماده خشک کل نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از

در ارقام مختلف کلزا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی شیروان، خراسان شمالی واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۴۰ دقیقه، طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۹۳ دقیقه و ارتفاع ۱۰۹۷ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۵۱/۸ میلی‌متر است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲۰ رقم و لاین کلزا بود (جدول ۱). زمین مورد آزمایش در هر سال زراعی با گاوآهن برگردانده شد و جهت خرد کردن کلوخه‌ها دوبار دیسک سبک عمود بر هم زده شد. سپس در دو جهت گوناگون گردید و پس از اجرای نقشه طرح، کرت‌ها و مرزها مشخص شدند. بذور از بخش دانه‌های روغنی مرکز تحقیقات بذر و نهال کرج تهیه گردید. پس از تصادفی کردن تیمارها برای هر سال به‌طور جداگانه، کشت با دست انجام شد. تاریخ کاشت منطقه بر اساس توصیه مراکز تحقیقاتی از نیمه دوم شهریور تا نیمه اول مهر می‌باشد. کاشت در هر دو سال زراعی در تاریخ ۳۰ شهریور صورت گرفت. هر کرت آزمایش شامل شش خط (سه پشته ۵۰ سانتی‌متری که کشت در دو طرف پشته‌ها انجام شد) به طول پنج متر و فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بلوک‌ها از هم دو متر در نظر گرفته شد. تمامی ارقام با تراکم بالا در تاریخ ذکر شده کشت شدند و پس از حصول اطمینان از استقرار بوته‌ها (مرحله چهار برگ حقیقی)، تراکم ۸۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر) با عمل تنک کردن حاصل گردید. کودهای مورد مصرف بر اساس آزمون خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک، ۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تربیل در هکتار و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در زمان کاشت بود. آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت و مراحل بعدی آبیاری در طول فصل رشد به‌گونه‌ای صورت پذیرفت که هیچ‌گونه علائم تنش خشکی در گیاهان مشاهده نگردید. همچنین، در طول فصل تمامی علف‌های هرز موجود در کرت‌ها وجین گردیدند. در مرحله گل‌دهی با مشاهده آفات همچون شته و سوسک گرده‌خوار عملیات سمپاشی صورت گرفت. اندازه‌گیری‌هایی که در طول دو فصل زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ انجام شد عبارت بودند از ثبت مراحل فنولوژیک از زمان کاشت هر چهار روز یک‌بار در پاییز تا ثابت شدن رشد و در بهار از شروع رشد مجدد که به روش سیلوستر برادلی (Sylvester and Bradley, 1984) صورت گرفت. اولین نمونه‌برداری تخریبی در نیمه دوم اسفند ماه انجام شد

(قبل از به ساقه رفتن ارقام) و به فاصله ۸ الی ۱۰ روز نمونه‌برداری‌های بعدی صورت گرفت. از هر کرت پنج بوته با رعایت حاشیه از طرفین (دو ردیف کناری و ۵/۰ متر از بالا و پایین به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد) کف‌بر گردیدند و پس از انتقال به آزمایشگاه، به برگ و ساقه تفکیک و پس از گرده‌افشانی و تشکیل خورجین، خورجین‌ها هم جدا گردیدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت در آن قرار گرفتند. سطح برگ با دستگاه سطح‌برگ‌سنج لیزری CID ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. نسبت دریافت تشعشع با اندازه‌گیری تشعشع در بالا و پایین جامعه گیاهی با استفاده از دستگاه AccuPAR مدل LP-80 صورت گرفت، به این‌صورت که در ظهر خورشیدی (بین ساعات ۱۲ تا ۱۴) در بخشی از کرت که پوشش مناسب داشت، استقرار یافته و سپس با کمک پروب دستگاه یک بار تشعشع را در بالای جامعه گیاهی و دو بار در پایین جامعه گیاهی به نحوی که ابتدا و انتهای پروب دستگاه در فاصله بین ردیف‌ها قرار داشت، صورت گرفت. اندازه‌گیری تشعشع از مرحله ساقه‌دهی تا بسته شدن جامعه گیاهی به فاصله زمانی ۸ الی ۱۰ روز و دقیقاً قبل از نمونه‌برداری ماده خشک صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل صفات مورد ارزیابی در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم شکل‌ها و ویرایش آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت. قبل از انجام هر تجزیه و تحلیل، به‌دلیل این که طرح تجزیه مرکب بود، آزمون یکنواختی واریانس‌ها (آزمون بارتلت) انجام شد که واریانس خطا بین دو سال یکسان بود. همچنین تجزیه کلاستر با روش متوسط فاصله (Average) انجام شد.

به منظور توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روزهای پس از کاشت از معادله لجستیک زیر استفاده شد که بهترین برازش را نسبت به نقاط اندازه‌گیری شده نشان داد (Soltani, 2005).

(۱)

$$LAI = ((a \times \exp((-a) \times (dap - b)) \times c)) / ((1 + \exp((-a) \times (dap - b)))^2)$$
 در این معادله LAI شاخص سطح برگ، dap روز پس از کاشت و a، b و c ضرایب معادله می‌باشند.

برای توصیف وزن خشک در طول زمان از یک معادله لجستیک استفاده شد که زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ماده خشک و میزان حداکثر ماده خشک تولیدی را نیز نشان می‌دهد (Soltani, 2005).

(۲)

$$Y = DM_{max} / (1 + \exp(-a \times (dap - b)))$$
 در معادله لجستیک a ضریب معادله، b مدت زمانی که در آن تجمع ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود می‌رسد و DM_{max} حداکثر ماده خشک تولید شده (گرم در متر مربع)، dap روز پس از کاشت و Y تجمع ماده خشک می‌باشد. حاصل مشتق معادله بالا CGR می‌باشد. از تقسیم CGR بر TDM سرعت رشد نسبی (RGR) محاسبه گردید.

کارایی مصرف نور (RUE) با استفاده از رگرسیون بیوماس
تجمعی (گرم بر متر مربع) در مقابل تشعشع دریافتی تجمعی
(مگاژول بر متر مربع) به صورت شیب خط حاصله تعیین گردید
(Soltani and Sinclair, 2012).

برای تعیین ضریب خاموشی از معادله زیر استفاده شد
(Felent et al., 1996).

$$Y = 1 - \exp(-K_{PAR} \times LAI) \quad (3)$$

در این معادله Y نسبت پوشش گیاهی، K_{PAR} ضریب خاموشی بر
پایه تشعشع فعال فتوسنتزی و شاخص سطح برگ می باشد.

جدول ۱- نام و مبدأ ارقام کلزای مورد مطالعه
Table 1- Name and origin of the studied rapeseed cultivars

ردیف	رقم	تیپ رشد	مبدأ	ردیف	رقم	تیپ رشد	مبدأ
Row	Cultivar	Growth habit	Origin	Row	Cultivar	Growth habit	Origin
1	طلایه (Talayee)	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)	11	Licord	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)
2	شیرالی (Shirali)	بهاره (Spring)	استرالیا (Australia)	12	Modena	زمستانه (Winter)	دانمارک (Denmark)
3	ساری گل (Sarigol)	بهاره (Spring)	ایران (Iran)	13	Bilbao	زمستانه (Winter)	فرانسه (France)
4	زرغام (Zarfam)	حدواسط (Facultative)	ایران (Iran)	14	کرچ ۳ (Karaje 3)	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
5	Slm046	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)	15	*L72	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
6	GKH-305	زمستانه (Winter)	مجارستان (Hungry)	16	*SW102	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
7	okapi	زمستانه (Winter)	فرانسه (France)	17	ظفر (Zafar)	حدواسط (Facultative)	ایران (Iran)
8	GKH-1103	زمستانه (Winter)	مجارستان (Hungry)	18	کرچ ۱ (Karaje 1)	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
9	Opera	زمستانه (Winter)	سوئد (Sweden)	19	Traviata	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)
10	GKH-2005	زمستانه (Winter)	مجارستان (Hungry)	20	Kodiak	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)

* لاین SW102 که در پایان سال ۱۳۹۵ به عنوان رقم نیما در بخش دانه های روغنی مؤسسه اصلاح نهال و بذر کرچ معرفی گردید. L72 و کرچ ۱ لاین می باشند.

نتایج و بحث

شرایط آب و هوایی

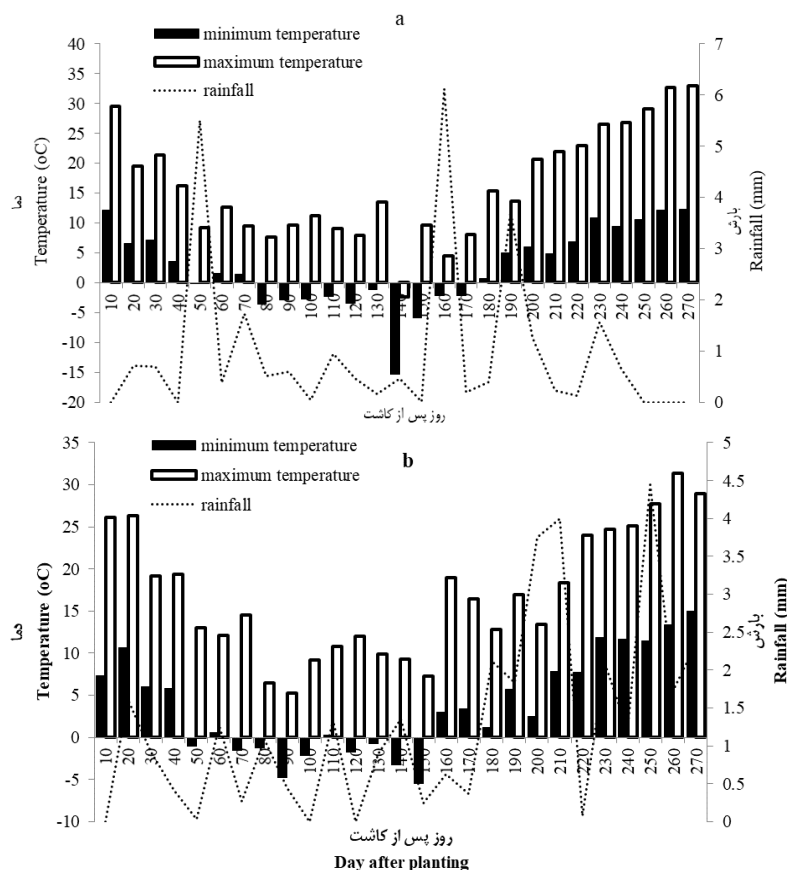
شرایط آب و هوایی محل انجام آزمایش در شکل ۱ و ۲ در دو
سال اجرای آزمایش نشان داده شده است. در مقایسه بین دو سال از
لحاظ حادث شدن زمان بارندگی و همچنین مقدار بارش تفاوت قابل
ملاحظه ای مشاهده می شود. سال زراعی ۹۴-۹۳ (۲۹۳/۷ میلی متر)
نسبت به سال زراعی ۹۵-۹۴ (۲۱۷/۱۴ میلی متر) مرطوب تر می باشد.
مهم ترین نکته این بود که توزیع بارندگی بین دو سال متفاوت
می باشد. بیشترین میزان بارندگی (۶۷ میلی متر) در اسفند سال
۹۳-۹۴ ثبت شد. در سال ۹۴-۹۵ بیشترین میزان بارش در ماه
فروردین با ۹۵/۹ میلی متر اتفاق افتاد. در مجموع پاییز و زمستان سال
۹۳ (۲۱۲/۵ میلی متر) نسبت به سال ۹۴ (۱۱/۵۴ میلی متر) بسیار
پر باران تر بود. اما بهار سال ۱۳۹۵ (۲۰۵/۶ میلی متر) نسبت به سال ۹۴

(۸۱/۲ میلی متر) از نظر میزان بارندگی برتر بود.

میانگین درجه حرارت طی ۱۰ روز اول کاشت سال دوم (۱۶/۷)
درجه سانتی گراد) نسبت به زمان مشابه سال اول (۲۰/۸) درجه
سانتی گراد) به میزان ۴/۱ درجه سانتی گراد کاهش یافت. میانگین
دمای پاییز و زمستان سال ۹۳ (۶/۳۷ درجه سانتی گراد) در مقایسه با
پاییز و زمستان سال ۹۴ (۷/۳۷ درجه سانتی گراد) یک درجه
سانتی گراد کمتر بود. بین میانگین دمای بهار سال ۹۴ (۱۶/۸۶) درجه
سانتی گراد) نسبت به بهار سال ۹۵ (۱۶/۴۶) درجه سانتی گراد) تفاوت
قابل ملاحظه ای مشاهده نشد. کمترین میانگین دمای ماهانه در دی
ماه سال ۹۳ (۳/۲۵) درجه سانتی گراد) روی داد که با ماه های آذر و
بهمن تفاوت قابل ملاحظه ای نداشت. اما در سال ۹۴ کمترین میانگین
دمای ماهانه در ماه بهمن (۲/۸۲) درجه سانتی گراد) اتفاق افتاد. آن چه
که دارای اهمیت بارزی است اختلاف میانگین دمای ماه اسفند بین دو

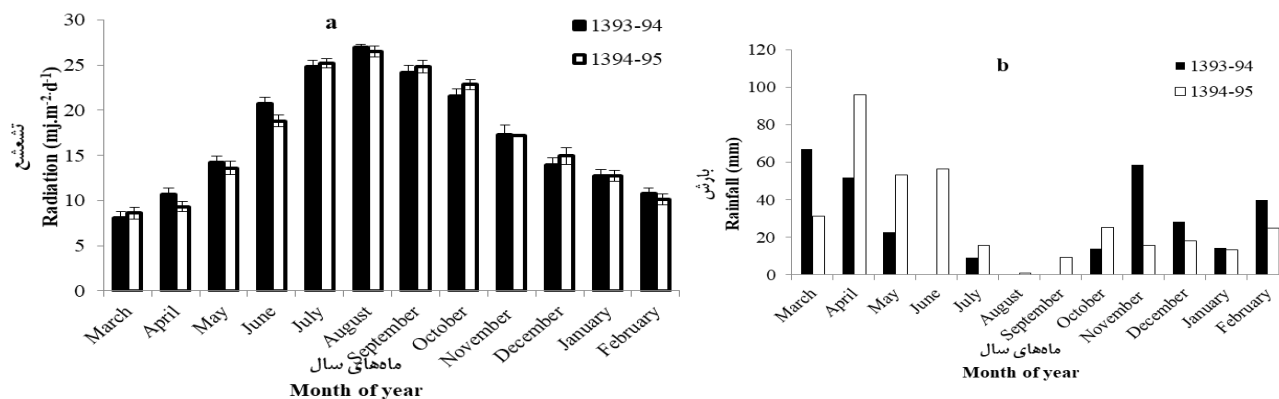
مقایسه تشعشع دریافتی (مگاژول بر متر مربع در روز) بهار ۹۴ و بهار ۹۵ نشان می‌دهد که مقدار تشعشع دریافتی فروردین و اردیبهشت و خرداد ۹۴ به‌طور معنی‌داری از سال ۹۵ بیش‌تر می‌باشد. همچنین در هر دو سال آزمایش از فروردین به خرداد میزان تشعشع دریافتی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲).

سال می‌باشد (شروع رشد مجدد و ظهور گل‌آذین برخی از ارقام در این ماه روی داد)، میانگین آن در سال ۹۳ (درجه سانتی‌گراد) نسبت به سال ۹۴ (۹/۲۹ درجه سانتی‌گراد) به‌طور قابل‌توجهی کم‌تر بود به طوری که در اسفند سال ۹۳ میانگین دمای حداقل، ۱/۴- درجه سانتی‌گراد و اسفند سال ۹۴، ۲/۵۵ درجه سانتی‌گراد بود.



شکل ۱- میانگین دمای حداقل، حداکثر و نیز بارندگی روزانه شهرستان شیروان مربوط به دوره رشد گیاه
a- سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و b- سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴

Figure 1- The mean of minimum, maximum temperature and daily rainfall of Shirvan in crop growth period
a) 2014-2015 and b) 2015-2016



شکل ۲- تشعشع (مگاژول بر متر مربع در روز) و بارش ماهانه (b) منطقه شیروان خراسان شمالی در دو سال زراعی ۹۴-۹۵ و ۹۵-۹۴

Figure 2- Monthly radiation (MJ.m⁻².d⁻¹) (a) and rainfall (mm) (b) in Shirvan region in 2014-2015 and 2015-2016

ویژگی‌های فنولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات فنولوژی بر اساس روز (تقویمی) تا رسیدن به مراحل مورد نظر نشان داد که اثر متقابل سال در ژنوتیپ بر تمام مراحل فنولوژیکی به جز روز تا سبز شدن، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین صفت روز تا سبز شدن در سال اول کوتاه‌تر (۵/۲۷ روز پس از کاشت) از سال دوم (۶/۵۸ روز پس از کاشت) بود. مقایسه میانگین نشان می‌دهد که در سال اول پژوهش ارقام Modena, Licord, Bilbao و ساری گل دیرتر از سایر ارقام سبز شدند (۷/۸۷ روز پس از کاشت). Slm046، ظفر و Kodiak در مرحله بعد قرار گرفتند (۵/۲۵ روز پس از کاشت) و بقیه ارقام زودتر سبز شدند (۴/۴۸ روز پس از کاشت). همچنین مقایسه میانگین صفت مذکور بین ارقام در سال دوم آزمایش نشان داد که ارقام Licord, Bilbao, Slm046، ساری گل و Modena دیرتر از سایر ارقام سبز شدند (۸/۸ روز پس از کاشت). رقم GKH-1103 در رتبه بعدی قرار گرفت (۶/۵ روز پس از کاشت) و بقیه ارقام تفاوت معنی‌داری از نظر سبز شدن با یکدیگر نداشتند. احتمالاً کاهش میانگین درجه حرارت طی ۱۰ روز اول کاشت سال دوم (۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد) نسبت به سال اول (۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد) آزمایش علت سبز شدن دیرتر ارقام در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش باشد (جدول ۳ و ۴). کارتر و همکاران (Carter et al., 2004)، سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006) و زیا و خان (Zia and Khan, 2004) تأکید کردند که دما می‌تواند سبز شدن گیاهچه ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه را تحت تأثیر قرار دهد.

میانگین صفت روز تا به ساقه رفتن در سال اول (۱۸۱/۴۵ روز پس از کاشت) به‌طور معنی‌داری از سال دوم (۱۷۴/۴۳ روز پس از کاشت) بیش‌تر بود. همچنین علت شروع رشد مجدد زودتر ارقام در سال دوم نسبت به سال اول احتمالاً به‌دلیل افزایش میانگین ۵/۵ درجه‌ای دمای اواخر زمستان (ماه اسفند) سال دوم نسبت به سال اول

آزمایش بود. به‌علاوه، مقایسه میانگین در سال اول پژوهش نشان داد که ارقام ساری گل، طلایه، ظفر، شیرالی و زرفام زودتر از سایر ارقام وارد مرحله شروع رشد مجدد گردیدند (۱۶۳/۳۵ روز پس از کاشت)، در حالی که در همین سال ارقام Opera, Kodiak, Okapi, Modena و Traviata دیرتر از سایر ارقام به مرحله ساقه‌دهی وارد شدند (۱۹۰/۹۵ روز پس از کاشت) (جدول ۳ و ۴). بقیه ارقام حد واسط بین این دو وارد مرحله رشد مجدد گردیدند. در سال دوم آزمایش، مقایسه میانگین نشان داد که رقم Bilbao دیرتر از سایر ارقام وارد مرحله به ساقه رفتن گردید (۱۸۴ روز پس از کاشت). ارقام ساری گل، شیرالی، ظفر و سپس ارقام طلایه و زرفام زودتر از سایر ارقام وارد مرحله رشد مجدد گردیدند (به‌ترتیب ۱۵۸/۵ و ۱۶۶/۸۷ روز پس از کاشت). عزیزی و آروین (Azizi and Arvin, 2007) اعلام کردند که سرعت نمو از کاشت تا گل‌دهی همبستگی نزدیکی با میانگین طول روز در طی این مرحله دارد. آن‌ها همچنین بیان کردند که دما نیز در طی این زمان در حال تغییر است و یک واکنش اساسی نسبت به دما نیز وجود دارد. دما عامل اصلی نمو از گل‌دهی تا برداشت می‌باشد؛ ولی واکنش به عوامل دیگر یعنی بهاره‌سازی و فتوسنتز، دیده نمی‌شود. به‌طور کلی میانگین صفت شروع گل‌دهی در سال اول (۱۹۱/۳۸ روز پس از کاشت) زودتر از سال دوم (۱۹۵/۲۵) حادث شد. میانگین دمای ماه فروردین سال دوم آزمایش، ۱/۳ درجه سانتی‌گراد کمتر از سال اول آزمایش بود. بنابراین زمان حادث شدن فرآیند گل‌دهی در سال دوم طولانی‌تر گردید. در سال اول پژوهش ارقام شیرالی، ظفر و ساری گل اولین گروه از ارقامی بودند که فرآیند شروع گل‌دهی در آن‌ها اتفاق افتاد (۱۷۷/۲۵ روز پس از کاشت). بعد از آن ارقام طلایه و زرفام شروع گل‌دهی در آن‌ها ثبت گردید (۱۸۰/۸۷ روز پس از کاشت). ارقام Modena, Okapi, Bilbao و Traviata دیرتر از همه فرآیند فنولوژیک شروع گل‌دهی در آن‌ها اتفاق افتاد (۱۹۹/۶ روز پس از کاشت).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب مراحل مهم فنولوژیکی ارقام مختلف کلزا در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۹۵-۱۳۹۴ EM. روز تا سبز شدن، SHO. روز تا شروع ساقه‌دهی، SFL. روز تا شروع گل‌دهی، EFL. روز تا پایان گل‌دهی، SF. روز تا شروع پر شدن دانه، PM. روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 2- Combined analysis of important phenological stages of different canola cultivars in 2014-2015 and 2015-2016. Em: day to emergence, SHO: day to elongation, SFL: day to flowering, EFL: day to end of flowering, SF: day to grain filling, PM: day to physiological maturity

میانگین مربعات (MS)							
سال (Year)	1	68.90**	1775.35**	602.92**	9.95 ^{ns}	142.99**	4453.93**
خطا (Error)	6	1.40	3.50	6.85	3.71	5.05	4.27
رقم (Cultivar)	19	15.45**	737.14**	625.74**	558.04**	617.75**	453.93**
رقم×سال (Cultivar×Year)	19	0.41 ^{ns}	29.45**	41.67**	76.18**	71.06**	51.04**
خطا (Error)	114	0.45	3.32	3.01	3.64	2.61	2.47
CV (%)	-	11.3	1.0	0.9	0.9	0.7	0.6
(ضریب تغییرات)	-						

جدول ۳- مقایسه میانگین مراحل مهم فنولوژیکی ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳. EM: روز تا سبز شدن، SHO: روز تا شروع ساقه‌دهی، SFL: روز تا شروع گل‌دهی، EFL: روز تا پایان گل‌دهی، SF: روز تا شروع پر شدن دانه، PM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 3- Mean comparison of important phenological stages of different canola cultivars in 2013-2014. Em: day to emergence, SHO: day to elongation, SFL: day to flowering, EFL: day to end of flowering, SF: day to seed filling, PM: day to physiological maturity

ارقام (Cultivars)	EM	SHO	SFL	EFL	SF	PM
Licord	8.75 ^a	189.00 ^{bcd}	197.25 ^c	227.50 ^{de}	225.75 ^b	256.25 ^b
Bilbao	8.50 ^a	193.00 ^a	200.75 ^{ab}	236.50 ^a	230.75 ^a	260.75 ^a
GKH-305	4.25 ^d	184.00 ^{ef}	190.25 ^d	219.50 ⁱ	211.25 ^h	246.50 ^{fg}
Slm046	5.75 ^c	186.50 ^{ed}	196.75 ^c	227.50 ^{de}	219.50 ^{ef}	251.50 ^{de}
ساری گل (Sarigol)	7.00 ^b	160.00 ^h	178.00 ^{fg}	203.75 ^{kl}	202.00 ^j	238.25 ⁱ
طلایه (Talaye)	4.50 ^d	167.75 ^g	181.25 ^a	207.50 ^j	207.25 ^{ij}	244.50 ^{fg}
L72	4.50 ^d	184.50 ^{ef}	192.00 ^d	223.50 ^{gh}	230.25 ^a	255.75 ^b
Sw102	4.25 ^d	184.25 ^{ef}	191.00 ^d	226.00 ^{ef}	222.50 ^{cd}	252.75 ^{cde}
شیرالی (Shirali)	4.50 ^e	161.50 ^h	177.00 ^g	201.50 ^l	197.75 ^k	236.75 ^j
ظفر (Zafar)	5.00 ^{cd}	160.00 ^h	176.75 ^g	203.75 ^{kl}	202.25 ^j	239.00 ^k
GKH-1103	4.50 ^d	183.75 ^{ef}	191.25 ^d	222.50 ^{ghi}	209.25 ^{hi}	245.50 ^{gh}
Opera	4.75 ^d	190.25 ^{abc}	197.75 ^c	229.75 ^{cd}	215.25 ^g	247.75 ^f
زرغام (Zarfam)	4.50 ^d	167.50 ^g	180.50 ^{ef}	206.50 ^{jk}	196.00 ^k	234.25 ^k
کرچ ۳ (Karaje 3)	4.50 ^d	182.25 ^f	190.25 ^d	221.50 ^{hi}	214.75 ^g	252.00 ^{cde}
Kodiak	5.00 ^{cd}	190.25 ^{abc}	198.50 ^{abc}	231.50 ^{bc}	220.25 ^{ed}	253.50 ^{cd}
Okapi	4.50 ^d	190.25 ^{abc}	201.25 ^a	226.75 ^{de}	216.25 ^g	250.75 ^e
کرچ ۱ (Karaje 1)	4.75 ^d	184.50 ^{ef}	192.00 ^d	220.75 ^{hi}	211.25 ^h	243.75 ^f
Modena	7.25 ^b	191.25 ^{ab}	199.00 ^{abc}	225.00 ^{efg}	222.75 ^{cd}	251.75 ^{de}
GKH-2005	4.50 ^d	187.75 ^{cd}	198.00 ^{bc}	232.25 ^{bc}	217.25 ^{fg}	254.00 ^{cb}
Traviata	4.25 ^d	190.50 ^{abc}	198.50 ^{abc}	233.00 ^b	223.50 ^{bc}	257.25 ^b
میانگین (Mean)	5.27	181.45	191.38	221.32	214.45	247.12
LSD _{0.05}	0.84	3.05	2.96	3.04	2.77	2.07

(۲۴/۵۷ روز) تجربه کردند. با مشاهده و مقایسه وضعیت آب و هوایی زمان شروع تا پایان گل‌دهی ارقام می‌توان علت را در وقوع بارندگی و روزهای ابری در زمان گل‌دهی و گرده‌افشانی جستجو نمود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین طول دوره گل‌دهی و عملکرد ($r=0.66^{**}$) و به‌خصوص تعداد خورجین در بوته ($r=0.81^{**}$) تأکیدی بر اهمیت این دوره بحرانی در تعیین عملکرد دانه می‌باشد.

روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بین دو سال متفاوت بود و این مرحله در سال دوم ۱۱/۲۲ روز دیرتر از سال اول به وقوع پیوست. در سال اول ارقام زرغام، ساری گل، شیرالی، ظفر زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (۲۳۷/۰۶ روز پس از کاشت). رقم Bilbao به‌طور معنی‌داری دیرتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسید (۲۶۰/۷۵ روز پس از کاشت). در سال دوم ارقام ساری گل، شیرالی، ظفر زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دست یافتند (۲۴۴ روز پس از کاشت) و رقم Okapi که

مقایسه میانگین سال دوم آزمایش نشان می‌دهد که ارقام ساری گل، شیرالی و ظفر و پس از آن‌ها زرغام و طلایه به مرحله گل‌دهی رسیدند (به‌ترتیب ۱۷۶/۴۱ و ۱۸۵/۸۷ روز پس از کاشت) و رقم Bilbao به تنهایی مرحله گل‌دهی را دیرتر از سایر ارقام تجربه کرد (۲۱۰/۳۳ روز پس از کاشت). طول دوام گل‌دهی در واقع تعیین‌کننده مهم‌ترین جزء عملکرد یعنی تعداد خورجین در بوته می‌باشد. به‌طور کلی این صفت در سال اول آزمایش ۲۹/۹۲ روز طول کشید که تفاوت معنی‌داری را با سال دوم آزمایش داشت (۲۶/۴۳ روز). شاید علت این اختلاف وجود روزهای ابری بیش‌تر در سال دوم و هم‌چنین وقوع بارندگی‌های پیاپی در مرحله شروع گل‌دهی تا مرحله پایان گل‌دهی باشد. این دوره در ارقام ساری گل، شیرالی، ظفر و زرغام در سال دوم نسبت به سال اول افزایش یافته بود (به‌ترتیب ۳۳/۷۵ روز در برابر ۲۵/۸۱ روز)؛ در حالی‌که سایر ارقام دوره گل‌دهی طولانی‌تری را در سال اول آزمایش (۳۰/۹۶) نسبت به سال دوم

زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. هم‌چنین مراحل فنولوژیک تحت تأثیر سال آزمایش قرار گرفت. همبستگی مثبت و معنی‌دار دوام گل‌دهی با عملکرد ($r=0/66^{**}$) و تعداد خورجین در بوته ($r=0/88^{**}$) از اهمیت این دوره در تعیین عملکرد دانه دارد؛ به‌طوری که مهم‌ترین مرحله تشکیل عملکرد (دوام گل‌دهی) تحت تأثیر شرایط محیطی از جمله دما، تشعشع و بارندگی قرار داشت.

با ارقام Bilbao، Licord و کرج ۳ تفاوت معنی‌داری نداشت، دیرتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسید (۲۶۸/۲۵ روز پس از کاشت). احتمالاً تأخیر شروع گل‌دهی در سال دوم (کاهش دمای هوا) و نیز شرایط کاهش تشعشع، از عوامل تأخیر رسیدگی فیزیولوژیک سال دوم نسبت به سال نخست انجام آزمایش می‌باشد. در مجموع ارقام از لحاظ خصوصیات فنولوژیک متنوع بودند به‌طوری که ارقامی نظیر ساری‌گل، طلایه، شیرالی، ظفر و زرفام

جدول ۴- مقایسه میانگین مراحل مهم فنولوژیک ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴. EM: روز تا سبز شدن، SHO: روز تا شروع

ساقه‌دهی، SFL: روز تا شروع گل‌دهی، EFL: روز تا پایان گل‌دهی، SF: روز تا شروع پر شدن دانه، PM: روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

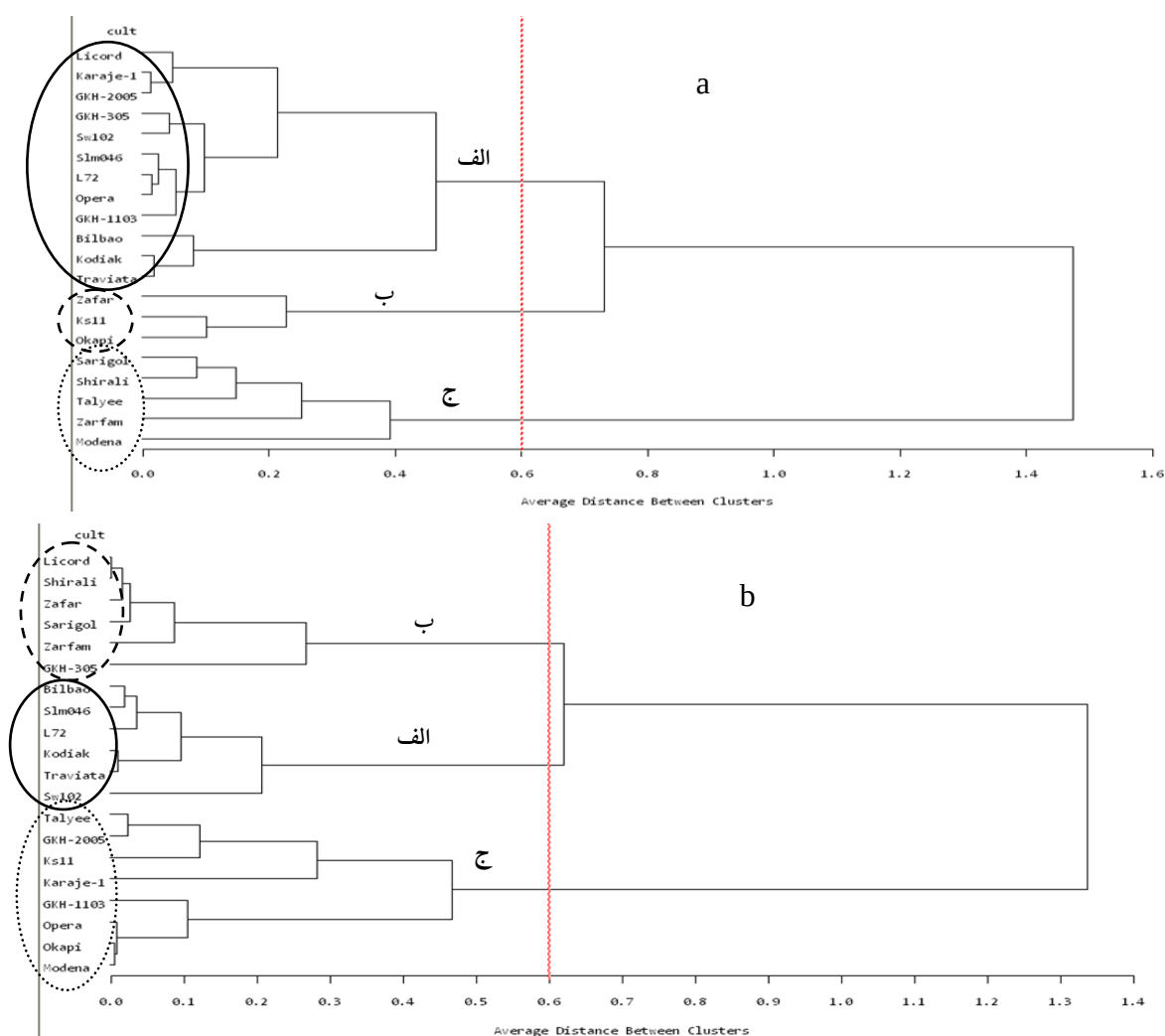
Table 4- Mean comparison of important phenological stages of different canola cultivars in 2014-2015. EM: day to emergence, SHO: day to elongation, SFL: day to flowering, EFL: day to end of flowering, SF: day to seed filling, PM: day to physiological maturity

ارقام (Cultivars)	EM	SHO	SFL	EFL	SF	PM
Licord	9.50 ^a	179.75 ^{bc}	199.75 ^c	224.00 ^{efg}	222.25 ^{cdef}	266.50 ^{abcd}
Bilbao	9.75 ^a	184.00 ^a	210.33 ^a	235.33 ^a	225.00 ^{ab}	267.66 ^{ab}
GKH-305	6.50 ^c	180.25 ^b	200.50 ^c	223.00 ^{ghi}	221.00 ^{fg}	264.50 ^{de}
Slm046	8.25 ^b	176.25 ^d	198.00 ^d	221.75 ^{ghij}	218.75 ^h	261.50 ^g
ساری‌گل (Sarigol)	8.25 ^b	158.75 ^h	176.75 ^h	210.50 ^k	200.25 ^k	244.00 ^j
طلایه (Talayee)	5.50 ^{cd}	168.75 ^f	185.00 ^g	211.25 ^k	206.75 ^j	249.50 ⁱ
L72	5.75 ^{cd}	174.25 ^{de}	198.75 ^{cd}	228.25 ^b	219.75 ^{gh}	261.50 ^g
Sw102	5.25 ^d	173.50 ^e	193.00 ^e	221.50 ^{hij}	218.00 ^h	260.25 ^{gh}
شیرالی (Shirali)	5.50 ^{cd}	159.00 ^h	176.25 ^h	209.75 ^k	201.50 ^k	244.00 ^j
ظفر (Zafar)	6.25 ^{cd}	157.75 ^h	176.25 ^h	209.75 ^k	200.25 ^k	244.00 ^j
GKH-1103	6.50 ^c	181.25 ^b	205.50 ^b	226.00 ^{bcde}	220.75 ^{fg}	264.00 ^{ef}
Opera	6.00 ^{cd}	181.25 ^b	201.00 ^c	223.50 ^{fgh}	221.25 ^{efg}	265.25 ^{cde}
زرفام (Zarfam)	5.50 ^{cd}	165.00 ^g	186.75 ^f	221.00 ^{hij}	205.50 ^j	250.00 ⁱ
کرج ۳ (Karaje 3)	5.50 ^{cd}	173.75 ^e	201.00 ^c	225.25 ^{cdef}	223.75 ^{bc}	266.75 ^{abc}
Kodiak	6.25 ^{cd}	180.25 ^b	194.50 ^e	223.75 ^{efgh}	221.50 ^{efg}	265.75 ^{bcde}
Okapi	5.50 ^{cd}	181.00 ^b	204.25 ^b	225.00 ^{def}	226.75 ^a	268.25 ^a
کرج ۱ (Karaje 1)	6.00 ^{cd}	176.00 ^d	196.75 ^d	220.50 ^j	215.25 ⁱ	258.75 ^h
Modena	8.25 ^b	181.00 ^b	205.25 ^b	227.25 ^{bcd}	223.00 ^{cde}	262.00 ^{fg}
GKH-2005	5.75 ^{cd}	178.25 ^c	198.00 ^d	222.25 ^{ghij}	221.75 ^{def}	265.00 ^{cde}
Traviata	6.00 ^{cd}	181.00 ^b	201.25 ^c	227.50 ^{bc}	223.50 ^{bcd}	265.50 ^{bcde}
میانگین (Mean)	6.58	174.43	195.25	221.85	215.08	258.34
LSD _{0.05}	1.04	1.95	1.84	2.39	1.78	1.85

دارای بالاترین عملکرد، در گروه دوم دارای عملکرد متوسط (نزدیک به میانگین گروه) و در گروه سوم دارای کم‌ترین عملکرد بود انتخاب شد. از گروه اول رقم Bilbao، از گروه دوم رقم کرج ۳ و از گروه سوم رقم ساری‌گل انتخاب شدند (شکل ۳).

تجزیه و تحلیل رشد

در این تحقیق جهت بررسی تجزیه و تحلیل رشد گیاه در طی فصل رشد، ارقام بر اساس تجزیه کلاستر به سه گروه با عملکرد بالا (خط ممتد)، عملکرد متوسط (خطوط بریده) و عملکرد کم (خطوط نقطه‌چین) تقسیم شدند و از هر گروه یک نماینده که در گروه اول



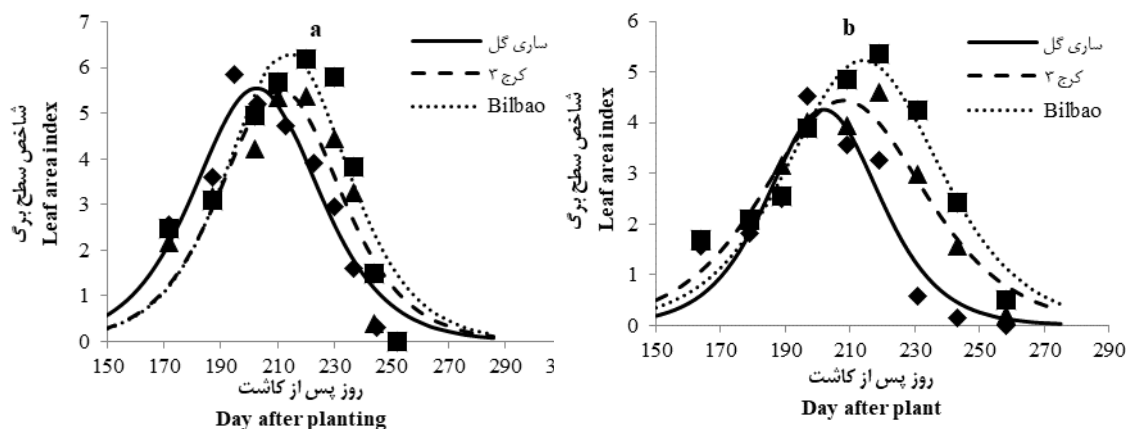
شکل ۳ - تجزیه کلاستر عملکرد ارقام مختلف کلزا به روش متوسط فاصله (Average) در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (a) و ۹۵-۱۳۹۴ (b)
Figure 3- Cluster analysis of yield of different canola cultivars by method of average distance in 2014-2015 and 2015-2016

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ برای رقم ساری گل تا ۲۰۲ روز پس از کاشت ادامه داشت که در این روز شاخص سطح برگ ۴/۲۵ به دست آمد. هم‌چنین رقم کرج ۳ در ۲۰۸/۱ روز پس از کاشت به حداکثر شاخص سطح برگ خود دست یافت. رقم Bilbao نیز به افزایش روند شاخص سطح برگ تا ۲۱۴ روز پس از کاشت ادامه داد که در این روز شاخص سطح برگ به ۵/۲۲ رسید (جدول ۵). شاخص سطح برگ ارقام در سال دوم نسبت به سال اول انجام آزمایش کاهش یافت. احتمالاً دلیل این کاهش با کاهش دما و نیز افزایش شرایط ابری بودن هوا و کاهش تشعشع رسیده در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مرتبط است. علاوه بر تفاوت بین این سه رقم از نظر میزان شاخص سطح برگ، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیز متفاوت بود. نقش

روند تغییرات شاخص سطح برگ، در ارقام مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در سال زراعی ۹۴-۹۳ رقم ساری گل به دلیل شروع رشد مجدد زودتر، در اوایل فصل دارای شاخص سطح برگ بالاتری بود و این روند تا ۲۰۴ روز پس از کاشت ادامه داشت. در این روز رقم ساری گل به حداکثر شاخص سطح برگ خود ($LAI_{max}=5/50$) دست یافت و در ادامه روند نزولی پیدا کرد. در رقم کرج ۳، روند افزایش شاخص سطح برگ تا ۲۰۸ روز پس از کاشت ادامه یافت و در این تاریخ به حداکثر شاخص سطح برگ ۵/۴۶ دست یافت. رقم Bilbao در ۲۱۶ روز پس از کاشت به حداکثر شاخص سطح برگ ۶/۲۷ دست یافت (جدول ۵). در سال دوم روند افزایش

برگ‌ها در عملکرد می‌تواند در تعیین اندازه مقصدهایی نظیر تعداد خورجین در گیاه مهم باشد (Hosseinzadeh et al., 2008). بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با حداکثر شاخص سطح برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت، به‌طوری که ضریب همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با حداکثر شاخص سطح برگ به ترتیب 0.53 و 0.63 بود (جدول ۱۰). در توجیه این رابطه می‌توان بیان داشت که سطح برگ بیش‌تر و ماده خشک بیش‌تر قبل از گرده‌افشانی منجر به ذخیره بیش‌تر مواد فتوسنتزی در ساقه و برگ‌ها می‌شود، که در نهایت این عمل منجر به انتقال آسمیلات‌ها به دانه و افزایش عملکرد در واحد سطح خواهد شد. همچنین از آن‌جا که فتوسنتز جاری گیاه در بعد از گرده‌افشانی مهم‌ترین عامل پر شدن دانه می‌باشد، بنابراین سطح برگ بالاتر در بعد از گرده‌افشانی یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد می‌باشد. محققان همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ موجود در اواسط گل‌دهی را در کلزا گزارش کردند (Thurling, 1974; Gabrielle et al., 1998). همچنین بین روز تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد دانه نیز همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد به‌دست آمد ($r=0.31$). بررسی میزان تشعشع ورودی نشان می‌دهد که میزان آن از اسفند تا مرداد رو به افزایش است و حداکثر تشعشع ورودی در دوره رشد گیاه در فصل خرداد می‌باشد. بنابراین رقم Bilbao که از نظر شروع رشد مجدد در بهار با تأخیر قابل توجه نسبت به رقم ساری گل همراه بود؛ شرایط مساعدتری را از نظر دمایی و نیز تشعشع در مراحل تشکیل اجزای عملکرد و نیز پر شدن دانه دارا بود. در سال دوم کاهش میزان تشعشع دریافتی و میانگین دما در زمان شروع رشد مجدد، سبب کاهش سطح برگ ارقام گردید. معمولاً شاخص سطح برگ مساوی ۳ الی ۵ جهت تولید



شکل ۴- روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت در ارقام کلزا در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ (a) و سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ (b)

Figure 4- Trend of changes of leaf area index against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

جدول ۵- ضرایب (a, b و c) معادله پیش‌بینی تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل زمان در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳: تعداد مشاهدات (n)، حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) و زمان وقوع آن بر حسب روز (T_{max}) و ضریب تبیین (R^2)

Table 5- Estimated logistic model coefficients of (equation 1) leaf area index against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 and 2015-2016 (a, b and c are equation coefficients, LAI_{max} is maximum leaf area, T_{max} is days to maximum LAI)

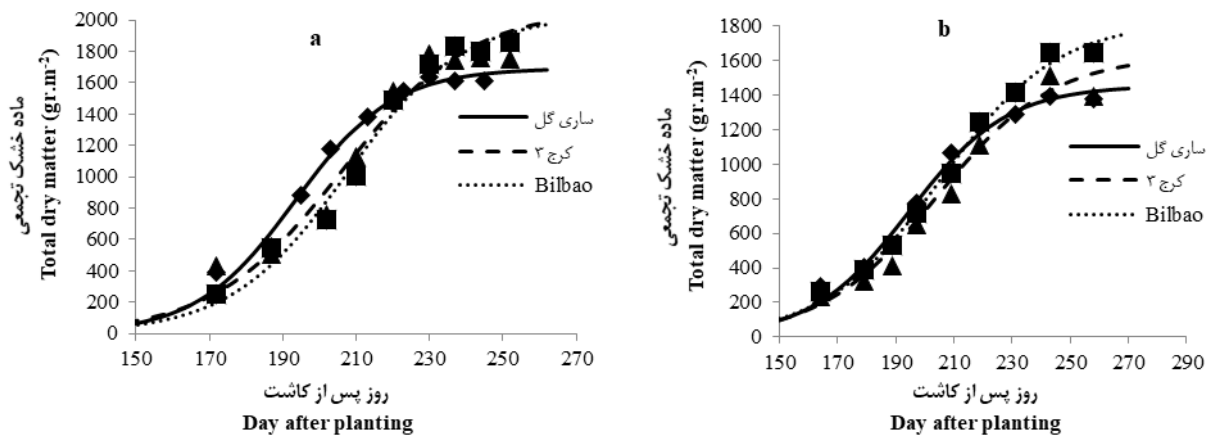
	رقم (Cultivar)	n	a±SE	b±SE	c±SE	LAI _{max}	T _{max}	R ²
Growing season 93-94	Bilbao	9	0.070±0.011	213.9±2.89	358.3±44.00	6.27	216	0.95
	ساری گل	9	0.060±0.009	204.2±3.12	366.7±45.12	5.50	204	0.96
	کرج ۳	9	0.070±0.011	211.0±3.19	312.9±41.49	5.46	208	0.95
Growing season 94-95	Bilbao	9	0.063±0.005	214.1±1.85	330.1±23.53	5.22	214	0.98
	ساری گل	9	0.086±0.013	210.9±2.36	196.7±24.35	4.25	202	0.95
	کرج ۳	9	0.060±0.006	208.1±2.06	294.2±23.02	4.42	210	0.98

الگوی تجمع ماده خشک

در استفاده از معادله لجستیک (معادله ۲) که با هدف محاسبه زمان حصول ۵۰ درصد عملکرد ماده خشک و حداکثر ماده خشک تولیدی استفاده شد، توصیف خوبی از تجمع ماده خشک به دست داد، به نحوی که مقادیر ضرایب تبیین همگی بزرگتر از ۹۸ درصد بودند (جدول ۶). اختلاف ارقام از نظر مدت زمان لازم برای رسیدن ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود متفاوت بود و روند تقریباً مشابهی بین دو سال از این نظر وجود داشت. بین دو سال آزمایش، در سال اول میانگین زمان رسیدن به ۵۰ درصد ماده خشک ۲۰۳/۰۴ روز پس از کاشت بود، اما در سال دوم این زمان با تأخیر ۲/۲۵ روز در ۲۰۵/۳ روز پس از کاشت روی داد. در سال اول در ارقام ساری گل، کرج ۳ و Bilbao زمان حصول ۵۰ درصد ماده خشک تجمعی به ترتیب ۱۹۳/۳، ۲۰۲/۲ و ۲۰۷/۳ روز پس از کاشت اتفاق افتاد. در سال دوم آزمایش این پارامتر در ارقام ذکر شده به ترتیب در ۱۹۴/۶، ۲۱۰/۲ و ۲۰۸/۹ اتفاق افتاد که گویای شرایط محیطی متفاوت بین دو سال می باشد (جدول ۶). روند تغییرات ماده خشک ارقام مورد آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود؛ تشکیل ماده خشک در ارقام به عنوان معیاری از میزان تولید، از یک منحنی غیر خطی در هر دو سال زراعی تبعیت می کند. به طور کلی در اوایل رشد گیاه با توجه به دمای پایین و تشعشع کم با وجود پوشش گیاهی مناسب (در کلزا) افزایش اولیه ماده خشک کم می باشد. در سال اول ارقام مورد آزمایش در مراحل اولیه رشد (رزت) از نظر ماده خشک تجمعی اختلاف زیادی با هم نداشتند و از ۱۷۰ روز بعد از کاشت (شروع گل دهی) اختلاف رقم ساری گل از دو رقم دیگر بیش تر شد (سرعت رشد نسبی بالاتر در اوایل رشد) و در زمان پر شدن دانه به حداکثر رسید؛ ولی این رقم زودتر به حالت رشد ثابت رسید اما دو رقم دیگر (Bilbao و کرج ۳) دیرتر به رشد ثابت دست یافتند و تولید ماده خشک آن ها از رقم ساری گل پیشی گرفت. در سال دوم تا ۲۲۰ روز

پس از کاشت اختلافی بین ارقام مشاهده نشد و سپس رقم Bilbao از نظر تولید ماده خشک از دو رقم دیگر پیشی گرفت. تفاوت آب و هوایی آشکار بین دو سال و کاهش تشعشع و وقوع بارش های پیاپی (هوای ابری) در سال دوم علت تفاوت ایجاد شده تجمع ماده خشک بین دو سال است (شکل ۱ و ۲). در سال اول بین دو رقم کرج ۳ و Bilbao از نظر حداکثر تجمع ماده خشک تفاوت معنی داری از نظر آماری مشاهده نشد، در حالی که رقم ساری گل از دو رقم دیگر متفاوت بود (جدول ۶). این اختلاف را می توان به بالاتر بودن شاخص سطح برگ در ارقام نسبت داد. به دلیل افزایش سطح برگ میزان جذب تشعشع خورشیدی بالا رفته و به تبع آن فتوسنتز و ماده سازی افزایش یافت. همچنین شاخص سطح برگ در ارقام Bilbao و کرج ۳ زمانی به حالت حداکثر رسید که تشعشع خورشیدی بیش تر نسبت به زمانی که رقم ساری گل به حداکثر شاخص سطح برگ رسید وجود داشت. بنابراین تطابق زمان حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش دریافتی از خورشید برای دستیابی به عملکرد بالا بسیار حائز اهمیت است (Lucas et al., 2003). همبستگی بین شاخص سطح برگ و عملکرد بیولوژیک ($r=0.63^{**}$) و عملکرد اقتصادی ($r=0.53^{**}$) مؤید این مساله است (جدول ۱۰).

همبستگی قوی بین حداکثر تجمع ماده ی خشک و عملکرد دانه وجود داشت ($r=0.81^{**}$) (جدول ۱۰). وزن خشک گیاه حاصل تجمع مواد فتوسنتزی و یکی از مهم ترین فاکتورهای برآورد عملکرد محصول است؛ به طوری که بسیاری از محققین با اندازه گیری وزن خشک بخش های مختلف گیاه و وزن خشک کل اندام های هوایی، اقدام به تعیین الگوی رشد کرده اند (Gardner, 2005). الگوی تجمع وزن خشک در این مطالعه با مطالعات طهماسبی زاده و همکاران (Tahmasebizade et al., 2009) و ناظری و همکاران (Nazeri et al., 2012) مطابقت داشت.



شکل ۵- روند تغییرات ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع) در مقابل روز پس از کاشت در ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ (a) و سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ (b)

Figure 5- Figure 3- Trend of changes of cumulative dry matter against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

جدول ۶- ضرایب معادله لجستیک جهت پیش‌بینی تجمع ماده خشک در مقابل زمان برای ارقام مختلف در طی دو سال آزمایش. تعداد نمونه‌برداری (n)، ضریب معادله (a)، مدت زمانی که تجمع ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود می‌رسد (b) (بر حسب روز)، حداکثر ماده خشک تولید شده (dm_{max}) (گرم در متر مربع)، ضریب تبیین (R²)

Table 6- Estimated logistic model coefficients of (equation 2) dry matter against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (DM_{max} is maximum dry matter, a is equation coefficient, b is time requiring to achieve 50% of maximum dry matter)

رقم (Cultivar)	n	dm _{max} ±SE	a±SE	b±SE	R ²
Growing season 93-94					
Bilbao	9	2037.7±134.8	0.063±0.010	207.3±3.22	0.99
ساری گل	9	1692.3±58.87	0.074±0.009	193.3±1.67	0.99
کرج ۳	9	1966.9±136.3	0.069±0.013	202.2±3.16	0.99
Growing season 94-95					
Bilbao	9	1789.4±134.6	0.046±0.006	208.9±4.43	0.99
ساری گل	9	1455.6±56.97	0.059±0.007	196.6±2.17	0.99
کرج ۳	9	1577.4±190.6	0.043±0.008	210.2±7.40	0.99

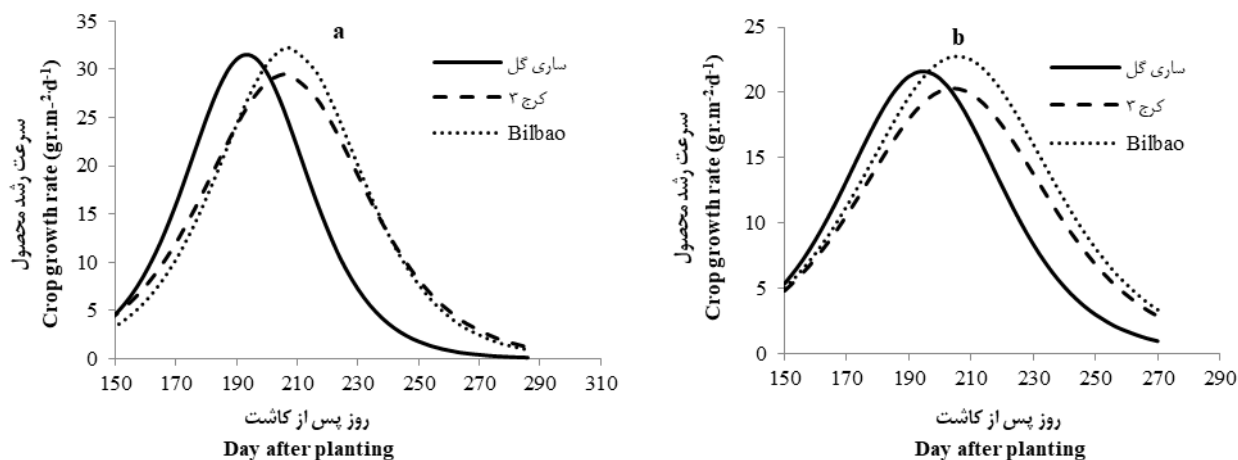
فصل رشد مجدد می‌باشد. نبوی (Nabavi, 1998) در خصوص کلزای پاییزه گزارش کرد که سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب نور، کوتاه بودن روزها و دمای کم محیط روند کندی داشت، ولی بعد از خروج از مرحله رزت با افزایش شاخص سطح برگ، افزایش شدت تشعشع، دما و در نتیجه بهره‌گیری بهتر از نور خورشید میزان تولید ماده خشک در واحد سطح افزایش یافت و به تبع آن سرعت رشد محصول نیز افزایش نشان داد. از این مرحله به بعد سرعت رشد به صورت خطی در هر سه رقم در طی هر دو سال زراعی افزایش یافت. در سال اول این افزایش در رقم ساری گل با گذشت زمان تا ۱۹۲ روز پس از کاشت ادامه یافت؛ ولی شاخص سطح برگ تا ۲۰۴

سرعت رشد محصول (CGR)

شکل ۶ روند تغییرات سرعت رشد را در دو سال زراعی ۹۳-۹۴ و ۹۴-۹۵ نشان می‌دهد. در دو سال، در هر سه رقم CGR در ابتدای رشد (۱۵۰ روز پس از کاشت) به آرامی افزایش یافت. عزیزی و آروین (Azizi and Arvin, 2007) گزارش کردند که در کلزا در شرایطی که شاخص سطح برگ برابر ۱، ۲ و ۳ باشد، دریافت تشعشع به ترتیب ۴۵، ۷۰ و ۸۴ درصد خواهد بود. بنابراین پوشش گیاهی با توجه به وجود برگ‌های بزرگ رزت که با ساقه یک زاویه متوسطی را می‌سازند و در جهت افقی خمیده می‌شوند؛ نمی‌توانند محدودکننده رشد در اوایل فصل باشند. دمای پایین هوا در اوایل شروع رشد مجدد و نیز مطلوب نبودن مقدار تشعشع خورشیدی از دلایل رشد کند در اوایل

و حداکثر تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی در گیاه است. از مرحله پر شدن دانه به علت زرد شدن برگ‌ها و ریزش آن‌ها، شاخص سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه CGR کاهش می‌یابد. این روند با نتیجه نظری و همکاران (Nazeri *et al.*, 2012) مطابقت داشت. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh *et al.*, 2008) گزارش کردند که در آخر فصل رشد کاهش در روند CGR مشاهده شد و این کاهش زمانی روی داد که گیاه به جای تولید مواد فتوسنتزی بیشتر به انتقال مجدد آن‌ها از اندام‌های مختلف به دانه پرداخت. بین دو سال زراعی از نظر حداکثر CGR بین هر سه رقم تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. مقدار CGR در سال اول به‌طور معنی‌داری از سال دوم بیش‌تر بود. وجود شرایط تشعشی دریافتی مطلوب‌تر در سال اول و هوای بارانی و ابری بیش‌تر در سال دوم علت تفاوت CGR در دو سال بود (شکل ۱ و ۲). عزیزی و آروین (Azizi and Arvin, 2007) اعلام کردند که در کلزا حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله پایان گل‌دهی حادث می‌شود. هم‌چنین ایشان اعلام کردند که ماده خشک و شاخص سطح برگ دارای ضرایب بالاتر همبستگی نسبت به سایر شاخص‌های رشدی با عملکرد بودند.

روز پس از کاشت به حداکثر رسید. در رقم کرج ۳ سرعت رشد محصول ۲۰۴ تا ۲۰۸ روز پس از کاشت به حداکثر رسید و شاخص سطح برگ در ۲۰۸ روز پس از کاشت به حداکثر خود رسید. در رقم Bilbao سرعت رشد محصول در ۲۰۸ روز پس از کاشت به حداکثر خود رسید و شاخص سطح برگ در ۲۱۶ روز پس از کاشت به حداکثر خود دست یافت. مقدار CGR در رقم کرج ۳ از دو رقم دیگر کم‌تر بود، ولی زمان رسیدن به حداکثر CGR در رقم ساری گل نسبت به دو رقم دیگر متفاوت بود. عدم تطابق بین وقوع حداکثر CGR و شاخص سطح برگ به این دلیل است که در در زمان وقوع حداکثر سرعت رشد محصول شاخص سطح برگ به حدی بوده که ۹۵ درصد تشعشع جذب گردیده و افزایش بیش از آن سبب افزایش CGR نگردید (شاخص سطح برگ بحرانی). در سال دوم رقم ساری گل در ۱۹۴ روز پس از کاشت به حداکثر CGR دست یافت و ارقام کرج ۳ و Bilbao در ۲۰۶ روز پس از کاشت به حداکثر CGR رسیدند که تفاوت معنی‌داری بین دو سال مشاهده نشد. حداکثر CGR برای هر گونه معین و در شرایط مطلوب، هنگامی پدید می‌آید که پوشش برگ‌ها کامل باشد و این حالت نشان‌دهنده حداکثر توانایی تولید ماده خشک



شکل ۶- روند تغییرات سرعت رشد (CGR) در مقابل روز پس از کاشت در ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ (a) و سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ (b)

Figure 6- Trend of changes of crop growth rate (CGR) against days after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

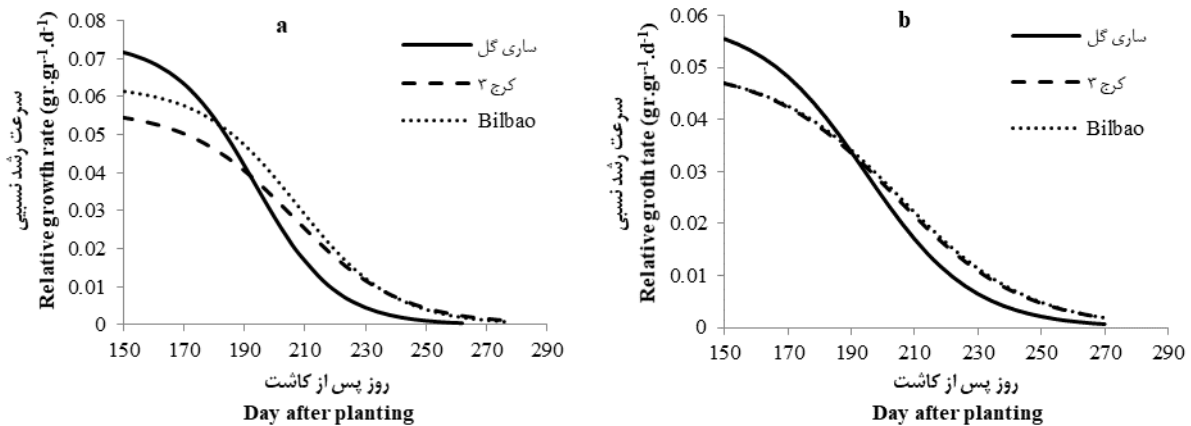
سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ‌های پایینی در کاهش میزان سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد مؤثر است (Azizi and Arvin, 2007). بین دو سال زراعی از نظر RGR تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. RGR در سال اول آزمایش از سال دوم آزمایش بیش‌تر بود. در هر دو سال آزمایش در ابتدای رشد مجدد RGR رقم ساری گل از دو رقم دیگر بیش‌تر بود و در ادامه فصل رشد مقدار RGR این رقم با شیب بیش‌تری کاهش یافت، به طوری که مقدار RGR ارقام Bilbao

سرعت رشد نسبی (RGR)

بررسی روند تغییرات سرعت رشد نسبی (شکل ۷) نشان داد که این شاخص در ابتدای مراحل رشد حداکثر و با گذشت زمان و با افزایش دوره رشد و افزایش سن گیاه کاهش یافت. کاهش در سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد به این دلیل است که با گذشت زمان، وزن گیاه افزایش می‌یابد و در این افزایش وزن، تعداد بافت‌های مرده و کاملاً بالغ که در تولید نقشی ندارند نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین در

داشتند. سرعت رشد نسبی در سیکل زندگی گیاه روند کاهشی دارد (Campbel *et al.*, 2003). همچنین سرعت رشد نسبی با تغییرات وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌یابد؛ زیرا با گذشت زمان قسمت‌های مهم گیاه مانند ساقه، قدرت فتوسنتز و فعالیت‌های متابولیکی تأثیرگذار در رشد را از دست داده و غیرفعال می‌شوند و سهم زیادی در رشد گیاه ایفا نمی‌کنند (Nazeri *et al.*, 2012).

و کرج ۳ (کاهش با شیب ملایم‌تر) تا اواخر فصل بیش‌تر از ساری‌گل بود. با توجه به زمان‌های متفاوت شروع رشد مجدد، به‌نظر می‌رسد در ابتدا رقم ساری‌گل (شروع رشد مجدد زودتر از دو رقم دیگر) دارای بافت‌های فتوسنتزکننده بیش‌تر (شاخص سطح برگ بالاتر در اوایل فصل رشد) نسبت به بافت‌های تنفس‌کننده بود و در ادامه فصل، ارقام Bilbao و کرج ۳ تا آخر فصل رشد از این نظر بر رقم ساری‌گل برتری



شکل ۷- روند تغییرات سرعت رشد نسبی (RGR) در مقابل روز پس از کاشت در ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ (a) و سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ (b)

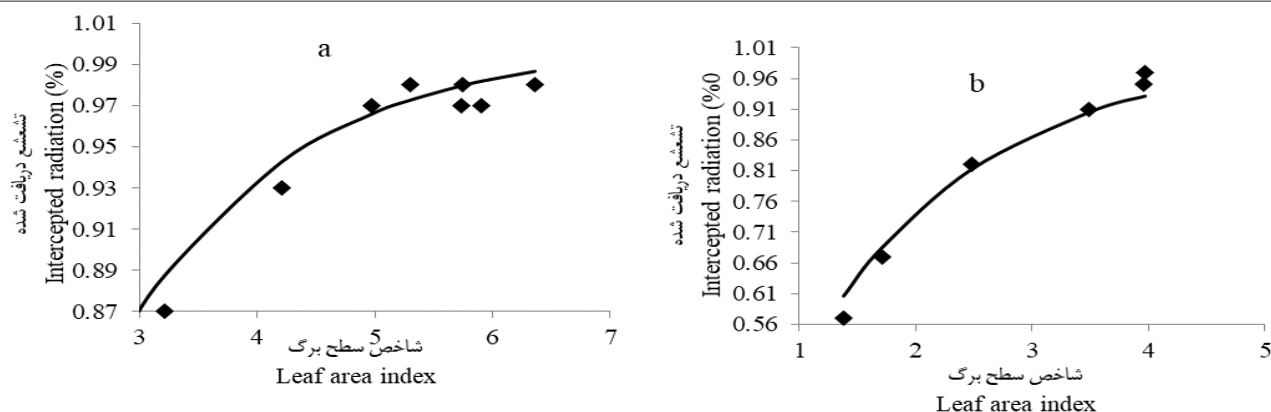
Figure 7- Trend of changes of relative growth rate (RGR) against days after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

موارد برای ارتباط دادن سطح برگ و دریافت تشعشع کل گیاه (نه لایه‌های برگ) کفایت می‌کند و در شرایطی که شاخص سطح برگ، برابر ۱، ۲ و ۳ باشد، دریافت تشعشع به‌ترتیب ۴۵، ۷۰ و ۸۴ درصد خواهد بود (Azizi *et al.*, 2000).

همبستگی بین K با هیچ یک از صفات به‌جز شاخص سطح برگ و ارتفاع، معنی‌دار نبود (جدول ۸). در این تحقیق تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بین ارقام وجود داشت. همبستگی ضریب خاموشی با عملکرد غیرمعنی‌دار بود. ضریب خاموشی با شاخص سطح برگ حداکثر، همبستگی منفی داشت. افزایش ارتفاع سبب می‌شود که برگ در طول ارتفاع گیاه توزیع گردد و بیش‌ترین میزان برگ در نیمه میانی بوته قرار گیرد، اما ارقام با ارتفاع پایین توزیع برگ‌ها در ارتفاع کم‌تری و نیز به احتمال زیاد در نیمه فوقانی کانوپی صورت گرفته است. همبستگی منفی معنی‌دار بین K_{PAR} و ارتفاع ($r = -0.33^*$) مؤید این مطلب می‌باشد (جدول ۸). کم‌تر بودن ضریب K موجب می‌شود تا سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص در سطوح بیش‌تر شاخص سطح برگ، حفظ شود (Rahimian mashhadi, Banayane-Aval, 2006).

دریافت تشعشع و کارایی استفاده از آن

معادله ۳ به‌خوبی تغییرات پوشش گیاهی را در مقابل شاخص سطح برگ توجیه کرد (شکل ۸). بین ارقام از نظر مقادیر K_{PAR} به‌دست آمده اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). متوسط ضریب خاموشی در سال اول ۰/۷۰ و در سال دوم ۰/۷۲ بود. شاید کاهش تشعشع در سال دوم سبب ایجاد این اختلاف گردیده باشد به طوری که گیاه با افقی‌تر کردن برگ‌های خود در جهت جذب تشعشع بیش‌تر باشد. همچنین کاهش ارتفاع بوته در سال دوم نسبت به سال اول می‌تواند علت این اختلاف باشد. در سال اول مقدار K_{PAR} بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۶ در ارقام Modena و GKH-2005 متغیر بود. در سال دوم مقدار K_{PAR} بین ۰/۶۳ برای رقم کرج ۳ و ۰/۸۰ در رقم ظفر متغیر بود (جدول ۶). خصوصیات کانوپی برگی در کلزا با زمان تغییر می‌کند. در مرحله رزت برگ‌های بزرگ با ساقه یک زاویه متوسطی را می‌سازند و در جهت افقی خمیده می‌شوند طوری که ضریب خاموشی (K) ۰/۶ یا بیش‌تر است. در طول دوره طویل شدن ساقه، برگ‌ها کوچک‌تر هستند و به‌صورت عمودی‌تر به ساقه متصل شده‌اند، طوری که مقدار K برابر ۰/۴-۰/۶ است. مقدار ۰/۶ در اغلب



شکل ۸- رابطه بین نسبت پوشش گیاهی (کسر تشعشع دریافت شده) در مقابل شاخص سطح برگ در سال ۱۳۹۳-۹۴ (الف) و ۱۳۹۴-۹۵ (ب)
Figure 8- Trend of changes intercepted radiation (%) against leaf area index in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

جدول ۶- تخمین مقدار ضریب خاموشی (K) از معادله (۳) شاخص سطح برگ در ارقام مختلف کلزا در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵
تعداد نمونه (n)، ضریب خاموشی بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی (K_{PAR})، ضریب تبیین (R^2)

Table 6- Estimated extinction coefficients (K_{PAR}) (equation 3) in different varieties of canola in 2014-2015 and 2015-2016

Growing season of 2014-2015				Growing season of 2015-2016			
Cultivar	n	$K_{PAR} \pm SE$	R^2	n	$K_{PAR} \pm SE$	R^2	
Licord	20	0.02±0.70	0.99	20	0.03±0.71	0.99	
Bilbao	20	0.01±0.71	0.99	15	0.02±0.71	0.99	
GKH305	19	0.02±0.72	0.99	20	0.04±0.75	0.99	
Slm046	20	0.01±0.70	0.99	20	0.02±0.74	0.99	
Sarigol	19	0.02±0.77	0.99	20	0.03±0.76	0.99	
Talayee	20	0.02±0.74	0.99	20	0.02±0.72	0.99	
L72	20	0.02±0.67	0.99	20	0.02±0.70	0.99	
Sw102	20	0.03±0.70	0.99	20	0.03±0.75	0.99	
Shirali	20	0.02±0.65	0.99	20	0.05±0.70	0.99	
Zafar	20	0.02±0.77	0.99	20	0.04±0.80	0.99	
GKH1103	20	0.01±0.67	0.99	20	0.03±0.64	0.99	
Opera	20	0.01±0.72	0.99	20	0.02±0.68	0.99	
Zarfam	19	0.01±0.66	0.99	20	0.03±0.72	0.99	
Karaje 3	20	0.01±0.67	0.99	20	0.02±0.63	0.99	
Kodiak	19	0.03±0.72	0.99	20	0.02±0.71	0.99	
Okapi	20	0.01±0.66	0.99	20	0.03±0.76	0.99	
Karaje 1	20	0.01±0.70	0.99	20	0.04±0.78	0.99	
Modena	20	0.03±0.76	0.99	20	0.03±0.76	0.99	
GKH2005	20	0.02±0.76	0.99	20	0.02±0.78	0.99	
Traviata	20	0.03±0.72	0.99	20	0.03±0.68	0.99	
mean	-	0.70	-	-	0.72	-	-

بیشتر بودن تشعشع پراکنده در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش سبب این تفاوت گردید (شکل ۱ و ۲). هی و پورتر (Hey and Porter, 2006) بیان کردند که RUE علاوه بر گونه گیاهی، عمدتاً به تغییر حداکثر فتوسنتز برگ، کسر تابش مستقیم پراکنده و وضعیت نیتروژن تاج پوشش بستگی دارد. ایشان همچنین بیان کردند که تاج پوشش از تابش پراکنده بیش از تابش مستقیم بهره می‌برد؛ اما کل تابش در روز ابری به اندازه روز آفتابی نیست. بنابراین در شرایط مشابه همیشه ماده خشک تولید شده در روز آفتابی صاف نسبت به روز ابری بیشتر است. در بین ارقام در سال اول،

مدل رگرسیون خطی ساده رابطه بین تشعشع تجمعی دریافت شده و بیوماس تجمعی از کاشت تا رسیدگی را با ضرایب تبیین بالاتر از ۸۰ درصد به خوبی توصیف کرد (شکل ۹). RUE به دست آمده برای ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. همچنین بین دو سال تفاوت معنی‌داری وجود داشت؛ به طوری که میانگین آن در سال اول ۳/۸۰ و در سال دوم ۳/۶۳ گرم بر مگازول تشعشع فعال فتوسنتزی بود (شکل ۹). احتمالاً علت اختلاف بین دو سال تفاوت آشکار آب و هوای دو سال به خصوص میزان تشعشع دریافتی و ابری بودن بیش‌تر هوا در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول می‌باشد. به عبارتی

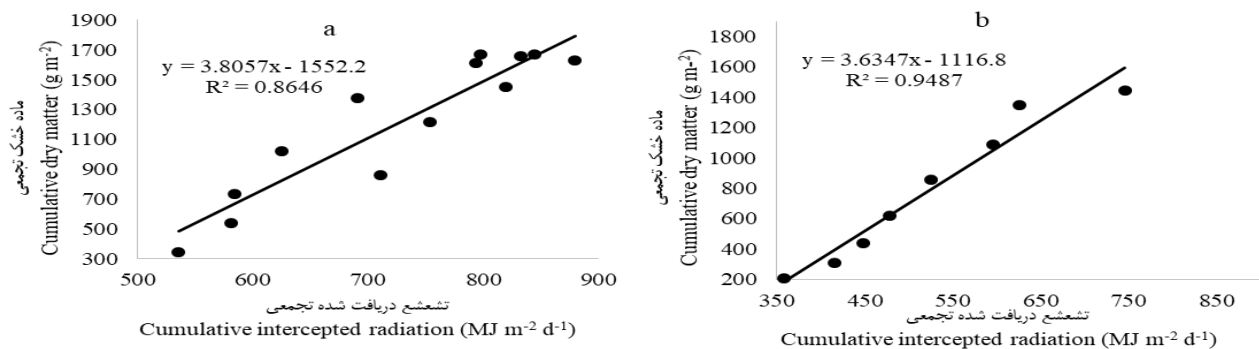
قوی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷). بنابراین احتمالاً تفاوت RUE بین ارقام در این مطالعه، به عوامل اقلیمی از جمله میزان تشعشع دریافتی از خورشید (Hey and Porter, 2006) و نیز تشعشع دریافتی توسط کانوپی بستگی دارد (Kemanian *et al.*, 2000). برای کلزا تعدادی از محققین کارایی مصرف نور را از ۱ تا ۴ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی بسته به شرایط محیطی و مرحله رشدی گزارش نمودند (Justes *et al.*, 2000).

RUE بین ۳/۰۱ در رقم ساری گل و ۴/۰۸ گرم بر مگاژول بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی در رقم Bilbao متغیر بود (جدول ۷). در سال دوم کم‌ترین RUE مجدداً به رقم ساری گل تعلق داشت (۳/۰۷ گرم بر مگاژول) و بیش‌ترین RUE متعلق به رقم Licord بود (۴/۱۲ گرم بر مگاژول). همبستگی بین RUE و عملکرد ($r=0.45^*$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.35^*$) معنی‌دار بود. هم‌چنین همبستگی بین RUE و شاخص سطح برگ حداکثر ($r=0.09^{ns}$) معنی‌دار نبود، اما بین RUE و روز تا رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر ($r=0.68^{**}$) همبستگی

جدول ۷- ضرایب معادله توصیف‌کننده‌ی ($y=a+bx$) تجمع ماده‌ی خشک (گرم در متر مربع) در مقابل تشعشع دریافت شده‌ی تجمعی (مگاژول در متر مربع) در ارقام مختلف در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵. تعداد نمونه (n)، شیب خط (کارایی استفاده از تشعشع بر حسب گرم بر مگاژول) (RUE)، ضریب تبیین (R^2)

Table 7- Linear equation coefficients ($y=a+bx$) of fitted for cumulative dry matter ($gr.m^{-2}$) against cumulative intercepted radiation ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) in different varieties in 2014-2015 and 2015-2016

Growing season of 2014-2015				Growing season of 2015-2016		
Cultivar	a±SE	RUE±SE	R ²	a±SE	RUE±SE	R ²
Licord	404.68±2100.11	0.50±3.93	0.89	165.03±1211.16	0.32±4.12	0.96
Bilbao	287.64±902.90	0.52±4.08	0.89	118.98±1287.38	0.19±3.71	0.97
GKH305	430.74±1917.2	0.52±3.90	0.88	162.36±1288.48	0.27±3.55	0.96
Slm046	384.66±1265.21	0.59±3.82	0.85	131.29±996.21	0.23±3.28	0.97
Sarigol	408.07±1244.69	0.49±3.01	0.84	242.78±1129.67	0.36±3.07	0.92
Talayee	414.56±1254.63	0.51±3.03	0.83	240.94±1214.08	0.44±3.40	0.90
L72	299.31±1105.62	0.50±3.86	0.89	101.40±1046.96	0.18±3.49	0.98
Sw102	287.87±1130.65	0.50±3.90	0.89	250.57±1934.84	0.35±3.94	0.95
Shirali	434.42±1226.97	0.54±3.14	0.89	263.09±747.59	0.55±3.51	0.86
Zafar	564.84±1431.67	0.65±3.25	0.77	155.80±1069.74	0.30±3.52	0.95
GKH1103	448.61±1349.12	0.67±3.98	0.85	108.72±1136.84	0.18±3.41	0.98
Opera	307.13±1567.90	0.43±3.82	0.92	186.63±932.96	0.35±3.29	0.93
Zarfam	502.50±1716.86	0.55±3.31	0.83	352.99±1127.18	0.54±3.27	0.83
Karaje 3	342.17±1422.06	0.47±3.68	0.91	163.67±1373.98	0.26±3.64	0.98
Kodiak	431.55±1471.64	0.52±3.26	0.86	132.10±1230.59	0.25±3.98	0.97
Okapi	341.55±2025.89	0.42±3.79	0.93	177.14±1326.07	0.31±3.84	0.97
Karaje1	404.82±2010.43	0.48±3.92	0.91	86.39±720.24	0.22±3.55	0.98
Modena	370.31±1198.03	0.60±3.91	0.87	128.59±768.61	0.28±3.16	0.95
GKH2005	284.70±1123.54	0.50±3.92	0.90	112.66±626.62	0.34±3.94	0.95
Traviata	279.44±1544.19	0.42±3.98	0.93	152.06±831.37	0.33±3.88	0.95



شکل ۹- برازش رگرسیون خطی ماده خشک تجمعی (گرم بر متر مربع) در برابر تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ (الف) و ۱۳۹۴-۹۵ (ب)

Figure 9-Linear regression fitted for cumulative dry matter against cumulative intercepted radiation in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

جدول ۸- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ارقام مختلف کلزا

Table 8- Correlation coefficients among investigated characteristics in different canola cultivars

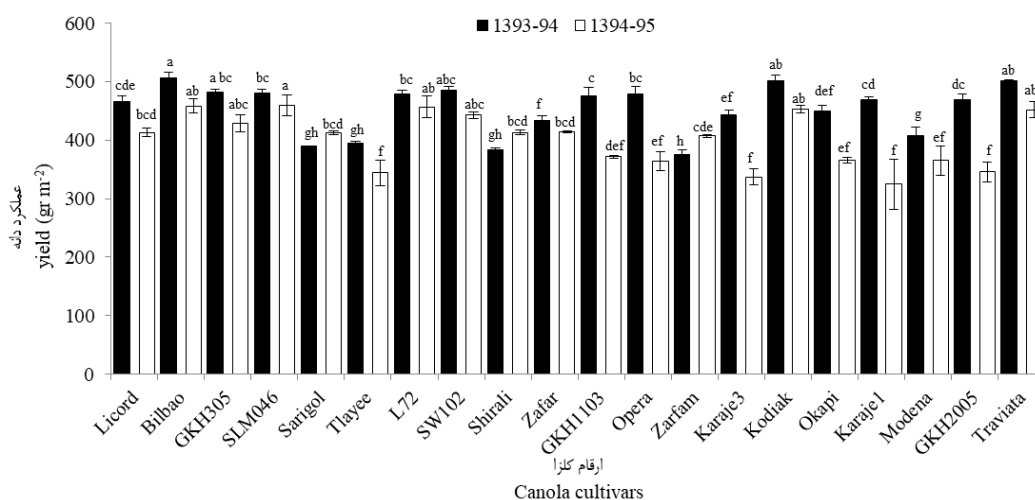
صفت	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Y	1													
BY	0.81**	1												
PN	0.78**	0.51**	1											
SN	0.64**	0.65**	0.53**	1										
SW	0.40**	0.23 ^{ns}	0.42**	0.02 ^{ns}	1									
HI	0.79**	0.29 ^{ns}	0.74**	0.37**	0.40**	1								
EM	-0.09 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	-0.26 ^{ns}	0.28 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	1							
Ssho	0.50**	0.42**	0.33*	0.47**	0.12 ^{ns}	0.35**	0.02 ^{ns}	1						
FIL	0.66**	0.46**	0.81**	0.45**	0.31*	0.59**	-0.24 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1					
DLAI _{max}	0.31*	0.23 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.77**	0.02 ^{ns}	1				
LAI _{max}	0.53**	0.63**	0.29 ^{ns}	0.54**	-0.13 ^{ns}	0.22 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.29 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	1			
K	-0.12 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.27 ^{ns}	-0.003 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.41**	1		
RUE	0.45**	0.35**	0.35**	0.45**	0.27 ^{ns}	0.37*	-0.02 ^{ns}	0.70**	0.24 ^{ns}	0.68**	0.09 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	1	
H	0.63**	0.68**	0.47**	0.68**	-0.06 ^{ns}	0.33*	-0.37*	0.45**	0.042 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.82**	0.33*	-0.34*	1

Y عملکرد، BY عملکرد بیولوژیک، PN تعداد خورجین در بوته، SN تعداد دانه در خورجین، SW وزن هزار دانه، HI شاخص برداشت، EM روز تا سبز شدن، Ssho روز تا شروع ساقه‌دهی، FIL دوام گل‌دهی، DLAI_{max} روز تا شاخص سطح برگ حداکثر، LAI_{max} شاخص سطح برگ حداکثر، K ضریب خاموشی نور، RUE کارایی مصرف نور

عملکرد دانه

به‌طور کلی عملکرد دانه در سال اول بیش‌تر از سال دوم انجام آزمایش بود (شکل ۱۰). میانگین عملکرد ارقام در سال اول ۴۵۳/۸۰ گرم در متر مربع و در سال دوم ۴۰۱/۸۴ گرم در متر مربع بود. با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت دو سال تفاوت عملکرد دور از انتظار نبود. احتمالاً بخشی از کاهش عملکرد مرتبط با کاهش شاخص‌های رشد، از جمله سرعت رشد محصول، به‌دلیل کاهش تشعشع دریافتی بود (شکل ۶). بیش‌ترین عملکرد در سال نخست انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، Kodiak، SW102، GKH-305 و Traviata با میانگین عملکرد ۴۹۵/۵۵ گرم در متر مربع و کم‌ترین عملکرد متعلق به ارقام زرفام، ساری‌گل، طلایه، شیرالی و Modena با میانگین عملکرد ۳۷۰/۴۸ گرم در متر مربع بود (شکل ۱۰). بیش‌ترین عملکرد در سال دوم انجام آزمایش متعلق به ارقام

بسیار کم‌ترین عملکرد در سال دوم انجام آزمایش متعلق به ارقام



شکل ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد ارقام مختلف کلزا در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵

Figure 10- Mean comparison of different cultivars of canola in 2014-2015 and 2015-2016 growing seasons

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام مختلف کلزا از لحاظ خصوصیات فیزیولوژیک با یکدیگر متفاوت بودند. این تفاوتها سبب تفاوت در عملکرد گردید. ارقامی که تطبیق بهتر پدیده‌های فیزیولوژیک را با شرایط آب و هوایی منطقه داشتند، دارای عملکرد بهتری بودند. تشعشع عامل تعیین کننده عملکرد بود و تطابق وقوع پدیده‌های فیزیولوژیک به‌ویژه شاخص سطح برگ با تشعشع بیش‌تر موجب افزایش عملکرد گردید. دوره گل‌دهی (شروع تا پایان گل‌دهی) از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک بود که به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی (به‌ویژه تشعشع) قرار داشت. همبستگی بالای دوره گل‌دهی با عملکرد ($r=0/66^{**}$) و نیز مهم‌ترین جزء عملکرد یعنی تعداد خورجین در بوته ($r=0/81^{**}$) گویای اهمیت این دوره در تعیین عملکرد کلزا در منطقه بود. ارقام از لحاظ شاخص‌های رشد با یکدیگر

متفاوت بودند. شاخص سطح برگ بیش‌تر و نیز انطباق زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ با تشعشع دریافتی بیش‌تر تعیین کننده عملکرد دانه بود. همبستگی شاخص سطح برگ حداکثر با عملکرد ($r=0/53^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0/63^{**}$) و نیز ارتباط قوی شاخص سطح برگ حداکثر با تعداد دانه در خورجین ($r=0/54^{**}$) گویای اهمیت این شاخص فیزیولوژیک می‌باشد. هم‌چنین همبستگی قوی بین حداکثر تجمع ماده‌ی خشک و عملکرد دانه وجود داشت. ($r=0/81^{**}$) بین RUE و روز تا رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر، همبستگی قوی و معنی‌داری وجود داشت ($r=0/68^{**}$)، یعنی ارقامی که وقوع شاخص سطح برگ حداکثر آن‌ها با تشعشع خورشیدی بیشتر همراه بود دارای کارایی مصرف نور بالاتر و در نتیجه تجمع ماده خشک حداکثر بالاتر بودند.

References

- Ahmadi, M. Investigation of physiological aspects of growth indices and yield for canola. 2013. Zeitune Magazin. Islamic Republic of Iran. Ministry of Agriculture-Jahad 215: 57-61. (in Persian).
- Allen, E. J. and Morgan, D. G. 2009. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. Journal of Agricultural Science 78: 315- 324.
- Attarbashi, M. R., Galeshi, S., Soltani, A., and Zinali, E. 2002. Relationship of phenology and physiology with grain yield in wheat under rainfed condition. Iranian Journal of Agriculture Science 2: 21-27. (in Persian).
- Azizi, M., and Arvin, P. 2007. Difference and radiation use efficiency in spring cultivars of the oilseed. Electronic Journal of Crop Production 4: 35-50. (in Persian).
- Azizi, M., Soltani, A., and Khavari khorasani, S. 2000. Brassica oilseeds (production). Iranian Academic Center for Culture and Research (ACECR). Mashhad. 230p. (in Persian).
- Baradaran, R., Majidi, E., Darvish, F., and Azizi, M. 2006. Study of correlation relationships and path coefficient analysis between yield and yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.). Iran Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University. 4: 811-819. (in Persian).
- Berry, M. P., and Spink, J. H. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yield, past and future (review). Journal of Agricultural Science. Cambridge. 199: 381-392.
- Campbel, C. A., Davidson, H. R., and Mcgain, T. N. 2003. Deposition of nitrogen and soluble sugars in Manitou spring wheat as influenced by N fertilizer, temperature and duration of moisture stress. Canadian Journal of Plant Science 63: 73-90.
- Carter, C. T., Brown, L. S., and Ungar, I. A. 2003. Effect of temperature regimes on germination of dimorphic seeds of *Atriplex prostrata*. Biologia Plantarum 47: 269-272.
- Clarke, J. M., and Simpson, G. M. 2008. Growth analysis of *Brassica napus* CV. Tower. Canadian Journal of Plant Science 58: 587-595.
- Etesami, M. 2007. Evaluation of the effect of some physiological traits on yield barley (*Hordeum Vulgare* L.) genotypes yield. MSc Thesis. Agriculture and Resources Science University of Gorgan. 78p. (in Persian).
- Faraji, A. 2005. Study on yield, Agronomic characters and traits correlation of eighteen spring canola cultivars in Gonbad Area. Seed and Plant 3: 385-398.
- Felent, F., Kiniry, J. R., Board, J. E., Westgate, M. E., and Reicosky, D. C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficient of corn, sorghum, soybean and sunflower. Agronomy Journal 88: 185-190.
- Gabrielle, B., Denoroy, P., Goose, G., Justes, E., and Andersen, M. N. 1998. A model of leaf area development and senescence for winter oilseed rape. Field Crops Research 57: 209-222.
- Gardner, F. P., Pearce R. B., and Mitchell R. L. 2005. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. USA. 421 pp.
- Habekotte, B. 2007. Evaluation of seed yield determining factors of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) by means of crop growth modeling. Field Crops Research 54: 137-151.
- Hey, R., and Porter, J. 2006. The Physiology and Crop yield. Blackwell publishing.

18. Hosseinzadeh, M. H., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2008. Effect of row spacing on light interception, grain yield and growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars as second crop following rice. Iranian Journal of Crop Sciences 3: 281-302. (in Persian).
19. Justes, E., Denoroy, P. Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. European Journal of Agronomy 13: 165-177.
20. Kemanian, A. R., Stockle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. Crop Science 44: 1662-1672.
21. Lebaschy, M. H., and Sharifi Ashour Abadi, E. 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. Pajouhesh and Sazandegi 65: 65-75. (in Persian).
22. Lucas, B., Slafer, A., and Otegui, E. 2003. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. Field Crops Research 86: 131-146.
23. Manaffe, W. F., and Kloepper, J. W. 2004. Application of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. Crop Science 35: 150-164.
24. Miralles, D. J., Ferro, B. C., and Slafer, G. A. 2011. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. Field Crops Research 71: 211-223.
25. Nabavi, A. 1998. The Effect of Planting Date on Yield and Components of Canola in Mashhad condition. MSc Thesis. Mashhad Ferdowsi University. (in Persian).
26. Nazeri, P., Khashan, A., Khavazi, K., Ardakani, M. R., and Mirakhori, M. 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth indices of bean. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 3: 111-126. (in Persian).
27. Ouzuni Douji, A. A., Esfahani, M., Samizadeh Lahiji, H. A., and Rabiei, M. 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled flowers rapeseed (*Brassica Bapus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 9: 400-328. (in Persian).
28. Rahimian mashhadi, H., and Banayane-Aval, M. Biological Control of Weeds. 2006. Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad. 116p. (in Persian).
29. Rodi, D., Rahmanpour, S., and Javidfar, F. 2003. Canola. Seed and plant improvement institute of Karaj, Iran. 53p. (in Persian).
30. Sharma, A. K. 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1st edition. Jodhpur: Agrobios, India. 456p.
31. Sinclair, T. R., and Muchow, R. C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 35: 215-265.
32. Soltani, A. 2005. Determination of effective parameters on accumulation and distribution nitrogen on chickpea. Research design reported. The University Agricultural Science and Natural Resources of Gorgan. 120 p. (in Persian).
33. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi Daz, M., and Sarparast, R. 2006b. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology 138: 156-167.
34. Sylvester-Bradley, R., and Makepeace, R. J. 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Aspects of Applied Biology 6: 398-419.
35. Tahmasebizade, H., Khodabande, N., Madani, H., and Farahani, I. 2009. Investigation of growth analysis of spring safflower and its effect on yield in Arak condition. New Finding in Agriculture 2: 136-154. (in Persian).
36. Thurling, N. 1974. Morphophysiological determinants of yield in rapeseed (*Brassia campestris* and *Brassica napus*). II. Yield components. Australian Journal of Agricultural Research 25: 711-721.
37. Vanosterom, E. J., Oleary, G. J. Caberry, P. S., and Craufurd, P. Q. 2007. Growth, development, and yield of tillering pearl millet. III. Biomass accumulation and partitioning. Field Crops Research 79: 85-106.
38. Yano, T., Aydin, M., and Haraguchi, T. 2007. Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. Sensors 7: 2297-2315.
39. Zamiri, M. A. 2009. Investigation of the effect of Planting dare on growth, Yield and Components three Cultivars of Canola in Dezfoul Condition. MSc Thesis. Islamic Azad University. Dezfoul Branch. 141p. (in Persian).
40. Zia, S., and Khan, M. A. 2004. Effect of light, salinity and temperature on seed germination of Limonium stocksii. Canadian Journal of Botany 84: 151-157.



Investigation the Physiological Traits Associated with Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes Yield Improvement

A. Foroughi^{1*}, A. Biabani², A. Rahemi Karizaki³, Gh. A. Rassam⁴

Received: 14-04-2017

Accepted: 18-09-2018

Introduction: Canola (*Brassica napus* L.) is one of the most important oil crops in the world. It has placed in third rank after soybean and palm and has the fastest of growth rate among oil seed in recent decades too. Canola yield was 1592 and 1567 kg.ha⁻¹ in Iran and the world in 2003, respectively, however it has increased to 2125 and 2043 kg.ha⁻¹ in Iran and the world in 2014, respectively. Crop physiologist should investigate the important physiological parameters which in the past have increased yield and can help to increase the quality and quantity of crop yield in the future. Therefore, the current study was carried out to evaluate the physiological traits associated with canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield improvement.

Materials and Methods: Experiment was conducted as randomized complete block design with four replications at Higher Education Complex of Shirvan during growing seasons 2014-2015 and 2015-2016. Treatments were included 20 cultivars and lines of rapeseed. The record of phenological stages was done based on Sylvester-Bradley (1984)'s method. Before the plants showed elongation. Aboveground biomass and leaf area index (LAI) were measured from destructive sampling and it has been continuing at intervals of 6 to 10 d until physiological maturity. The ratio intercepted photosynthetic active radiation (PAR) was obtained by measuring of radiation at the top and bottom of the canopy with a Ceptometer (ACCUPAR model LP-80). Light was measured just before each destructive sampling between the hours of 12 to 14 on clear days. To calculate the daily cumulative solar active radiation we used RLY- calc program (Soltani, 2011). In order to investigation of growth indices, we have divided the varieties to three group based on cluster analysis and is select a variety as group representative. The groups are included high yield (Bilbao), medium yield (Karaje 3) and low yield (Sarigol).

Results and Discussion: Results indicated that there were significant differences among studied varieties in terms of phenological traits. So that Sarigol, Talayee, Shirali, Zafar and Zarfam were achieved earlier than others to physiological maturity. Positive and significant correlation of flowering duration with yield and the number of pod plant⁻¹ has showed its importance in determination of yield. Positive and significant correlation among flowering duration with yield ($r=0.66^{**}$) and the number of pod per plant ($r=0.88^{**}$) showed its importance in determination of yield. Also, the most important of stage at making yield was affected by environmental conditions such as temperature, radiation and rainfall. LAI for Bilbao was higher than Sarigol and Karaje 3. Also, Sarigol was achieved maximum LAI earlier than two other varieties. There was strong correlation between yield and maximum dry matter accumulation ($r=0.81^{**}$). The synchronization of maximum LAI with more solar radiation was much more important to achieve maximum yield. In the first year of experiment, crop growth rate (CGR) and relative growth rate (RGR) were higher than second. There was more solar radiation in first year that it was increased growth indices. The average extinction coefficient of light (KPAR) is estimated 0.70 and 0.72 in the first and second year of experiment respectively. In the first year of experiment, KPAR was varied between 0.65 (Shirali) to 0.76 (Modena and GKH-2005). In the second year, the highest and lowest extinction coefficient was belonged to the varieties Zafar (0.80) and Karaje 3 (0.63) respectively. The average of radiation use efficiency (RUE) is estimated between 3.8 and 3.6g MJ.m⁻² in the first and second year respectively. Reducing light use efficiency in the second year can be probably because of obvious difference of weather between two years especially decreased of radiation. In other words, more scattered radiation in the second year than first year can be a major reason for this difference. In general, grain yield in the first was more than the second year of the experiment. The average yield of cultivars in the first and second year was 453.8 g.m⁻² and 401.8 g.m⁻²

1- Former Ph.D. student of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University

2- Associate Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University

3- Assistant Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University

4- Associate Professor of Crop Ecology, Department of Plant production, Higher Education Complex of Shirvan

(*- Corresponding Author Email: abbasfrooghi@yahoo.com)

respectively. The highest yield in the first year belonged for Bilbao, Kodiak, SW102, GKH-305 and Traviata with the mean 495.5 g.m^{-2} and the lowest yield related to Zarfam, Sarigol, Talaei, Shiraly and Modena with the average amount of 370.5 g.m^{-2} . The highest yield in the second year belonged to Bilbao, GKH-305, Slm046, L72, SW102, Kodiak and Traviata with the average amount of 450.3 g.m^{-2} and the lowest yield belonged to cultivars Talayeh, Opera, Karaj 3, Okapi, Modena, GKH-2005 and Karaj 1 with an average yield of 349.7 g.m^{-2} . In general, cultivars with a higher LAI, as well as whose their maximum LAI coincided with higher radiation input had higher yield.

Conclusions: It can be concluded the importance of the synchronization maximum leaf area index with more solar radiation. For canola if the maximum LAI is less than four can say that growth and yield will be limited due to lack of leaf area because LAI about four is sufficient to obtain about 90 % of solar radiation. Therefore in spite of second year, in the first year LAI was not limiting factor to achieve maximum biomass. Since maximum LAI of canola occurs in flowering stage, so higher leaf area index at this time was caused the cultivars use more solar radiation. In addition to maximum LAI, the coincidence maximum LAI with higher radiation input was important factor to achieve a higher yield as a result more dry matter accumulation.

Keywords: Extinction coefficient, Leaf area index, Phonological characteristics, Radiation use efficiency



به‌گزینی ژنوتیپ‌های نخود برای تحمل به سرما در شرایط کنترل‌شده

داود صادق‌زاده اهری*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴

چکیده

در این مطالعه تحمل به یخ‌زدگی ۳۳ ژنوتیپ نخود موجود در آزمایش‌های مقایسه عملکرد پیشرفته مناطق سردسیر دیم و سه ژنوتیپ شاهد (سارال، ILC 533 و جم) در اتاقک سرما و در قالب طرح لاتیس مربع با دو تکرار بررسی شد. کشت در هفتم مهر ماه انجام و تا مرحله شش هفتگی در بیرون از گلخانه نگهداری و تعداد بذره‌های سبز شده آنها یادداشت گردید. گیاهچه‌ها به مدت یک ساعت در معرض سرمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس به مدت سه روز به اتاقک رشد (دمای ۴+ درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند. گیاهان در شرایط گلخانه به مدت دو هفته و در دمای 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد نگهداری و تعداد گیاهچه‌های باقیمانده ژنوتیپ‌ها ثبت شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر نسبت مقاومت به یخ‌زدگی وجود داشت. لاین‌های شماره ۱۴ (SEL99TH15039)*SEL99TER85074 (Flip98-138C)، ۲۸ (FLIP 00-84 C) و رقم سارال به ترتیب با ۱۰۰، ۹۸ و ۸۹ درصد بقاء دارای بیشترین تحمل به یخ‌زدگی بودند. رقم نخود کاکا و لاین شماره ۱۲ (Flip 98-28C*Flip 98-22C)* ICCV2) با میزان بقای پنج درصد دارای کمترین تحمل در برابر یخ‌زدگی بودند. جمع‌بندی نتایج ضمن تأیید وجود منابع ژنتیکی متحمل به سرما در ژرم‌پلاسما مورد مطالعه، نشان داد که امکان دسترسی به ژنوتیپ‌هایی با تحمل به سرمای بیشتر از رقم سارال به‌عنوان اولین رقم متحمل به یخبندان، جهت کشت پاییزه در مناطق سردسیر دیم وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: رقم سارال، دیم، گیاهچه، لاین، نسبت مقاومت به یخ‌زدگی

مقدمه

و غیره از جمله مناطقی هستند که زراعت نخود دیم در آن‌ها از دیرباز مرسوم است (Sadeghzadeh-Ahari, 2015).

افزایش تولید نخود و پایداری آن در مناطق مختلف دیم کشور نیازمند ایجاد، شناسایی و معرفی ارقامی است که دارای ترکیبی از قابلیت تولید بالا و تحمل به تنش‌ها باشند. آمار و گزارش‌های موجود، حاکی از کم بودن عملکرد نخود دیم (حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) در این مناطق است (Anonymous, 2015 b). یکی از دلایل کم بودن عملکرد نخود دیم در این مناطق، در دسترس نبودن ارقام متحمل به سرما و کشت بهاره آن است. در مناطق سردسیری دمای حداقل مطلق در زمستان به کمتر از ۶- تا ۱۲- درجه سانتی‌گراد می‌رسد و کشت پاییزه نخود در این نواحی، باعث بروز خسارت کامل به گیاه در اثر سرما می‌شود (Saeed et al., 2010). نتایج مطالعات نشان داده است که، کشت پاییزه ارقام متحمل به سرما می‌تواند محصول نخود در واحد سطح را تا دو برابر افزایش دهد (Nezami et al., 2010; Ozdemir and Karadavut, 2003).

مرور منابع نشان می‌دهد که اغلب مطالعات مربوط به ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به یخ‌زدگی در نخود تحت شرایط طبیعی (مزرعه) انجام شده ولی تنوع مکانی و زمانی در بروز سرما تحت چنین شرایطی ممکن است منجر به اخذ نتایج متفاوتی شود. به‌نظر پژوهشگران، استفاده از روش به‌گزینی در محیط‌های کنترل‌شده از

نخود (*Cicer arietinum* L.) در بین حبوبات یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی کشور محسوب می‌شود (Eradatmand-Asli and Mehrpanah, 2009; Parsa and Bagheri, 2008). مطابق آمار موجود، سطح زیر کشت نخود در کشور با نوساناتی در برخی سال‌ها بین ۵۵۰-۹۰۰ هزار هکتار است که بیش از ۹۰٪ آن به صورت دیم است (Anonymous, 2015 a).

اقلیم‌های سرد و فراسرد، بیش از ۶۳٪ از سطح کشور را شامل می‌شوند (Khalili et al., 1991) و بیش از ۶۰٪ زراعت دیم ایران در مناطق سردسیر و کوهستانی انجام می‌گیرد. وجود سرماهای شدید زیر صفر درجه سانتی‌گراد که در برخی سال‌ها حتی به ۲۵- درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد به همراه دوره یخبندان طولانی در سال از خصوصیات مهم اقلیمی در این مناطق است. استان‌های واقع در مناطق سردسیر کشور نظیر کردستان، آذربایجان‌های شرقی و غربی، خراسان (رضوی و شمالی)، مناطقی از کهگیلویه و بویر احمد، لرستان

۱- دانشیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: dsadeghzade@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.66071

شاهدهای سارال، جم و نیز یک شاهد حساس به سرما (لاین ILC533 به عنوان شاهد استاندارد) شرکت داشتند.

در هر تکرار، تعداد ۱۰ عدد بذر سالم از هر ژنوتیپ با قارچ کش بنومیل^۱ (به نسبت یک و نیم در هزار) ضد عفونی شده و در عمق پنج سانتی متری خاک (عمق توصیه شده برای کشت نخود دیم) در جعبه های مخصوص پلاستیکی (۲۵×۸۰×۱۰ سانتی متر) کشت شدند. خاک مورد استفاده برای کشت خاک معمولی مزرعه (بافت کلی لوم، pH=7.3، درصد مواد آلی برابر ۰/۸ و هدایت الکتریکی برابر ۰/۸۵ دسی زیمنس بر متر) بوده و بلافاصله پس از کاشت اقدام به آبیاری بسترهای کشت شد. زمان کاشت هفتم مهر ماه ۱۳۹۳ بود. به منظور شبیه سازی شرایط طبیعی رشد و نمو پاییزه و القای خوسرمایی در نتیجه کاهش دما و فتوپریود رایج در پاییز، جعبه های کاشت در بیرون از گلخانه نگهداری (Izadi-Darbandi et al., 2016) و هر هفته یک بار اقدام به آبیاری آنها شد.

پس از رسیدن گیاهان آزمایشی به سن شش هفتگی اقدام به یادداشت برداری از تعداد بذور سبز شده گردیده و جعبه های کاشت به شرایط کنترل شده (اتاقک سرما) منتقل شدند. به منظور ایجاد هستک یخ و جلوگیری از فراسرد شدن گیاهچه ها اقدام به پاشش قشر نازکی از محلول حاوی باکتری های فعال مولد هستک یخ (INAB)^۲ بر سطح گیاهان در دمای ۲- درجه سانتی گراد شد (Izadi-Darbandi et al., 2016). دمای اتاقک سرما تا رسیدن به دمای ۱۵- درجه سانتی گراد با روند کاهشی دو درجه در ساعت تنظیم و پس از رسیدن به دمای مذکور، گیاهان به مدت یک ساعت در اتاقک نگهداری شدند. سپس گیاهچه ها به مدت سه روز در دمای چهار درجه سانتی گراد نگهداری شده و بعد از آن به مدت دو هفته در شرایط دمایی ۳±۲ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. در پایان اقدام به یادداشت برداری از تعداد گیاهان باقیمانده در ژنوتیپ های آزمایشی گردید.

در این بررسی با یادداشت برداری از تعداد بذور سبز شده قبل از تیمار سرما (P₁) و تعداد گیاه باقیمانده پس از تیمار سرما (P₂) و با استفاده از حاصل نسبت P₂ بر P₁ نسبت مقاومت به یخ زدگی (FRR)^۳ ژنوتیپ های آزمایشی محاسبه شد (Wery, 1990). از نرم افزار MSTAT-C برای تجزیه آماری داده ها استفاده شد. برای مقایسه میانگین ها از آزمون های کمترین اختلاف معنی دار آماری (LSD) در سطح احتمال یک و پنج درصد استفاده شد. بر مبنای روش های مورد استفاده توسط سایر پژوهشگران، ژنوتیپ هایی که نسبت تحمل به سرمای آنها ۱-۰/۹۱، ۰/۹۰-۰/۸۱ و ۰/۸۰-۰/۷۱ بود به ترتیب در گروه خیلی مقاوم، مقاوم و متحمل دسته بندی شدند (Farayedi, 2007; Yazdi Samadi et al., 2004).

محدودیت های فصلی جلوگیری کرده، سبب صرفه جویی در زمان شده و ضمن حذف عوامل ناخواسته، دقت مطالعات را افزایش می دهد (Keykha Akhar et al., 2012; Sadeghzadeh-Ahari and Farayedi, 2013; Nezami et al., 2007).

ارزیابی تحمل به تنش سرما در گیاهچه های ۲۱ روزه پنج ژنوتیپ نخود در شرایط کنترل شده نشان داد که با کاهش دما، میزان خسارت به غشای سلول افزایش می یابد (Fathi et al., 2016). بررسی تحمل به یخ زدگی هفت ژنوتیپ نخود تحت شرایط کنترل شده (اتاقک سرما) در دماهای مختلف (۰، ۵-، ۱۰-، ۱۵- و ۲۰-) و در سنین متفاوت گیاهچه ای (۱، ۳ و ۶ هفتگی) نشان داد که تفاوت بسیار معنی داری بین ژنوتیپ های آزمایشی از نظر نسبت تحمل به یخ زدگی وجود داشته و بیشترین خسارت یخ زدگی در مرحله شش هفتگی گیاهان رخ می دهد (Sadeghzadeh-Ahari, 2015). نتایج مطالعه روی گیاهچه های حاصل از کشت ریز نمونه محور جنینی به همراه تک لپه سه ژنوتیپ نخود نشان داد که بیشترین درصد خسارت یخ زدگی (۱۰۰ درصد) در دمای ۱۶- درجه سانتی گراد حادث می گردد (Keykha Akhar et al., 2012).

تحقیقات انجام شده در ایستگاه های تحقیقاتی مناطق سردسیر دیم منجر به شناسایی برخی ژنوتیپ های متحمل به یخ زدگی در نخود دیم شده است (Sadeghzadeh-Ahari, 2011; Sadeghzadeh-Ahari, 2012). ژنوتیپ های مذکور منحصراً تحت شرایط طبیعی (مزرعه) مورد به گزینی قرار گرفته اند ولی به دلیل شرایط متغیر آب و هوایی از قبیل تغییر در شروع بارندگی های اول فصل، تغییر در تعداد روزهای یخبندان در مناطق و طی سال های مختلف و نیز گاهاً وجود یا عدم وجود پوشش برفی در منطقه، قاطعیتی در تعیین لاین های متحمل به یخ زدگی وجود ندارد. این بررسی به منظور تکمیل مطالعات مزرعه ای و در نهایت شناسایی ژنوتیپ های متحمل به یخ زدگی و مناسب کشت در مناطق سردسیر دیم کشور انجام گردید.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر سرمای ۱۵- درجه سانتی گراد بر ژنوتیپ های نخود دیم در مرحله گیاهچه ای (با سن شش هفته)، این مطالعه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ تحت شرایط کنترل شده (اتاقک سرما) در قالب طرح لاتیس مربع با دو تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه (طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۷۲۰ متر) اجرا شد. در این مطالعه ۳۳ ژنوتیپ نخود دیم که در آزمایش های پیشرفته مقایسه عملکرد دانه در ایستگاه های مناطق سردسیر دیم (مراغه، ارومیه، سنندج و قیدار) تحت بررسی بودند به همراه

1- Benomyl 50% WP

2- Ice Nucleation Active Bacteria

3- Frost Resistance Ratio (FRR)

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی از نظر تحمل به یخ‌زدگی (FRR) وجود داشت (جدول ۱). این امر حاکی از وجود تنوع ژنتیکی در ژرم‌پلاسما مورد بررسی می‌باشد. گزارش‌هایی در خصوص وجود تنوع ژنتیکی در مورد صفت

تحمل به سرما در نخود موجود است که با نتایج پژوهش حاضر Heydarvand *et al.*, 2011;) آن را تأیید می‌کند (Kanouni *et al.*, 2009; Zare-Mehrjerdi *et al.*, 2005; Naderi *et al.*, 2013; Croser *et al.*, 2003).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفت نسبت مقاومت به یخ‌زدگی در ژنوتیپ‌های آزمایشی نخود تحت شرایط اتاقک سرما

Table 1- Analysis of frost resistance ratio in chickpea genotypes under cold room condition		
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
S.O.V	d.f	MS
Replication تکرار	1	0.053 ^{ns}
Genotype ژنوتیپ	35	0.15 ^{**}
Blocks in reps بلوک‌های داخل تکرار	10	0.08
Effective موثر	25	0.050
Error خطای آزمایشی	35	0.055
	25	0.045
Relative usefulness to RCBD سودمندی نسبی نسبت به طرح بلوک		108.3
C.V% درصد ضریب تغییرات		58.8

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ns= فاقد اختلاف معنی‌دار آماری

** Significant at 1% probability level, ns= not significant

معنی‌دار آماری نشان داد که در مقایسه با رقم شاهد سارال تعداد ۱۵ ژنوتیپ (حدود ۴۲ درصد از ژنوتیپ‌های آزمایشی) از نظر تحمل به یخ‌زدگی اختلافی نداشتند و متقابلاً تعداد ۵ و ۱۶ ژنوتیپ به‌ترتیب در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ با رقم سارال اختلاف آماری معنی‌داری داشته و در کلاس‌های مجزایی گروه‌بندی شدند (جدول ۲).

نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۳۱٪ از ژنوتیپ‌های آزمایشی از نسبت مقاومت به یخ‌زدگی بالاتر از ۰/۵ (درصد بقای بیشتر از ۵۰ درصد) برخوردار بوده و بر مبنای روش مورد استفاده در گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی (Farayed, 2007; Yazdi Samadi *et al.*, 2004) دو ژنوتیپ شماره ۱۴ و ۲۸ با نسبت مقاومت به یخ‌زدگی ۰/۹۱-۱ (بقای ۹۱-۱۰۰ درصد) در گروه ژنوتیپ‌های خیلی مقاوم و ژنوتیپ شماره ۱۱ در گروه مقاوم جای داشته و ژنوتیپ شماره ۱۷ در گروه متحمل به یخ‌زدگی قرار گرفت (جدول ۲ و شکل ۱). بر این مبنای حدود ۱۱ درصد از ژنوتیپ‌های تحت بررسی از تحمل نسبتاً مناسبی در برابر تنش یخ‌زدگی اعمال شده برخوردار بودند. بر اساس ماهیت ژرم‌پلاسما مورد مطالعه، مرحله رشدی، شدت و مدت اعمال تنش سرما، محیط آزمایشی (مزرعه و یا کنترل‌شده)، نتایج مختلفی از بررسی میزان تحمل به سرما و یخ‌زدگی در ژرم‌پلاسما نخود گزارش شده است. نتایج یک بررسی در شرایط مزرعه‌ای روی ۱۰ ژنوتیپ نخود تیپ کابلی نشان داد که ۱۰٪ درصد از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نوع مقاوم و ۷۰٪ از نوع متحمل به

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۴، ۲۸، ۱۳ (رقم سارال)، ۱۱ و ۱۷ به‌ترتیب با نسبت مقاومت به یخ‌زدگی یک (صد در صد بقاء)، ۰/۹۸، ۰/۸۹، ۰/۷۵ و ۰/۷۰ از تحمل به سرمای بیشتری تحت شرایط این بررسی برخوردار بوده و در مقایسات میانگین به روش LSD (سطح احتمال پنج درصد) در بالاترین گروه آماری قرار گرفتند. رقم سارال در سال ۱۳۹۲ به‌عنوان اولین رقم مقاوم به یخبندان در کشور معرفی گردید و نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که ضمن تحمل به سرمای پاییزه و زمستانه موجود در مناطق سردسیر دیم کشور در زیر پوشش برفی، ژنوتیپی با تحمل مناسب در برابر سرمای بدون پوشش برف (سرما تا ۱۸- درجه سانتی‌گراد) است (Sadeghzadeh-Ahari, 2015; Kanouni *et al.*, 2013). نتایج پژوهش حاضر نیز حاکی از تحمل نسبتاً مناسب رقم سارال در برابر تنش یخ‌زدگی بود.

نتایج همچنین نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۲۸ در برابر تنش یخ‌زدگی تحمل بیشتری در مقایسه با رقم سارال دارند. وجود منابع ژنتیکی متحمل به سرما در نخود توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Sedaghat Khahi *et al.*, 2011; Nezami and Bagheri, 2006; Kanouni *et al.*, 2009; Farayed, 2007; Porsa *et al.*, 2016) که در راستای نتایج این پژوهش بوده و آن را تأیید می‌کند.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی بر مبنای آزمون کمترین اختلاف

گرفته و از تحمل کمتری نسبت به آنها برخوردار بودند (جدول ۲). مطالعات انجام شده توسط سایر پژوهشگران نیز حاکی از تحمل کم ژنوتیپ ILC 533 به یخزدگی است (Naderi *et al.*, 2013; Kanouni *et al.*, 2009; Saeed *et al.*, 2010; Kanouni, 2004; Sadeghzadeh-Ahari, 2015). همچنین گزارش شده است که نخود توده بومی قزوین در کشت زود هنگام پاییزه حساس به تنش سرمایی بوده و از تحمل به یخزدگی مطلوبی برخوردار نیست (Saeed *et al.*, 2010; Saghfi *et al.*, 2013).

سرما بودند ولی ژنوتیپ خیلی مقاوم به سرما وجود نداشت (Farayed, 2007). صداقت‌خواهی و همکاران (Sedaghat Khahi *et al.*, 2011) در بررسی ۸۱ ژنوتیپ متحمل به سرما در منطقه مشهد نشان دادند که درصد بقای ۷۳ درصد از نمونه‌ها بیش از ۷۵ درصد بود.

شاهد حساس به سرما (ILC 533) در این بررسی دارای نسبت مقاومت به یخزدگی ۰/۱۳ بوده و پس از آن ژنوتیپ‌های شماره ۲۶، ۴، ۳۵ (توده بومی قزوین)، ۱۲ و ۳۶ (رقم کاکا) ضمن داشتن تفاوت معنی‌دار آماری با سایر ژنوتیپ‌ها، در پایین‌ترین گروه آماری قرار

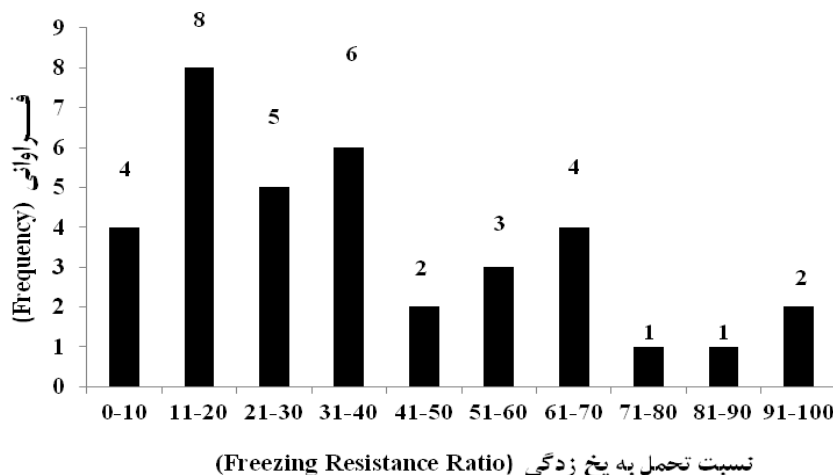
جدول ۲- مقایسه میانگین نسبت مقاومت به یخزدگی ژنوتیپ‌های نخود تحت شرایط کنترل شده

Table 2- Mean comparisons of frost resistance ratio in chickpea genotypes under cold room condition

شماره NO.	ژنوتیپ Genotype	نسبت مقاومت به یخزدگی Frost Resistance Ratio
1	(S 00787*Flip 98-28C)* ILC 1929	0.250 ^{e*}
2	S 00791*Flip 98-23C)* ICCV2	0.392 ^d
3	Flip 98-131C*Flip 99-47C	0.450 ^c
4	Flip 97-195C*Flip 97-23C	0.100 ^e
5	Flip 98-128C*Flip 97-102C	0.350 ^d
6	Flip 97-220C*Flip 98-178C	0.222 ^e
7	Flip 98-131C*Flip 98-50C	0.400 ^d
8	Flip 97-220C*Flip 98-178C	0.579 ^c
9	Flip 98-130C* Lebanese market	0.167 ^e
10	(Flip 97-81C*Flip 97-25C)*ICCV2	0.200 ^e
11	(Flip 97-149C*Flip 97-26C)* ICCV2	0.746 ^c
12	(Flip 98-28C*Flip 98-22C)* ICCV2	0.054 ^e
13	SARAL (Cold Tolerance Check)	0.892 ^c
14	(Flip98-138C* SEL99TER85074)*SEL99TH15039	1.000 ^c
15	Flip98-138C*SEL99TH15039	0.153 ^e
16	Flip98-15C* S 98033	0.219 ^e
17	CA9783007*SEL99TER85534	0.700 ^c
18	UZ-6075*SEL99TER85581	0.650 ^c
19	(Flip98-52C*Flip98-12C)* SEL99TH15045	0.700 ^c
20	(S 00794*Flip 98-38C)*ILC 1929	0.400 ^c
21	Flip 98-130C*Flip 97-23C	0.250 ^e
22	Flip 98-133C*Flip 98-117C	0.208 ^e
23	Flip 97-131C*Gokce	0.558 ^c
24	(ILC4291* Flip98-129C)*S 98008	0.190 ^c
25	FLIP 98-108C	0.313 ^d
26	FLIP 97-118 C (Saeid)	0.117 ^e
27	FLIP 00-75	0.675 ^c
28	FLIP 00-84	0.975 ^c
29	FLIP 02-85	0.512 ^c
30	Sel 96 th .11439	0.456 ^c
31	ILC 482	0.153 ^e
32	ILC 3279(Binalood)	0.135 ^e
33	ILC 533(Cold Suseptible Check)	0.132 ^e
34	JAM	0.306 ^d
35	Ghazvin Local	0.069 ^e
36	Kaka	0.053 ^e
LSD 1% = 0.63		
LSD 5% = 0.46		

*حرف d نشان‌دهنده تحمل کمتر از شاهد مقاوم به یخزدگی (رقم سارال) در سطح ۵٪ LSD، حرف e نشان‌دهنده تحمل کمتر از شاهد مقاوم به یخزدگی در سطح ۱٪ LSD و حرف c به معنی تحمل در سطح شاهد مقاوم به یخزدگی (بدون اختلاف معنی‌دار) است.

*d letter indicates the tolerance less than the freezing tolerance of check (Saral) at LSD=0.05, e letter indicates the resistance less than the freezing tolerance of check (Saral) at LSD=0.01 and c letter indicates no significant difference with check (Saral).



شکل ۱- فراوانی نسبت تحمل به یخ‌زدگی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط کنترل‌شده

Figure 1- Frost resistance ratio frequency histogram of chickpea genotypes under controlled condition

نتیجه‌گیری

به ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر از رقم سارال توصیه می‌شود. همچنین به دلیل تحمل نسبتاً مناسب رقم سارال در برابر تنش یخ‌زدگی در مرحله شش هفتگی، توسعه کشت و کار پاییزه آن در مناطق سردسیر دیم که پس از بارندگی‌های پاییزه مناسب برای سبز شدن بذور به یک‌باره دما هوا به زیر صفر نزول می‌کند (مناطق از استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان، زنجان، همدان، اردبیل و غیره) توصیه می‌گردد.

نتایج این مطالعه نشان داد که از نظر مقاومت به یخ‌زدگی در ژرم‌پلاسما اصلاحی تنوع وجود داشته و ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۲۸ به‌عنوان منابع ژنتیکی مقاوم‌تر از رقم سارال در برابر تنش یخ‌زدگی بودند. بررسی‌های تکمیلی در زمینه مطالعه سازگاری و پایداری عملکرد دانه با استفاده از ژنوتیپ‌های منتخب در کشت پاییزه مناطق سردسیر دیم در کنار اطلاعات حاصل از این پژوهش جهت دستیابی

References

- Anonymous. 2015 a. Statistical information of agricultural crops production in Iran. Department of Statistics. Ministry of Jihad-e-Keshavarzi 1: 1-44. (in Persian).
- Anonymous. 2015 b. Survey of harvest area and crop production during 36 years (1977-2013). Department of Statistics. Ministry of Jihad-e-Keshavarzi 112-118. (in Persian).
- Croser, J. S., Clarke, H. J., Siddique, K. H. M., and Khan, T. N. 2003. Low-temperature stress: implications for chickpea (*Cicer arietinum* L.) improvement. Critical Reviews in Plant Sciences 22 (2): 185-219.
- Eradatmand-Asli, D., and Mehrpanah, H. 2009. Pulse Crops Production and Nitrogen Fixation. Islamic Azad University of Saveh. (in Persian).
- Farayedi, Y. 2007. Study on agronomic characteristics and cold hardiness in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in autumn rainfed sowing condition. Seed and Plant Improvement Journal 23 (4): 489-503. (in Persian with English abstract).
- Fathi, E., Tahmasebi, I., and Teimoori, N. 2016. Electrolyte leakage and catalase and peroxidase activity in chickpea genotypes seedling responding to low temperatures. Agro Ecology Journal 12 (2): 25-34. (in Persian with English abstract).
- Heidarvand, L., Maali Amiri, R., Naghavi, M. R., Farayedi, Y., Sadeghzadeh, B., and Alizadeh, Kh. 2011. Physiological and morphological characteristics of chickpea accessions under low temperature stress. Russian Journal of Plant Physiology 58 (1): 157-163.
- Izadi-Darbandi, E., Nezami A., Hassanbeigy, R., and Janalizadeh Ghazvini, M. 2016. The effect of freezing stress on percentage of electrolytes leakage and survival of flaxweed (*Descurainia sophia* L.) seedlings. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (2): 369-379. (in Persian with English abstract).
- Kanouni, H., Khalily, M., and Malhotra, R. S. 2009. Assessment of cold tolerance of chickpea at rainfed highlands of Iran. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Sciences 5 (2): 250-254.
- Kanouni, H. 2004. Study of cold tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in fall sown nurseries. Seed and Plant Improvement Journal 20 (1): 89-99. (in Persian with English abstract).

11. Kanouni, H., Farayedi, Y., Sabaghpour, S. H., Sadeghzadeh- Ahari, D., Shahab, M. R., Kamel, M., Saeid, A., Mahmoodi, A. A., Pezeshkpour, P., Norollahi, Kh., 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 abstract).
12. Keykha Akhar, F., Bagheri, A., Moshtaghi, N., and Nezami, A. 2012. Selection for freezing tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) by in vitro culture. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2): 292-298. (in Persian with English abstract).
13. Khalili, A., Hojam, S., and Irannejhad, P. 1991. Extensive project of country water. Vol.4. Recognition of Iranian climatology, weather divisions. Ministry of Power publications. 274 pp. (in Persian).
14. Naderi, H., Shokrpour, M., Asghari, A., Kanooni, H., and Esfandiari, A. 2013. Evaluation of cold tolerance in winter sowing of chickpea (*Cicer arietinum* L.) using morphological and phenological traits in Kurdistan. Iranian Journal of Pulses Research 4 (1): 69-80. (in Persian with English abstract).
15. Nezami, A., Bagheri, A., Rahimian, H., Kafi, M., Nasiri Mahalati, M. 2007. Evaluation of freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under controlled conditions. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 10 (4): 257-269.
16. Nezami, A., and Bagheri, A. 2006. Preliminary evaluation of phenology, yield components and yield of fall chickpea genotypes in the Mashhad conditions. Agricultural Sciences and Technology Journal 20 (3): 71-80. (in Persian with English abstract).
17. Nezami, A., Sedaghatkhahi, H., Porsa, H., Parsa, M., and Bagheri, A. R. 2010. Evaluation of autumn sowing chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes of cold tolerant under supplemental irrigation. Iranian Journal of Field Crops Research 8: 415-423. (in Persian with English abstract).
18. Ozdemir, S., and Karadavut, U. 2003. Comparison of the performance of autumn and spring sowing of chickpeas in a temperate region. Turk Journal of Agriculture and Forestry 27: 345-352.
19. Parsa, M., and Bagheri, A. R. 2008. Pulses. Mashhad Jihad-e- Daneshghahi Publ. (in Persian).
20. Porsa, H., Nezami, A., Bagheri, A. and Najibnia, S. 2016. Agronomic assessment of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in fall sowing at Mashhad conditions. Iranian Journal of Pulses Research 7 (1): 37-53. (in Persian with English abstract).
21. Saeed, A., Darvishzadeh, R., Hovsepyan, H., and Asatryan, A. 2010. Tolerance to freezing stress in *Cicer* accessions under controlled and field conditions. African Journal of Biotechnology 9 (18): 2618-2626.
22. Saghfi, S., Eivazi, A. R., and Qasimov, N. 2013. Assessing of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to cold stress with different planting dates. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (8): 1903-1909.
23. Sadeghzadeh-Ahari, D. 2011. Improving researches results of dryland pulses. Dryland Agricultural Research Institute publications. (in Persian).
24. Sadeghzadeh-Ahari, D. 2012. Improving researches results of dryland pulses. Dryland Agricultural Research Institute publications. (in Persian).
25. Sadeghzadeh-Ahari, D. 2015. Effect of freezing temperatures on different seedling ages of chickpea genotypes under controlled conditions. Seed and Plant Production Journal 31 (2): 161-172. (in Persian with English abstract).
26. Sadeghzadeh-Ahari, D., and Farayedi, Y. 2013. Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) advanced lines to no snow cover cold in fall planting. Seed and Plant Improvement Journal 29 (4): 711-727. (in Persian with English abstract).
27. Sedaghat Khahi, H., Parsa, M., Nezami, A., Bagheri, A., and Porsa, H. 2011. Evaluating of the morphological and phenological characteristics of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes at Entezary sowing in Mashhad conditions. Iranian Journal of Pulses Research 3 (1): 41-52. (in Persian with English abstract).
28. Singh, K. B. 1990. Winter chickpea: problems and potential in the Mediterranean region. Options Mediteraneenes 9: 25-34.
29. Zare-Mehrjerdi, M., Bagheri, A. R., and Vesal, S. R. 2005. Screening approach for cold tolerance screening in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Proceedings of the first national pulse crops symposium of Iran. 441-444. (in Persian).
30. Yazdi Samadi, B., Majnoun Hosseini, N., and Peighambari, S. 2004. Evaluation of cold hardiness in lentil genotypes (*Lens culinaris* medik.) Seed and plant Improvement Journal 20 (1): 23-37. (in Persian with English abstract).
31. Wery, J. 1990. Adaptation to frost and drought stress in chickpea and implications in plant breeding, pages: 77-85. In: M.C. Saxena, J. I. Cubero, J. Wery (Eds.). Present status and future prospects of chickpea crop production and improvement in the Mediterranean countries. Options Meditteraneenes Serie Seminaires. No. 9. CHEAM. France.



Selectivity of Cold Tolerant Chickpea Genotypes under Controlled Condition (Cold room)

D. Sadeghzadeh-Ahari^{1*}

Received: 12-07-2017

Accepted: 06-10-2018

Introduction: Chickpea is the most important field crop among food legumes in Iran. According to the published statistic by agricultural ministry of Iran, cultivation area of chickpea varies between 550– 900 thousand hectares that more than of 90% them cultivated under dryland condition. More than 63% of country has cold and higher cold climates and more than 60% of drylands in Iran located in cold and highlands where temperature declines to -25°C in some years, with continues cold duration (more than 100 days per year). Reports show that the yield of chickpea is low in cold areas (about 500 kg.ha^{-1}) because of the spring planting and lack cold tolerant cultivars suitable for autumn planting. In cold regions that absolute minimum temperature in winter reaches under -6°C till -12°C , studies showed that it may be complete damage occurrence if chickpea planted in autumn. Studies showed that planting of cold tolerance varieties increased the yield of chickpea almost twice. Hence, screening chickpea germplasms for cold tolerance will help to release new cold tolerant cultivars. The literature review suggests that most studies related to the evaluation and screening of chickpea cold tolerance were done under natural conditions (field), but the spatial and temporal variation in the weather under such circumstances may lead to different results. Researchers reported that using from controlled condition for screening cold tolerance genotypes in chickpea germplasm would prevent seasonal restrictions, saving time and increasing the accuracy of studies while eliminating unwanted factors.

Materials and Methods: In order to study on cold tolerance of 33 Kabuli chickpea genotypes along with three controls (Saral, ILC 533 and Jam), this study carried out in square lattice design (6×6) with two replications under controlled condition (cold room) at Maragheh Dryland Agricultural Research Station, during growing season 2014-2015 . Ten seeds of each genotype after surface sterilized with fungicide (Benomile with 0.015%) planted in five cm depth in planting boxes ($100 \times 80 \times 25 \text{ cm}$) at early autumn (29 September). In order to simulation of natural growth condition in autumn and acclimation of seedlings, planted boxes incubated outside of green house. Number of germinated seeds was recorded and seedling of genotypes at six-week stage, incubated in cold room. The temperature of cold room decreased two degrees in each hour up to minus 15°C and seedlings remained for one hour at this temperature. A thin layer of ice nucleation active bacteria sprayed on the surface of seedlings at -2°C in order to establish ice nucleation and prevent ultra-freezing of seedlings. Then temperature increased up to 4°C for three days and boxes transferred to green house for two weeks under $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$. Frost resistance ratios (FRR) of genotypes calculated and analyzed. According to other studies and reports the genotypes with 0.91-1 and 0.81-0.90 FRR classified in highly resistance and resistance groups, respectively.

Results and Discussion: Results showed that there was significant ($p \leq 0.01$) differences in frost resistance ratio (FRR) among the investigated genotypes. Lines 14 (Flip98-138C* SEL99TER85074)*Sel.99th.15039, 28 (FLIP 00-84 C) and Saral cultivar had the highest FRR (100, 98 and 89 survived percentage, respectively) among the genotypes. Also Kaka cultivar and line 12 (Flip 98-28C*Flip 98-22C)* ICCV2 had the lowest frost tolerance among the studied genotypes.

1- Faculty member of Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: dsadeghzade@yahoo.com)

About 30% of genotypes could tolerate the frost damage, for example, genotypes 14 and 28 had between 0.9-1.0 ratio, whereas, the FRR of susceptible check (ILC533) was 0.13.

Conclusions: The existence of wide range of diversity for frost resistance among the studied germplasm would be useful to introduce new tolerant chickpea cultivars with autumn-sown potential. Moreover, the tolerance of Saral cultivar to frost stress, its cultivation under cold dryland regions could be recommended as the first frost tolerant variety in the country.

Keywords: Dryland, Frost resistance ratio, Line, Saral cultivar, Seedling



ارزیابی خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ارقام گندم تحت تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم

رحیم ناصری^{۱*}، مهرشاد برای^۱، محمدجواد زارع^۱، کاظم خاوازی^۲، زهرا طهماسبی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

چکیده

به منظور بررسی اثر تلقیح با باکتری سودوموناس و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه‌دهی و عملکرد دانه ارقام گندم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه در دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سربله در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس سیلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری سودوموناس پوتیدا، ۴- قارچ گلووموس موسه آ، ۵- باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلووموس موسه آ، ۶- باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلووموس موسه آ + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۷- باکتری سودوموناس پوتیدا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۸- قارچ گلووموس موسه آ + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش رقم × منابع کودی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و همچنین خصوصیات ریشه‌ای گندم دیم معنی‌دار بود. به طوری که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (افزایش ۱۶/۷ درصدی)، تعداد دانه در سنبله (افزایش ۶۷/۲ درصدی)، وزن هزار دانه (افزایش ۱۹/۳ درصدی)، عملکرد دانه (افزایش ۷۲ درصدی)، عملکرد زیست‌توده (افزایش ۵۷ درصدی)، حجم ریشه (افزایش ۵۳/۶ درصدی)، سطح ریشه (افزایش ۶۹/۳ درصدی)، تراکم طول ریشه (افزایش ۷۶/۵ درصدی) و چگالی سطح ریشه (افزایش ۶۹ درصدی) در رقم ساجی × قارچ گلووموس موسه آ + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کشت گندم دیم در ایلام که گیاه با تنش‌های آخر فصلی (خشکی و دما) مواجه می‌گردد، گندم دوروم دیم رقم ساجی و تلقیح با قارچ میکوریزا به دلیل بهبود سیستم ریشه‌دهی در شرایط دیم نتیجه مطلوب‌تری از خود نشان داده و موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، سطح ریشه، سیستم ریشه، عملکرد دانه، منابع کودی

مقدمه

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد، گروه ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌های خاک هستند که با کلونی‌زاسیون در محیط ریشه باعث افزایش رشد و کارایی گیاه از طریق مکانیسم‌های مستقیم و غیر مستقیم می‌شوند (Naseri et al., 2017a). باکتری‌های جنس سودوموناس از جمله مهمترین باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌باشند که با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای از هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین رشد و نمو و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Azadi et al., 2013). یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به‌وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود برده و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند (Naseri et al., 2017b). افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان زراعی در اثر کاربرد کودهای زیستی توسط محققان مختلفی گزارش شده است، در این رابطه بحرانی و همکاران (Bahrani et al., 2010) بیان کردند که

سطح زیر کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) در ایران حدود ۶ میلیون هکتار برآورده شده است که ۳/۸ میلیون هکتار آن کشت دیم می‌باشد که معادل تقریباً ۶۵ درصد می‌باشد، متوسط عملکرد گندم دیم در ایران ۹۲۰ کیلوگرم در هکتار است (Ministry of Agriculture- Jahad, 2016). با توجه به این که عملکرد گندم دیم در ایران بسیار پایین بوده و سطح قابل توجهی از مناطق تحت کشت گندم ایران را دیم‌زارها تشکیل می‌دهند، بنابراین بررسی راهکارهای لازم برای افزایش میزان محصول در واحد سطح ضرورت دارد (Khosravi and Mahmoudi, 2013).

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

۳- استاد، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج

(Email: rahim.naseri@gmail.com)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.69147

قارچ میکوریزا اجزای عملکرد دانه و تعداد سنبلچه گندم را به شکل معنی داری افزایش می دهد. علاوه بر این عسکری و همکاران (Askary et al., 2009) افزایش تعداد دانه گندم را در اثر تلقیح کودهای زیستی گزارش کردند. مالک و همکاران (Malik et al., 2012) در یک بررسی نشان دادند که تلقیح باکتری سودوموناس با بذرهایی گندم تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون تلقیح داشت. وو و همکاران (Wu et al., 2005) علت اصلی افزایش عملکرد غلات و سایر گیاهان تلقیح شده با ریزجانداران حل کننده فسفات را جذب بیشتر فسفر باشد عنوان کردند. تلقیح بذور با کود زیستی از طریق گسترش ریشه و قابل دسترس ساختن مواد غذایی و در نتیجه افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه اثر مثبت و معنی داری بر عملکرد گیاه ایجاد کرد (Shoghi Kalkhoran et al., 2010). در این راستا روزبه و همکاران (Rouzbeh et al., 2009) بیان داشتند که تلقیح کودهای زیستی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و تولید هورمون های رشد موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم گردید. برخی محققان بیان داشتند که کاربرد کودهای زیستی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای جذب توسط گیاه، اجزای عملکرد و عملکرد گندم را بهبود داد (Ahmed et al., 2011). قارچ میکوریزا با ایجاد تغییرات مورفولوژیک در ریشه منجر به افزایش سطح ریشه می گردد (Akhtar and Siddiqui, 2008).

با توجه به موارد فوق آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر تلقیح با باکتری های افزایش دنده رشد و قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات ریشه گندم دیم (کراس سیلان و ساجی) در شرایط آب و هوایی ایلام انجام گرفت.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در دو مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا برابر با ۱۱۷۴ متر) و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله (با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع

۹۷۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل دو رقم گندم (کراس سیلان و ساجی) و هشت سطح کودی در شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۲- ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (50 kg.ha⁻¹ P)، ۳- باکتری سودوموناس پوتیدا (PSB)، ۴- قارچ گلوموس موسه (GM)، ۵- باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه (PSB+GM)، ۶- باکتری سودوموناس پوتیدا + قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB+GM+25 kg.ha⁻¹ P)، ۷- باکتری سودوموناس پوتیدا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB+25 kg.ha⁻¹ P) و ۸- قارچ گلوموس موسه + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (GM+25 kg.ha⁻¹ P). ابعاد هر کرت ۸ مترمربع، تعداد خطوط ۸ ردیف و طول هر ردیف چهار متر و فاصله هر تکرار ۱ متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل هشت خط کاشت با فاصله ۲۵ سانتی متر و طول چهار متر و تراکم بوته در واحد سطح ۲۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. باکتری سودوموناس پوتیدا (سویه ۱۶۸ (به صورت محلول) و قارچ گلوموس موسه (به صورت پودر) مورد استفاده در این پژوهش از بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. قبل از کشت، جهت تلقیح بذور گندم که از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام تهیه شد، به میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای ۱۰^۷ عدد باکتری سودوموناس زنده و فعال و قارچ گلوموس موسه / که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده بود، پس از آغشته کردن بذور با باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه / و چرخاندن بذور در داخل ظرف به مدت چند دقیقه ادامه یافت تا مایه تلقیح به کمک صمغ عربی بذور به خوبی سطح بذور را (تلقیح به صورت بذر مال) پوشش دهد. بذور تیمار شده به مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده قرار داده شدند مشخصات باکتری باکتری سودوموناس پوتیدا در جدول ۱ ارائه شده است. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱- ویژگی های سویه باکتری حل کننده فسفات

Table 1-The characteristics of phosphate solubilizing bacteria strains

تولید ACC دآیناز	قابلیت حل کنندگی فسفات	تولید هورمون اکسین (mg.L ⁻¹)	تولید سیدروفور	جنس، گونه و سویه
ACC deaminase	Phosphate solubilizing ability	IAA production	Siderophore production	Genus, species and strain
+	+	9.8	0.70	<i>Pseudomonas putida</i> strains 168

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳

Table 2- Monthly mean temperature, precipitation and relative humidity in Agricultural Research Station of Ilam University and Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2013-2014 cropping season

Month	ماه	حداقل دما		حداکثر دما		میزان بارش		حداقل رطوبت		حداکثر رطوبت	
		Min temp. (°C)		Max temp. (°C)		Precipitation (mm)		Min. RH (%)		Max. RH (%)	
		ایلام	سرابله	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله	ایلام	سرابله
Oct.	مهر	11	12.3	27	30.6	0	0	14	15	41	38
Nov.	آبان	7.5	8	25.6	19.6	163.5	156.4	45	45	84	78
Dec.	آذر	2.7	3.5	12.7	13.1	103.3	100.5	45	54	89	86
Jan.	دی	-1	-0.5	10.8	10.6	89.9	85.4	42	52	88	86
Feb.	بهمن	2	0.9	11	12	151.3	95.2	43	53	89	88
Mar.	اسفند	5	5	15.8	17.3	93.1	75.9	43	46	85	85
Apr.	فروردین	6.4	6.5	19.8	21.5	32.4	31.8	27	33	74	78
May	اردیبهشت	12.8	12.7	27.1	28.8	27.2	24.8	21	24	59	65
Jun.	خرداد	16.9	13	32.4	40.4	0	4	14	16	39	41

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳

Table 3- Soil physical and chemical properties in Agricultural Research Station of Ilam University and Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2013-2014 cropping season

مکان		Location	
ایلام		سرابله	
Ilam		Sarableh	
عمق	Depth (cm)	0-30	0-30
بافت	Texture	لومی شنی Sandy loam	لومی رسی Clay loam
(mg kg ⁻¹)			
آهن	Fe	9.16	5.71
روی	Zn	1	1
مس	Cu	1	1.1
منگنز	Mn	5.04	7.78
منیزیم	Mg	3.6	2.4
فسفر قابل جذب	Available P	7.2	6.2
پتاسیم قابل جذب	Available K	310	270
(%)			
نیتروژن کل	Total N	0.12	0.13
کربن آلی	Organic Carbon	1.28	1.4
(dS m ⁻¹)			
هدایت الکتریکی	E.C	0.97	0.45
اسیدیته خاک	pH	7.2	7.31

جهت اندازه‌گیری تعداد سنبله در متر مربع از کوادرات یک متر مربعی استفاده گردید. تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفت تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه ۱۰۰۰ بذر از هر تیمار به صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی محاسبه شد. به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه بوته‌های موجود در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در ۲/۲۵ متر مربع به صورت جداگانه کف بر و محاسبه گردید. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک پس از برداشت بوته‌های هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه‌ها، وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1، ترسیم شکل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات ریشه

در این آزمایش برهمکنش رقم × منابع کودی بر حجم ریشه معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین حجم ریشه با متوسط ۳/۵ سانتی‌متر مکعب از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ گلواموس موسه / ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن با متوسط ۱/۹ سانتی‌متر مکعب از رقم کراس‌سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۳/۶ درصدی در حجم ریشه گردید (شکل ۱). حجم ریشه از مهمترین صفت و معیار جهت جذب آب و مواد غذایی می‌باشد بنابراین حجم ریشه یک واحد اندازه‌گیری خوبی جهت روابط عملی بین قسمت‌های هوایی و ریشه می‌باشد (Ganjeali and Kafi, 2007). در گزارشات کاربرد و همکاران (Caird et al., 2007) نیز بیان شد که نسبت حجم ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند یکی از مهمترین شاخص‌های پیش‌بینی شده برای میزان تنفس و جذب آب باشد. در این پژوهش نشان داده شد ارقام ساجی و کراس‌سبلان در شرایط دیم در مقایسه با ارقام آبی از طول ریشه و حجم ریشه بیشتری در طول دوره آزمایش برخوردار بود. بیان شده است که ارقام گندم دیم به خشکی ریشه‌تولید تر و حجم ریشه بیشتری نسبت به دیگر ارقام دارند (Naseri et al., 2016). قارچ‌های میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌وسیله گیاهان می‌شوند (Esmailpour et al., 2014).

کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. در مورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰٪ کود توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید. اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به ریشه در داخل مزرعه بعد از مرحله گرده‌افشانی با استفاده از استوانه‌ای فلزی با ابعاد طول ۳۰ سانتی‌متر و عرض دو سانتی‌متر که از قبل با دستی طراحی شده بود صورت گرفت. بعد از برداشت ریشه‌ها از داخل خاک، آن‌ها را در داخل ظرف یکبار مصرف گذاشته و پس از انتقال به آزمایشگاه اقدام به شستشوی ریشه‌ها کرده و سپس ریشه‌ها در داخل یخچال نگهداری شدند سپس اقدام به اندازه‌گیری صفات ریشه گردید. طول ریشه‌ها توسط دست و با دقت بالا پس از قرار دادن در آب جهت شناور شدن آن‌ها توسط خط‌کش با دقت زیاد اندازه‌گیری شدند. محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق معادله (۱) انجام گرفت:

معادله ۱:

$$A = B - C \quad \text{حجم ریشه، } B = \text{حجم آب و ریشه، } C = \text{حجم آب خالی.}$$

سطح ریشه که از معادله (۲) محاسبه شد (Akhavan et al., 2012):

$$\text{معادله ۲: } RA = 2 \times \sqrt{RV \times 3.14 \times RL}$$

RA = سطح ریشه، RV = حجم ریشه، RL = طول ریشه، $RA = \sqrt{RV}$ = ریشه دوم.

تراکم طول ریشه از طریق معادله زیر به دست آمد (Mahanta et al., 2014):

معادله ۳:

$$RLD = \frac{RL}{SV} \quad \text{تراکم طول ریشه، } RLD = \text{تراکم طول ریشه، } RL = \text{طول ریشه، } SV = \text{حجم خاک.}$$

قطر ریشه که طریق محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001):

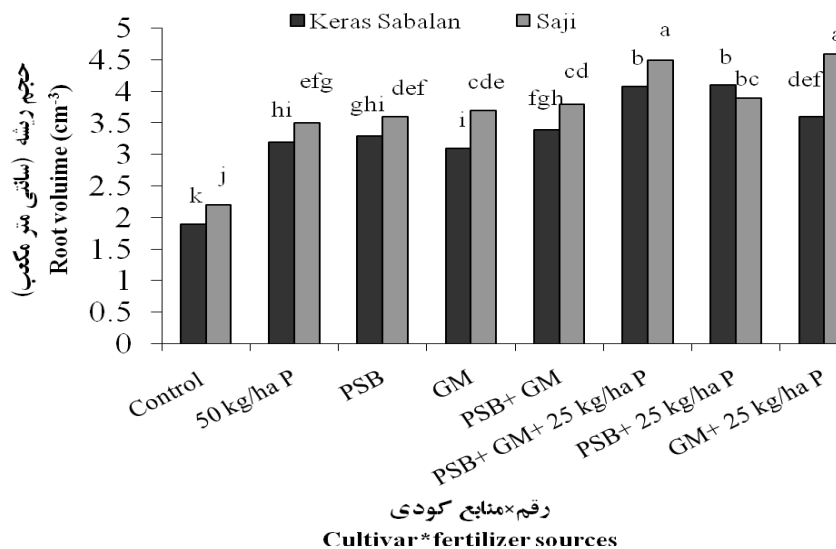
$$\text{معادله ۴: } RD = \sqrt{\frac{4 \times FRW}{RL \times 3.14}}$$

RD = قطر ریشه، FRW = وزن تر ریشه، RL = طول ریشه، $RD = \sqrt{FRW}$ = ریشه دوم.

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به صورت زیر انجام گرفت (Akhavan et al., 2012):

معادله ۵:

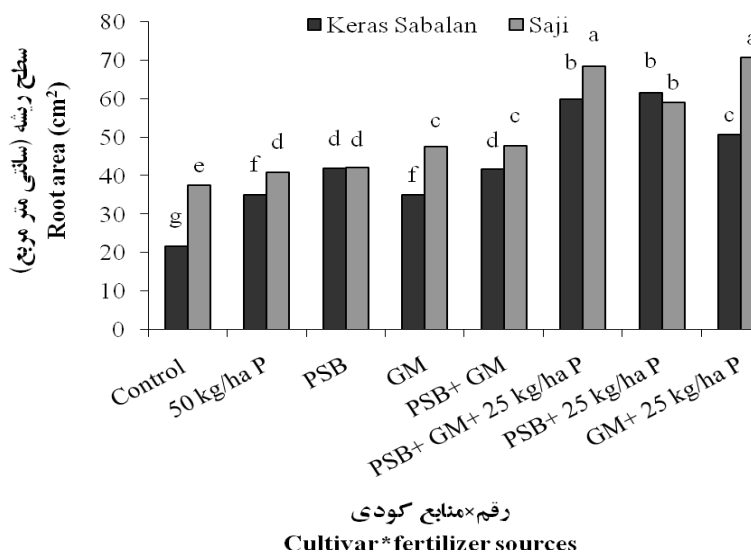
$$RAD = RL \times RD \times 3.14 \quad \text{چگالی سطح ریشه، } RAD = \text{چگالی سطح ریشه، } RL = \text{طول ریشه، } RD = \text{قطر ریشه.}$$



شکل ۱- برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم ریشه در ارقام گندم دیم
Figure 1- Interaction of cultivar ×fertilizer sources on root volume in dry land wheat cultivars
 میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
 Means within same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

عناصر غذایی و همچنین افزایش سطح جذب می‌تواند کارایی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Abrishamchi *et al.*, 2012). در بررسی سطح ریشه مشخص شد تلقیح بذور با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد و قارچ میکوریزا در هر دو رقم مورد پژوهش توانسته‌اند سطح ریشه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد که این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار گردید.

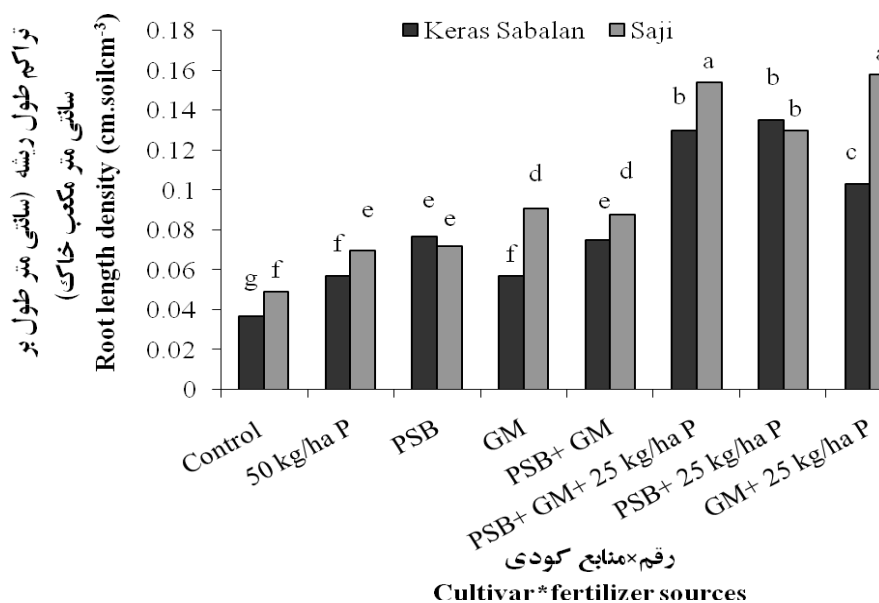
در این آزمایش اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین سطح ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ گلوبوموس موسه / ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس‌سبالان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف منبع کودی) موجب افزایش ۶۹/۳ درصدی در سطح ریشه گردید (شکل ۲). افزایش سطح ریشه از طریق افزایش نقاط ورودی آب و



شکل ۲- برهمکنش رقم×منابع کودی بر سطح ریشه در ارقام گندم دیم
Figure 2- Interaction between cultivar ×fertilizer sources on root area in dry land wheat cultivars
 میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
 Means within same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

دلیل این موضوع را تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه بیان کردند (Khalvati et al., 2005). در این آزمایش برهمکنش رقم×منابع کودی بر صفت تراکم طول ریشه معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین تراکم طول ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ گلواموس موسه $+25$ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش $76/5$ درصدی در تراکم طول ریشه گردید (شکل ۳). به نظر می‌رسد که افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر به دلیل انتشار از طریق میسلیم‌های میکوریزایی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای گیاه باشد که بهره‌برداری از حجم بیشتری از خاک را ممکن می‌سازد که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند (Parsa-Motlagh et al., 2011).

یکی از مهمترین مکانیزم‌های رشد گیاه به‌وسیله باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه، تغییر در ریخت‌شناسی و فیزیولوژی سیستم ریشه‌ای گیاه است. این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی شده در نتیجه، موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (Askary et al., 2009). نشان داده شده است که تغییرات هورمونی به دلیل استفاده از باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد سبب افزایش سطح ریشه خواهد بود (Shaharoon et al., 2008). قارچ میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین $1000-1$ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (Sharma, 2002). در این پژوهش نشان داده شد که در شرایط دیم رقم ساجی می‌تواند موجب جذب بیشتر آب از طریق افزایش طول و سطح ریشه گردد، که



شکل ۳ - برهمکنش رقم×منابع کودی بر تراکم طول ریشه در ارقام گندم دیم

Figure 3- Interaction between cultivar ×fertilizer sources on root length density in dry land wheat cultivars

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means within same letter are not significantly different ($p < 0.05$).

$29/7$ درصدی در قطر ریشه گردید (جدول ۸). اثر برهمکنش مکان×رقم نیز بر قطر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). در این پژوهش با توجه به جدول برهمکنش، بیشترین قطر ریشه در منطقه ایلام و رقم کراس سبلان به‌دست آمد (جدول ۶). به نظر می‌رسد می‌توان دلیل کاهش قطر ریشه با مصرف کود زیستی را مربوط به افزایش طول ریشه در اثر مصرف کود زیستی دانست (Jiriae et al., 2014).

در این آزمایش برهمکنش رقم×منابع کودی بر قطر ریشه معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین قطر ریشه از رقم کراس سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و کمترین آن از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا/قارچ گلواموس موسه $+25$ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر حاصل شد، که نسبت به تیمار کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا/قارچ گلواموس موسه $+25$ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر موجب افزایش

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مربوط به ریشه ارقام گندم دیم در تحت تأثیر منابع کودی

Table 4- Combined Analysis of variance (mean squares) for cultivar and fertilizer sources on grain yield and root system in two dry land wheat cultivars

منابع تغییر	S.O.V	درجه آزادی df	حجم Volume	سطح Area	قطر Diameter	تراکم طول Length density	چگالی سطح Surface density
مکان	Location (L)	1	7.05**	2399.1**	0.009**	0.0147**	9156.4**
بلوک داخل مکان	Block in location	4	0.29	114.6	0.014	0.0016	145.9
رقم	Cultivar (C)	1	3.06**	1213.3**	0.009**	0.0074**	1781.4**
منابع کودی	Fertilizer sources (FS)	7	5.8**	2246.7**	0.02**	0.016**	3124.4**
رقم×منابع کودی	C×FS	7	0.32**	147.9**	0.001**	0.0011**	223.3**
مکان × رقم	L×C	1	0.014ns	4.09ns	0.002**	0.00001ns	31.6ns
مکان×منابع کودی	L×FS	7	0.028ns	4.4ns	0.0005ns	0.000049ns	58.09**
مکان × رقم ×منابع کودی	L×C×FS	7	0.016ns	4.2ns	0.00009ns	0.00043ns	6.2ns
خطا	Error	60	0.048	13.8	0.0005	0.00009	19.8
ضریب تغییرات (درصد)	C.V (%)	-	6.1	7.9	6.03	10.4	7.8

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم دیم در تحت منابع کودی

Table 5- Combined Analysis of variance (mean squares) for traits related to grain and yield components in dry land wheat cultivars influenced by fertilizer sources

منابع تغییر	S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد سنبله در متر مربع Spikes.m ⁻²	تعداد سنبله در سنبله spikelet.spike ⁻¹	تعداد دانه در سنبله Grains.spike ⁻¹	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست توده Biomass yield
مکان	Location (L)	1	98.01ns	0.16ns	894.2*	8.3ns	5870407.4ns	40926775.4*
بلوک داخل مکان	Block in location	4	3926.1	1.3	59.5	10.4	1150355.7.7	4868382.8
رقم	Cultivar (C)	1	2871.09**	64.6**	896.7**	61.6**	3826172.4**	8345847.2**
منابع کودی	Fertilizer sources (FS)	7	1314.9**	58.8**	488.8**	43.02**	5314073.6**	15970442.4**
رقم×منابع کودی	C×FS	7	373.06**	7.1**	52.4**	8.07**	520658.05**	2110590.3**
مکان×رقم	L×C	1	23.01ns	0.05ns	5.04ns	1.6ns	5451.1ns	55560.3ns
مکان×منابع کودی	L×FS	7	4.5ns	0.35ns	16.3*	1.03ns	125412.01ns	224064.7ns
مکان×رقم×منابع کودی	L×C×FS	7	15.03ns	0.26ns	48.13ns	1.01ns	14869.4ns	114753.9
خطا	Error	60	71.05	0.51	6.3	1.7	83740.7	337829.3
ضریب تغییرات (درصد)	C.V (%)	-	3.4	5.4	8.3	6.7	11.9	9.8

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×رقم بر قطر ریشه دو رقم گندم دیم

Table 6- Mean comparisons of interaction effect of location ×cultivar sources on root diameter in two dry land wheat cultivars

مکان	Location	رقم	Cultivar	قطر ریشه Root diameter (cm)
ایلام	Ilam	کراس سبلان	Keras Sabalan	0.38 (±0.013) ^a
		ساجی	Saji	0.35 (±0.011) ^b
سرابله	Sarableh	کراس سبلان	Keras Sabalan	0.39 (±0.011) ^a
		ساجی	Saji	0.38 (±0.009) ^a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

سرابله در تیمار باکتری سودوموناس پوتیدا/ قارچ گلوبوس موسه $25+/\text{kg}$ در هکتار کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و منطقه ایلام در شاهد دارای کمترین چگالی سطح ریشه بود (جدول ۷). در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشان داد که تلقیح بذو با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد و قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد افزایش دهد، به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا از طریق تغذیه مناسب می‌تواند موجب افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی شود به نحوی که گیاه آلوده به قارچ میکوریزا می‌تواند فسفر غیر قابل دسترس گیاهان که با فاصله دورتری نسبت به ریشه‌های آن‌ها قرار دارند از طریق میسلیوم‌های خود جذب نمایند و در نتیجه باعث جذب بیشتر مواد غذایی توسط ریشه شوند (Jiriae *et al.*, 2014). قارچ‌های میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (Sharma, 2002).

بانرجی و همکاران (Banerjee *et al.*, 2006) و وسی و باس (Vessey and Buss, 2002) افزایش حجم و تعداد ریشه در غلات را به دلیل تلقیح بذو با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گزارش نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم‌کننده رشد تولید شده به وسیله باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهمترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه، کاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای موین سطح ریشه می‌باشند. چگالی سطح ریشه در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت و تحت تأثیر برهمکنش رقم×منابع کودی معنی‌داری گردید (جدول ۴). بیشترین چگالی سطح ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ گلوبوس موسه $25+/\text{kg}$ در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم کراس سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۹ درصدی در چگالی سطح ریشه گردید (جدول ۸). اثر برهمکنش مکان×منابع کودی نیز بر چگالی سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که منطقه

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×منابع کودی بر چگالی سطح ریشه گندم دیم

Table 7- Mean comparisons of interaction effect of location ×fertilizer sources on root surface area density under dry land wheat

ایلام			Ilam				
Control	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
23.4 (±1.5) ^f	38.07 (±2.6) ^e	41.3 (±1.7) ^{de}	41.4 (±2.8) ^{de}	44.1 (±1.9) ^d	64.2 (±3.07) ^b	60.4 (±1.5) ^b	60.9 (±4.8) ^b
سرابله			Sarableh				
37.1 (±0.91) ^e	52.8 (±3.8) ^c	58.6 (±1.5) ^b	59.2 (±4.3) ^b	64.1 (±3.7) ^b	88.6 (±3.5) ^a	86.1 (±2.6) ^a	83.5 (±6.2) ^a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

از باکتری سودوموناس پوتیدا/ و قارچ گلوبوس موسه $25+/\text{kg}$ در دو رقم گندم نان و دوروم موجب افزایش تعداد سنبله در متر مربع گردید. بیشترین تعداد سنبله با متوسط $267/3$ از رقم کراس سبلان و تحت کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا/ $25+/\text{kg}$ در هکتار کود شیمیایی

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج واریانس مرکب داده‌های حاصل از دو مکان، اثرات اصلی رقم و منابع کودی و برهمکنش آن‌ها بر تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار گردید (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده

کودی) موجب افزایش ۶۷/۲ درصدی در تعداد دانه در سنبله گردید (جدول ۱۰). اثر برهمکنش مکان×منابع کودی نیز بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد، به طوری که منطقه سرابله در قارچ گلوموس موسه ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر دارای بیشترین و منطقه ایلام در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) دارای کمترین تعداد دانه در سنبله بودند (جدول ۹). در این پژوهش نشان داده شد با توجه به اینکه در مرحله گرده‌افشانی تعداد دانه در سنبله تعیین می‌گردد بنابراین هر عاملی که موجب اختلال در عمل گرده‌افشانی گردد موجب کاهش در تشکیل تعداد دانه خواهد شد، همانطور که جدول آب و هواشناسی (جدول ۲) نیز نشان می‌دهد در شرایط دیم ایلام و سرابله از اسفند ماه معمولاً ما شاهد کاهش بسیار شدید در نزولات جوی هستیم که همین امر تأثیر منفی بر گرده‌افشانی و متعاقب آن تعداد دانه در سنبله گذاشت. استفاده از باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه / از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای از جمله طول و حجم ریشه، سطح ریشه و تراکم طول ریشه (شکل‌های ۱، ۲ و ۳) سبب افزایش مواد پرورده شده که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله شده است. در گزارشات الکرکی و همکاران (Al-Karaki et al., 2004) تأثیر کود زیستی بر طولانی‌تر شدن دوره پرشدن دانه در گندم و در نتیجه آن افزایش تعداد دانه در سنبله گزارش گردید. در این آزمایش کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه / موجب افزایش معنی‌دار در تعداد دانه در سنبله گردید که نتیجه افزایش سیستم ریشه‌دهی قوی و افزایش جذب عناصر غذایی بود. حضور کودهای زیستی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم می‌شود، این اثرات در حضور کودهای شیمیایی تشدید می‌شود (Eydizadeh et al., 2010) و از طریق گسترش ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گندم گردیده باشد (Amiri Farsani et al., 2013).

فسفر و کمترین تعداد سنبله با متوسط ۲۲۲/۶ سنبله از رقم ساجی و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۱۶/۷ درصدی در تعداد سنبله در مترمربع گردید (جدول ۱۰). با توجه به اینکه فسفر دومین عنصر محدودکننده بعد از نیتروژن می‌باشد، در تیمار عدم استفاده از کود شیمیایی و عدم تلقیح با کود زیستی به علت عدم استفاده از هر نوع کود فسفره رشد پنجه‌ها و به تبع تعداد سنبله در متر مربع در شاهد کمتر بود. این افزایش تعداد سنبله در متر مربع احتمالاً ناشی از وجود تیمارهای کود شیمیایی و کود زیستی در محدوده خاک یا ریزوسفر است که به وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن، افزایش جذب مواد غذایی باعث رشد گیاه از جمله افزایش این صفت می‌گردد، همانطور که نتایج این مطالعه نشان داد تلقیح با باکتری سودوموناس پوتیدا/ به دلیل توانایی در افزایش جذب عناصر غذایی (Naseri et al., 2017b) در مرحله رویشی تأثیر به‌سزایی در تعداد پنجه در بوته و به تبع بر تعداد سنبله از خود نشان داد. مرسیز و هیس (Mertnese and Hess, 2004) نیز طی تحقیقات خود، افزایش عملکرد گندم تلقیح شده با کود زیستی را مربوط به افزایش تعداد پنجه در گیاه بیان کرده‌اند.

صفت تعداد دانه در سنبله یکی از معیارهای تعیین‌کننده عملکرد دانه محسوب می‌شود زیرا هرچه تعداد دانه بیشتر باشد، تعداد مخزن بزرگتری برای تجمع آسمیلات به‌وجود آمده و هر عاملی که باعث افزایش این معیار شود، باعث افزایش عملکرد دانه خواهد شد، که در این آزمایش تحت تأثیر برهمکنش رقم×منابع کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). استفاده از منابع کودی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گردید. به طوری که بیشترین تعداد دانه با متوسط ۴۳/۷ دانه از رقم ساجی و تحت کاربرد قارچ گلوموس موسه ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن با متوسط ۱۴/۳ دانه در سنبله از رقم کراس سبلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر برهمکنش مکان×منابع کودی بر تعداد دانه در سنبله دو رقم گندم دیم

Table 9- Mean comparisons of interaction effect of cultivar ×fertilizer sources on grains.spike⁻¹ d in two dry land wheat cultivars

ایلام				Ilam			
Control	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
14.7 (±1.18) ^l	25.9 (±1.21) ^{gh}	28.5 (±1.52) ^{fg}	24.7 (±2.8) ^h	27.1 (±1.15) ^{gh}	31.1 (±1.16) ^{cde}	34.3 (±1.3) ^{cd}	30.7 (±1.18) ^{ef}
سرابله				Sarableh			
19.2 (±1.18) ^l	30.8 (±1.18) ^{ef}	31.9 (±1.7) ^{cde}	35.06 (±2.9) ^c	31.6 (±1.3) ^{def}	40.17 (±2.5) ^b	34.1 (±1.04) ^{cd}	43.7 (±2.9) ^a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

وزن هزار دانه که از اجزای مهم عملکرد دانه به حساب می‌آید، در این پژوهش تحت برهمکنش رقم×منابع کودی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). بیشترین وزن هزار دانه با متوسط ۳۹/۷ گرم از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا+ قارچ گلواموس موسه+ ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین وزن هزار دانه با متوسط ۳۲/۰۳ گرم از رقم کراس سیلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۱۹/۳ درصدی در وزن هزار دانه گردید (جدول ۱۰). علت افزایش وزن هزار دانه را در دو رقم و تیمار قارچ گلواموس موسه+ می‌توان به دلیل این باشد که زمانی که گیاه شدیداً در حال رشد می‌باشد مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها انتقال می‌یابد، توسعه ریشه شرایط برای جذب عناصر غذایی فراهم می‌شود که این به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد. زمانی که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌کند. باکتری سودوموناس پوتیدا+ و قارچ گلواموس موسه+ از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (Naseri et al., 2017a). در شرایط آب و هوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه که عملاً کمبود آب و گرما (جدول ۲) را شاهد هستیم کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تشکیل دانه و پر شدن دانه به خوبی صورت نگیرد و با مشکل مواجه گردد که نتیجه آن چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه می‌باشد. در این پژوهش نیز نشان داده شد که باکتری سودوموناس پوتیدا+ و قارچ گلواموس موسه+ موجب فراهم شدن رشد بهتر اندام‌های هوایی از طریق افزایش سیستم ریشه‌دهی و جذب عناصر غذایی غذایی، موجب افزایش میزان کلروفیل برگ شده (Naseri et al., 2017b) که متعاقب آن سبب افزایش سطح سبز گیاه و موجب ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی به سمت دانه و افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. به نظر می‌رسد کود زیستی با تولید هورمون‌های رشد و تأمین عناصر غذایی، ضمن افزایش سرعت پر شدن دانه امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن را نیز فراهم ساخته‌اند (Naseri et al., 2017a). ناصری و همکاران (Naseri et al., 2010) در آزمایشی نشان دادند کمبود آب اندازه و وزن دانه‌های گندم را به علت تقلیل انتقال مجدد آسمیلات‌ها کاهش می‌دهد و کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود.

همان‌طوری که جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان می‌دهد عملکرد دانه تحت تاثیر رقم، منابع کودی و همچنین برهمکنش آن‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه با متوسط ۳۵۷۱/۶ و ۳۵۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا+ قارچ گلواموس موسه+ ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و قارچ گلواموس

موسه+ ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین عملکرد دانه با متوسط ۹۸۵/۰۱ کیلوگرم در هکتار از رقم کراس سیلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۲ درصدی در عملکرد دانه گردید (جدول ۱۰). بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح باکتری سودوموناس پوتیدا+ و قارچ گلواموس موسه+ در هر دو رقم را می‌توان به بالا بودن اجزای عملکرد یعنی تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. به نظر می‌رسد که تلقیح بذر با باکتری سودوموناس پوتیدا+ و احتمالاً ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع‌تر گیاهچه (Amiri et al., 2013) و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه (Ehteshami et al., 2014) می‌شود. چنین وضعیتی باعث می‌شود که تا گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیشتری می‌یابد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده که لااقل برخی از سویه‌های سودوموناس می‌توانند از طریق تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی به طور مستقیم نیز در افزایش رشد گیاه موثر شوند (Sharma, 2002). در گزارشات دیگر نیز افزایش عملکرد دانه در سطوح کودی در گیاهان تلقیح شده، به افزایش جذب عناصر غذایی فسفر تولیدهای رشد، تحمل به تنش خشکی و مقاومت به عوامل بیماری‌زا گزارش شده است (Ashraf et al., 2004). دلیل افزایش عملکرد دانه در تیمار منابع کودی را ناشی از مطابقت بیشتر کود شیمیایی فسفر قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در تیمار منابع کودی می‌توان دانست.

کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانوله‌ای خاک، افزایش فعالیت‌های کود زیستی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلئیدهای خاک از دلایل افزایش عملکرد در سیستم‌های تغذیه تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند باشد (Maghsoudi et al., 2014).

اثر برهمکنش رقم×منابع کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار گردید (جدول ۵). بیشترین عملکرد زیستی با متوسط ۷۸۴۰/۶ کیلوگرم در هکتار از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری سودوموناس پوتیدا+ قارچ گلواموس موسه+ ۲۵+ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین عملکرد زیست‌توده با متوسط ۳۳۴۰ کیلوگرم در هکتار از رقم کراس سیلان و در شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) حاصل شد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در عملکرد زیست‌توده گردید (جدول ۱۰). اثر ساده مکان بر عملکرد زیست‌توده نیز معنی‌دار گردید (جدول ۴).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر قطر ریشه و چگالی سطح ریشه دو رقم گندم

Table 8- Mean comparisons of interaction effect of cultivar ×fertilizer sources on Root diameter and root surface area density in two dry land wheat cultivars

شاهد Control	قطر ریشه Root diameter (cm)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
0.44 (±0.017) ^a	0.43 (±0.022) ^{ab}	0.39 (±0.013) ^{cde}	0.43 (±0.014) ^{ab}	0.40 (±0.014) ^{cd}	0.31 (±0.011) ^g	0.32 (±0.013) ^{fg}	0.34 (±0.014) ^f
شاهد Control	چگالی سطح ریشه Root surface area density (cm ² cm ⁻³)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
0.41 (±0.019) ^{bc}	0.40 (±0.018) ^{cd}	0.40 (±0.012) ^{cd}	0.37 (±0.010) ^e	0.38 (±0.012) ^{de}	0.31 (±0.012) ^g	0.32 (±0.014) ^{fg}	0.31 (±0.0099) ^g
شاهد Control	چگالی سطح ریشه Root surface area density (cm ² cm ⁻³)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
26.9 (±3.1) ^g	42.3 (±4.1) ^e	50.9 (±4.3) ^d	50.42 (±3.3) ^d	50.3 (±4.4) ^d	70.4 (±5.5) ^b	74 (±6.5) ^b	60.1 (±4.5) ^c
شاهد Control	چگالی سطح ریشه Root surface area density (cm ² cm ⁻³)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
33.6 (±3.2) ^f	48.5 (±4.7) ^d	49.1 (±4.05) ^d	58 (±4.8) ^c	57.9 (±5.6) ^c	82.4 (±6.03) ^a	75.5 (±5.6) ^b	84.3 (±5.8) ^a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم

Table 10- Mean comparisons of interaction effect of cultivar ×fertilizer sources on yield and yield component in two dry land wheat cultivars

شاهد Control	تعداد سنبله در متر مربع Spike.m ⁻²						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
225.1(±5.7) ^h	249.1(±4.03) ^{cd}	258(±6.16) ^{abc}	246.8(±6.64) ^{de}	249.6(±7.03) ^{cd}	263.8(±6.9) ^{ab}	267.3(±6.9) ^a	267.3(±4.2) ^a
شاهد Control	تعداد دانه در سنبله Grains.spike ⁻¹						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
222.6(±7.9) ^h	239.1(±5.02) ^{efg}	232(±6.14) ^{gh}	246.1(±2.62) ^{def}	236.8(±6.24) ^{fg}	248.8(±7.01) ^{cde}	242.1(±5.98) ^{def}	257.5(±4.51) ^{bc}
شاهد Control	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
14.3 (±0.59) ^j	25.9 (±1.4) ^{gh}	28.5(±1.8) ^{fg}	24.7 (±1.4) ^h	27.1 (±1.6) ^{gh}	32 (±2.01) ^{de}	34.3 (±2.2) ^{cd}	30.7 (±1.8) ^{ef}
شاهد Control	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
32.03 (±0.69) ^h	32.9(±0.36) ^{gh}	34.4(±0.76) ^{defg}	34.1(±1.07) ^{fg}	33.7(±0.67) ^h	35.9(±0.48) ^{bvd}	37.1(±0.68) ^b	35.5(±0.56) ^{cdef}
شاهد Control	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
985.1(±196.78) ^g	1959.01(±111.76) ^f	2300.4(±150.4) ^e	1949.3(±122) ^f	2066.9(±187.65) ^{ef}	2727.9(±230.98) ^c	3158.6(±161.23) ^b	2666.5(±239.28) ^c
شاهد Control	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
1286.2(±176.5) ^g	2310.08(±158.62) ^e	2359.7(±197.05) ^{de}	2741.7(±219.41) ^c	2382.9(±147.06) ^{de}	3517.8(±143.45) ^a	2838.7(±180.8) ^{bc}	3571.6(±199.87) ^a
شاهد Control	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
3340(±310.1) ^g	5443.3(±351.53) ^{ef}	5808.5(±368.7) ^{cde}	5078.8(±259.77) ^f	5138.3(±362.75) ^{ef}	6401.7(±491.78) ^b	7281.6(±196.65) ^a	6121.6(±435.16) ^b
شاهد Control	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)						
	کراس سیلان			Keras Sabalan			
	50 kg.ha ⁻¹ P	PSB	GM	PSB+GM	PSB+GM+25 kg.ha ⁻¹ P	PSB+25 kg.ha ⁻¹ P	GM+25 kg.ha ⁻¹ P
3865(±314.34) ^g	5668.3(±373) ^{def}	5661.6(±371.1) ^{def}	6439.8(±492.1) ^{bc}	5571.1(±367.9) ^{def}	7840.6(±445.34) ^a	6526.6(±476.84) ^b	7758.3(±565.9) ^a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده نشان داده شد که تلقیح بذر گندم دیم با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا سبب افزایش سیستم ریشه‌دهی گندم که در نهایت موجب بهبود خصوصیات رشدی گیاه و در نهایت عملکرد دانه به واسطه کاهش تنش‌های آخر فصلی (خشکی و دما) که گندم با آن مواجه می‌گردد موثر گردید. در این پژوهش در هر دو رقم گندم مورد استفاده از باکتری سودوموناس پوتیدا و قارچ گلوموس موسه آ به واسطه افزایش خصوصیات ریشه (حجم ریشه، سطح ریشه، تراکم طول ریشه و چگالی سطح ریشه) سبب افزایش رطوبت و در نهایت خصوصیات رشدی گیاه شد. تیمار رقم ساجی × قارچ گلوموس موسه آ + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر توانست با ایجاد سیستم ریشه گستره موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط دیم شد. از آنجا که در شرایط دیم محدودیت آب در مناطق خشک و نیمه خشک و شرایط دیم ایلام جهت دسترسی به حداکثر عملکرد دانه وجود دارد جهت جبران خسارت ناشی از تنش‌های محیطی در کشت دیم استفاده از رقم ساجی در قارچ میکوریزا می‌تواند مفید باشند.

روند تغییرات عملکرد زیست‌توده مشابه عملکرد دانه بوده است. در تیمار منابع کودی عملکرد زیست‌توده به دلیل افزایش اجزای زایشی (تعداد سنبله در متر مربع، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه و وزن هزار دانه) در مقایسه با شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و جذب جذب عناصر غذایی بیشتر (Naseri et al., 2017b) توسط گیاه رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در گیاه می‌شود. بر اساس نتایج رودریگز و فراگا (Rodriguez and Fraga, 1999) اثر کاربرد سودوموناس افزایش معنی‌داری در عملکرد زیست‌توده همراه با افزایش فسفر در گیاه گندم گزارش شده است. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش به خصوص عملکرد زیست‌توده و سایر صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد می‌توان چنین نتیجه گرفت که قارچ میکوریزا در شرایط مختلف رطوبتی می‌تواند باعث افزایش عملکرد زیست‌توده شود و در شرایط تنش خشکی گرما باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌ها می‌شود.

References

1. Abrishamchi, P., Ganjeali, A., and Sakeni, H. 2012. Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 3 (2): 17-30. (in Persian with English abstract).
2. Al-Karaki, G., Michael, M. C., and John Zak, B. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263-269.
3. Askary, M., Mostajeran, A., Amooaghaei, R., and Mostajeran, M. 2009. Influence of the coinoculation *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium meliloti* plus 2, 4-d on grain yield and NPK content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and Mahdavi). Pakistan Journal of Biological 5: 296-307.
4. Ahmed, M. A., Amal, G. A., Magda, H. M., and Tawfik, M. M. 2011. Integrated effect of organic and biofertilizer on wheat productivity in new reclaimed sandy soil. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 7: 105-114.
5. Akhtar, M. S., and Siddiqui, Z. A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotectants against plant pathogens. p. 61-97. In: Z.A. Siddiqui, et al. (Eds.) mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, Springer Science+Business Media B.V.
6. Akhavan, S., Shabanpour, M., and Esfahani, M. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil 26 (1): 725-735.
7. Amiri, M. B., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R., Falahi, Gh., Deyhimfard, R., and Falah Pour, F. 2013. Effects of coulanation with bio-fertilier on growth characteristics of three wheat cultivars at emergency growth under greenhouse conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (1): 64-72. (in Persian with English abstract).
8. Amiri Farsani, F., Chorom, M., and Enayatzamir, N. 2013. Effect of biofertilizer and chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. Soil and Water 27 (2): 441-451. (in Persian with English abstract).
9. Ashraf, M., Museen-Ud-Din, M., and Warraich, N. H. 2004. Production efficiency of mung bean (*Vigna radiate* L.) as affected by seed inoculation and NPK application. International Journal of Agriculture and Biology 5 (2): 179-180.
10. Askary, M., Mostajeran, A., Amooaghaei, R., and Mostajeran, M. 2009. Influence of the coinoculation *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium meliloti* plus 2, 4-d on grain yield and NPK content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and Mahdavi). Pakistan Journal of Biological 5: 296-307.
11. Asrar, A. W. A., and Elhindi, K. M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences 18: 93-98.

12. Azadi, S., Siadat, A., Naseri, R., Soleymanifard, A., and Mirzaei, A. 2013. Effect of integrated application of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* and nitrogen chemical fertilizers on qualitative and quantitative of durum wheat. Journal of Crop and Ecophysiology 5 (26):129-146. (in Persian with English abstract).
13. Baghban-Tabiat, S., and Rasouli-Sadaghiani, M. 2012. Investigation of Zn utilization and acquisition efficiency in different wheat genotypes at greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soiless Culture Research Center 3 (2): 17-32. (in Persian with English abstract).
14. Bahrani, A., Pourreza, J., and Haghjoo, M. 2010. Response of winter wheat to co-inoculation with *Azotobacter* and Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science 8(1): 95-103.
15. Banerjee, M., Yesmin, R. L., and Vessey, J. L. 2006. Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. pp. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. Ed., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A.
16. Caird, M. A., Richards, J. H., and Donovan, L. A. 2007. Night time stomatal conductance and transpiration in C₃ and C₄ plants. Plant Physiology 143: 4-10.
17. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., and Yacovokon, Y. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Review Plant Science 22: 107-149.
18. Esmailpour, B., and Amani, N. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *lactuca sativa* cv Syaho. Journal of Soil Management and Sustainable Production 4 (2): 49-68. (in Persian with English abstract).
19. Ehteshami, S. M. R., Hakimian, F., Yousefie Rad, M., and Chaichi, M. R. 2014. Effect of the integration in phosphate fertilizer different levels and phosphate solubilizing bacteria on forage quantitative and qualitative of two barley cultivars. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 102: 141-150. (in Persian with English abstract).
20. Eydzadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S. 2010. Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2 (2): 292-301. (in Persian with English abstract).
21. Ganjeali, A., and Kafi, M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 39 (5): 1523-1531.
22. Hajabbasi, M. A. 2001. Tillage Effects on Soil Compactness and Wheat Root Morphology. Journal of Agricultural Science and Technology 3: 67-77.
23. Jiriaie, M., Fateh, E., and Ayneband, A. 2014. The consequences of single and integrated application of Mycorrhiza and *Azospirillum* inoculants on yield and yield components of warm region wheat cultivars (*Triticum* spp.). Journal of Agroecology 16 (3): 520-528. (in Persian with English abstract).
24. Khalvati, M. A., Mozafar, A., and Schmidhalter, V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7 (6): 706-712.
25. Khosravi, H., and Mahmoudi, H. 2013. Evaluation of effects of *Azotobacter* inoculation and manure on growth of rainfed wheat. Journal of Soil Management and Sustainable Production 3 (2): 205-219. (in Persian with English abstract).
26. Khosrojerdi, M., Shahsavani, Sh., Gholipor, M., and Asghari, H. R. 2013. Effect of rhizobium inoculation and mycorrhizal fungi on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. Electronic Journal of Crop Production 6 (3): 71-87. (in Persian with English abstract).
27. Maghsoudi E., Ghalavand, A., and Aghaalikhani, M. 2014. Effect management strategies fertilizer nitrogen and biological on morphological traits, yield and quality traits corn (S.C. 704). Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2): 273-382. (in Persian with English abstract).
28. Mahanta, D., Rai, R. K., Mishra, S. D., Raja, A., Purakayastha, T. J., and Varghese, E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research 166: 1-9.
29. Malik, A. U., Malghani, A. L., and Hus, F. 2012. Growth and yield response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to phosphobacterial inoculation. Russian Agricultural Sciences 38: 11-13.
30. Mertnese, T., and Hess, D. 2004. Yield increase in spring wheat inoculated with *Azospirillum* under greenhouse and field condition of a temperate region. Plant and Soil 82: 87-99.
31. Ministry of Agriculture- Jahad. Agricultural statistic. 2016-17.
32. Naseri, R., Soleymanifard, A., Mahmodian, L., and Nazrbegi, E. 2010. The effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of four rapeseed cultivars. National Congress of New Findings in Oilseed Crops Production 26-27Jun. (in Persian with English abstract).
33. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2016. Studying root morphological characteristics of seminal roots systems of durum and bread wheat cultivars. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 477-492. (in Persian with English abstract).

34. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017a. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology* 5 (1): 49-67. (in Persian with English abstract).
35. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2017b. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture* 6 (1): 1-34. (in Persian with English abstract).
36. Paras-Motlagh, B., Mahmoodi, S., Sayyar-Zahan, M. H., and Naghibzadeh, M. 2011. Effect of mycorrhiza fungi and phosorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*haseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. *Journal of Agroecology* 3 (2): 233-244. (in Persian with English abstract).
37. Rahimi, A., Jamialahmadi, M., Khavazi, K., Sayyari-Zahan, M., and Yazdani, R. 2013. Effects of different pseudomonas flluoresence bacterium strains on yield, yield components and some traits of safflower. *Journal of Plant Ecophysiology* 5 (14), 1-16. (in Persian with English abstract).
38. Rodriguze, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biothecnology Advances* 17: 319-339.
39. Rouzbeh, R., Daneshian, J., and Farahani, H. A. 2009. Super nitro plus influence on yield and yield components of two wheat cultivars under NPK fertilizer application. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1: 293-297.
40. Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., and Zahir, Z. A. 2008. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Microbial Biotechnology* 79: 147-155.
41. Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.
42. Shoghi Kalkhoran, S., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., and Akbari, P. 2010. Effect of nitrogen fertilizer and biofertilizer application on yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 12 (4) 467-481. (in Persian with English abstract).
43. Vessey, J. K., and Buss, T. J. 2002. Bacillus cereus UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes: Controlled-environment studies. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 282-290.
44. Wu, B., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., and Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. A greenhouse trail. *Geoderma* 125 (1-2): 155-162.



Evaluation of Root and Grain Yield of Wheat Cultivars Affected by Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Dry land Conditions

R. Naseri^{1*}, M. Barary¹, M. J. Zarea¹, K. Khavazi², Z. Tahmasebi¹

Received: 02-12-2017

Accepted: 10-06-2018

Introduction: Current estimates indicate that 25% of the world agricultural lands are affected by water stress. Iran, with an annual 228 mm of rainfall, is classified as a dry region in the world. Wheat is one of the main cereal crops, cultivated for human feeding. In order to increase crop yield per unit area, largely chemical fertilizers are used. The result of these activities in recent years has been the crisis of environmental pollution, especially water and soil pollution that threatens human society. Phosphorus is one of the limiting elements for crop production. It is essential for energy transfer, photosynthesis and other biochemical and genetic activities of plant. Biofertilizers have been used as source to improve plant nutrients in sustainable agriculture. Phosphorus Solubilizing Bacteria (PSB) plays an important role in phosphorus nutrition by enhancing its availability to plants through release from inorganic and organic soils phosphorus pools by solubilizing and mineralization. Mycorrhizal crops often have greater tolerance to drought than nonmycorrhizal crops. The use of arbuscular mycorrhizal fungi capable of forming symbiotic associations with most agricultural crops and has potential under such systems due to its higher binding capabilities and mineral nutrition. Therefore, the main of this study was to study the effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root characteristics and grain yield in dryland wheat cultivars.

Materials and Methods: This experiment was carried out as factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station of Ilam University (46°28' N, 33°37' E; elevation 1174 m) and Sarableh Agricultural Research, Resources Center (34°46' N, 33°45' E; elevation 975 m) during growing season 2013-2014. Experiment factors consisted of two dry land cultivars (Keras Sablan and Saji) and fertilizer sources including of 1: without application of phosphorous chemical fertilizer, 2: 50 kg.ha⁻¹ phosphorous chemical fertilizer, 3: *pseudomonas putida* (PSB), 4: *Glomus mosseae* (GM), 5: PSB+GM, 6: PSB+GM+25 kg.ha⁻¹ phosphorous chemical fertilizer, 7: PSB+ 25 kg.ha⁻¹ phosphorous chemical fertilizer and 8: GM+25 kg.ha⁻¹ phosphorous chemical fertilizer. At flowering stage root traits such as root volume, root area, root diameter, root length density and root surface area density were studied and measured. At full maturity, agronomic traits such as spikes.m⁻², grains.spike⁻¹, 1000-grain weight, grain yield and biomass yield were recorded using a sample of ten random guarded plants from the middle ridges of each plot. The data were analyzed statistically by SAS program and the data means were compared by Duncan's multiple range test (DMRT).

Results and Discussion: Results indicated that interaction effect between cultivar× fertilizer sources had significant effect on root length total, root volume, root area, root diameter, root length density, root surface area density, spike.m⁻², grains.spike⁻¹, 1000-grain weight, grain yield and biomass yield. Using fertilizer sources had positive and significant effect on root traits and grain yield in two dryland wheat under dry land condition, so that Saji cultivar ×GM+25 kg.ha⁻¹ had the highest root volume (4.6 cm³), root area (70.9 cm²), root length density (0.158 cm root length.cm⁻³ soil), root surface area density (84.3 cm².cm⁻³), spike.m⁻² (257.5 spikes), grains.spike⁻¹ (42.7 grains), 1000-grain weight (39.7 g), grain yield (3571.6 kg.ha⁻¹) and biomass yield (7840.6 kg.ha⁻¹) and the lowest root traits and grain yield belonged to Keras Sabalan×check treatment. There was

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

3- Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: rahim.naseri@gmail.com)

significant different between cultivars to response of Using of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi, so that Saji cultivars had the best response to mycorrhizal fungi. Therefore with regard to cultivation of wheat is facing to drought and heat stress indicated that Saji cultivar and using of mycorrhizal fungi can be the best result under dry land conditions.

Conclusions: The results indicated phosphate solubilizing bacteria (PSB) and mycorrhizal fungi (GM) had positive effect on root system and grain yield, so that root traits and grain yield had the better status in presence of inoculation with GM. In fact PSB and GM could alleviate the partial of grain yield in presence of dry land farming. Recent studies indicated that symbiosis bio-fertilizers also improved soil physical and chemical traits and increased organic matters content, root system and P available to coexistent plant.

Keywords: Fertilizer sources, Grain yield, Root area, Root volume, Root system



ارزیابی رابطه بین عملکرد دانه و درصد روغن با برخی از صفات مهم زراعی در کنگد به وسیله تجزیه علیت و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

بهرام مسعودی*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱

چکیده

جهت مشخص کردن روابط بین عملکرد دانه و درصد روغن با برخی از صفات مهم زراعی و پیدا کردن اثرات مستقیم و غیر مستقیم آنها روی عملکرد دانه و درصد روغن و نیز انتخاب بهترین ارقام از نظر صفات مختلف، ۹۱ ژنوتیپ کنگد در یک طرح آگمنت در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۹۵ مطالعه شدند. در این مطالعه ۱۷ صفت کمی از جمله تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع گلدهی، تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع رسیدگی، ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در شاخه اصلی، تعداد کپسول‌های یک بوته، تعداد دانه در یک کپسول، وزن دانه یک کپسول، وزن صد دانه، وزن یک کپسول، طول کپسول، قطر کپسول، درصد روغن، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت. ضرایب همبستگی ساده محاسبه گردید و معلوم شد که تعداد کپسول‌ها در گیاه، تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی، عملکرد بیولوژیک، تعداد کپسول در شاخه اصلی و ارتفاع گیاه بالاترین ضرایب همبستگی را با عملکرد دانه دارا هستند. همچنین وزن صد دانه، عملکرد دانه تک بوته، تعداد کپسول در شاخه اصلی، تعداد کپسول در تک بوته و وزن دانه‌های یک کپسول بالاترین همبستگی را با درصد روغن داشتند. تجزیه علیت نشان داد که تعداد کپسول‌ها در بوته، تعداد کپسول‌ها در شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک و طول کپسول بیشترین اثر مستقیم مثبت را روی عملکرد دانه دارا بودند و پیشنهاد می‌شود که به‌عنوان شاخص‌های انتخاب برای پیشرفت عملکرد دانه به‌کار روند. همچنین وزن دانه‌های یک کپسول، طول کپسول، عملکرد دانه و تعداد کپسول در شاخه اصلی به‌ترتیب دارای بالاترین اثرات مستقیم مثبت روی درصد روغن دانه بودند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ۶ مؤلفه مجموعاً ۸۲/۷۷ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. از لحاظ عملکرد به‌ترتیب ژنوتیپ‌های Lao hong zhi ma، Black c-2-c، Dulce 101/87 و Bukbak دارای بالاترین عملکرد دانه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در بای پلات حاصل از مؤلفه اول و دوم بودند. ژنوتیپ شماره ۷۹ با نام White c323-2 دارای عملکرد نسبی خوب و همچنین مقدار روغن دانه نسبتاً خوب است. علاوه بر این، ژنوتیپ‌های شماره ۷۹ و ۵۱ با نام‌های White c323-2 و Local 123 دارای عملکرد نسبی خوب و نیز نسبتاً زودرس است. در نهایت، ژنوتیپ شماره ۴۹ با نام Lao hong zhi ma، دارای عملکرد نسبی بالا و تعداد دانه در هر کپسول بالا می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در اصلاح برای هر مؤلفه باید به صفات مرتبط با آن مؤلفه توجه شود به این دلیل که ژن یا ژن‌هایی که تعداد کپسول در یک بوته را کنترل می‌کنند، وزن یک بوته، وزن یک کپسول و صفات دیگر معنی‌دار در این مؤلفه را نیز به احتمال خیلی زیاد کنترل می‌کنند و مؤلفه یا ژنی که این صفات را کنترل می‌کند، مؤلفه یا ژن مشترک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌ها، تجزیه علیت، درصد روغن، عملکرد دانه

مقدمه

مورد توجه می‌باشد (Mkamilo and Bedigian, 2007). زمان کاشت در کنگد زمانی است که درجه حرارت خاک به ۲۰ درجه سانتی‌گراد رسیده باشد بنابراین کشت کنگد از نیمه دوم اردیبهشت ماه تا نیمه دوم تیرماه در مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر امکان‌پذیر است. عملکرد نسبتاً پایین کنگد یکی از دلایل مهمی است که ضرورت اصلاح این گیاه را دوچندان نموده است (Furat and Uzun, 2010). استفاده از ارقام اصلاح شده می‌تواند موجب افزایش تولید و کیفیت محصولات زراعی از جمله افزایش کمی و کیفی روغن در گیاه کنگد گردد. میزان موفقیت در یک برنامه به‌نژادی و برنامه‌های انتخاب به دو عامل وجود تنوع ژنتیکی و انتخاب موثر ژنوتیپ‌های مطلوب بستگی دارد (Falconer and Mackey, 1996). اصلی‌ترین

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاهی دیپلوئید (۲n=2۶) است که به‌طور معمول خودگرد افشان بوده ولی تا ۵۰ درصد دگرگرفته‌افشانی نیز توسط حشرات در این گیاه گزارش شده است، همچنین به دلیل سهولت استخراج و پایداری زیاد روغن آن و همچنین تحمل به خشکی، به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان روغنی

۱- استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(Email: bmasoudi@gmail.com)
(*)- نویسنده مسئول

داشت. محققین دیگر نیز به اثر مستقیم و مثبت تعداد کپسول در یک بوته روی عملکرد دانه تک بوته اشاره کرده‌اند (Kavitha and Ramalingam, 2000; Arulmozhi et al., 2001; Deepasankar and Anandakumar, 2003).

اکبر و همکاران (Akbar et al., 2011) با بررسی ۱۰۵ نمونه کنجد از نظر ۱۶ صفت کمی و کیفی و با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی چهار مؤلفه شناسایی نمودند که ۶۳/۶۴ درصد از واریانس بین داده‌ها را توجیه می‌نمود. در مؤلفه اول صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌های فرعی ثانویه، تعداد کپسول در گیاه و عملکرد دانه دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه دوم صفات تعداد شاخه‌های فرعی اولیه، تعداد شاخه‌های فرعی ثانویه و وزن هزار دانه دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه سوم صفات تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی و طول کپسول دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه چهارم نیز صفات تعداد کپسول در گیاه با ضریب مثبت و صفات طول کپسول، قطر کپسول و تعداد دانه در کپسول با ضریب منفی دارای بالاترین ضرایب بودند.

منظیر (Menzir, 2012) با بررسی ۶۴ ژنوتیپ کنجد از نظر صفات مورفولوژیک و زراعی و با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۴ مؤلفه شناسایی نمود که ۷۵/۵۹ درصد از واریانس بین داده‌ها را توجیه می‌نمود. در مؤلفه اول صفات طول دوره پر شدن کپسول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه دوم صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی و روز تا رسیدگی با ضرایب مثبت و وزن هزار دانه با ضریب منفی دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه سوم صفات طول دوره پر شدن کپسول با ضریب منفی و صفات تعداد شاخه‌های جانبی و عملکرد بیولوژیک با ضرایب مثبت دارای بالاترین ضرایب بودند. در مؤلفه چهارم صفات تعداد شاخه‌های جانبی و شاخص برداشت دارای بالاترین ضرایب بودند.

هدف از این تحقیق بررسی روابط بین صفات عملکرد دانه و درصد روغن با برخی از صفات زراعی و تعیین ارقام مناسب از نظر عملکرد و دیگر صفات با استفاده از نمودار بای پلات به منظور استفاده از آنها در برنامه‌های به‌نژادی است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۹۵-۱۳۹۴ در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام گرفت. آزمایش به‌صورت طرح آگمنت با ۹۱ ژنوتیپ جدید وارداتی کنجد (دریافت شده از بانک‌های ژن گیاهی کشورهای آلمان، کانادا و استرالیا) با سه شاهد (ناز تک شاخه، اولتان و یلووایت) و در شش بلوک اجرا شد. از این بین حدود ۳۰ ژنوتیپ زودرس و ۳۰ ژنوتیپ نیز دیررس بودند. هر ژنوتیپ روی یک خط دو متری با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته ۱۰-۷ سانتی‌متر کاشته شد. در طول دوره رشد، اقدام به سه بار وجین دستی شد. اندازه‌گیری

هدف اصلاحی در کنجد افزایش عملکرد می‌باشد که این هدف اصلاحی با اصلاح برای بوته‌های منشعب‌تر و افزایش تعداد کپسول در بوته و افزایش تعداد برچه در کپسول دست یافتنی می‌شود (Baydar, 2005). همچنین تیپ رشدی محدود و متحمل به ریزش برای برداشت مکانیزه بسیار مورد علاقه است (Ashri, 1998).

شناخت مناسب ارتباطات بین عملکرد دانه و اجزای سازنده آن می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای کارایی برنامه اصلاحی را از طریق استفاده مناسب از شاخص‌های انتخاب بهبود دهد (Mohammadia et al., 2003; Rafiq et al., 2010). ماهیت ارتباط بین عملکرد دانه و اجزای آن مشخص‌کننده صفات مناسبی است که بایستی در انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد دانه استفاده شوند. مطالعات همبستگی می‌تواند به سادگی روابط بین عملکرد و صفات دیگر را اندازه‌گیری کند. تجزیه و تحلیل ضرایب مسیر نیز اجازه می‌دهد ضرایب همبستگی ساده بین صفات به اثرات مستقیم و غیرمستقیم تفکیک شوند و تاثیر اثر صفات مختلف برهم مشخص شوند. چنین اطلاعاتی می‌تواند مبنای واقعی برای تخصیص سهم مناسب به هر جزء عملکرد را فراهم کند (Mahajan et al., 2011). همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی که حالت خاصی از تجزیه به عامل‌ها است و در آن، تجزیه بدون چرخش فاکتورها انجام می‌گیرد نیز برای یافتن ترکیباتی از چند متغیر جهت ایجاد شاخص‌های مستقل (غیرهمبسته) می‌باشد که عدم همبستگی بین این شاخص‌ها یک ویژگی مفید بوده و جنبه متفاوتی از داده‌ها را اندازه‌گیری می‌کند (Manly, 2004).

ینگ زونگ و یشو (Yingzhong and Yishou, 2002)، با بررسی ۳۰ رقم کنجد با توجه به ۹ خصوصیت تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع گیاه، ارتفاع نخستین کپسول، تعداد کپسول در گیاه، طول کپسول، عرض کپسول، تعداد بذر در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد بذر در گیاه، نشان دادند که تعداد کپسول در گیاه و ارتفاع گیاه همبستگی مثبت معنی‌دار با عملکرد دانه در گیاه دارد.

۶۴ ژنوتیپ کنجد به منظور همبستگی بین عملکرد و ۶ خصوصیت تشکیل‌دهنده عملکرد به‌وسیله کومارسون و همکاران (Kumaresan and Nadarajan, 2003) مورد بررسی قرار گرفتند. به غیر از تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی و میزان روغن بقیه خصوصیات مطالعه شده همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند.

فاضل و همکاران (Fazal et al., 2015) با بررسی ۱۳ ژنوتیپ کنجد نتیجه‌گیری کردند که عملکرد دانه تک بوته بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد کپسول در گیاه دارد. تجزیه علیت نشان داد که ارتفاع گیاه دارای اثر مستقیم منفی روی عملکرد دانه بود در حالی که دارای اثرات غیر مستقیم مثبت از طریق تعداد کپسول در گیاه، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد دانه در کپسول بود. تعداد کپسول در یک بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت را روی عملکرد دانه

هستند. محققین دیگر نیز همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع گیاه و صفات تعداد کپسول در گیاه (Prasad *et al.*, 2013; Bharathi *et al.*, 2015) و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه (Prasad *et al.*, 2013; Guirguis *et al.*, 1996) مشاهده نموده‌اند. عملکرد دانه در بوته همچنین دارای همبستگی منفی و ضعیفی با تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی و تعداد روز تا رسیدگی (به‌ترتیب ۰/۲۱، -۰/۰۳) بود که با نتایج محققین دیگر (Kumaresan and Nadarajan, 2003; Abate and Mekbib, 2015) مشابهت داشت. مطالعاتی نیز همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه و صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی مشاهده نموده بودند (Karuppaiyan and Ramasamy, 2000; Lal *et al.*, 2016) که در تضاد با نتایج این تحقیق بود.

همانطور که در نتایج همبستگی ساده مشاهده می‌شود درصد روغن همبستگی مثبتی با عملکرد دانه داشت (۰/۲۱) که در توافق با نتایج بعضی از محققین (Karuppaiyan and Ramasamy, 2000; Thiyaagu *et al.*, 2007) و در تضاد با نتایج بعضی دیگر (Kumaresan and Nadarajan, 2003) بود. همچنین درصد روغن دارای همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری با وزن صد دانه، تعداد کپسول در شاخه اصلی، تعداد کپسول در تک بوته و وزن دانه‌های یک کپسول بود. ایبت و مک‌بیب (Abate and Mekbib, 2015) همبستگی بین درصد روغن و صفات عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه را منفی اشاره کرده‌اند.

برای تفسیر واضح‌تر و درک ساختاری و منطقی دقیق‌تر نتایج به‌دست آمده از همبستگی ساده بین صفات، تجزیه علیت برای عملکرد دانه تک بوته و درصد روغن انجام گرفت که نتایج آن به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. برای عملکرد دانه تک بوته با توجه به نتایج چنین برمی‌آید که تعداد کل کپسول‌ها در بوته بیشترین اثر مستقیم مثبت را دارد که با نتایج سایر محققین (Kumar and Vivekanandan, 2009; Kurdistani *et al.*, 2011; Sivaprasad and Yadavalli, 2012; Vanishree *et al.*, 2013) مطابقت دارد. همچنین صفات تعداد کل کپسول‌ها در شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک و طول کپسول نیز بعد از تعداد کل کپسول‌ها دارای اثرات مستقیم مثبت بالاتری نسبت به سایر صفات روی عملکرد دانه بودند. ایبت و مک‌بیب (Abate and Mekbib, 2015) نیز به اثرات مستقیم و مثبت عملکرد بیولوژیک روی عملکرد دانه تک بوته اشاره کرده‌اند. این در حالی است که گوداپاگودرا و همکاران (Goudappagoudra *et al.*, 2011) اشاره کرده‌اند که طول کپسول اثر مستقیم منفی روی عملکرد دانه دارد. همانطور که در نتایج مشخص است صفات عملکرد بیولوژیک یک بوته، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول شاخه‌های فرعی و اصلی دارای اثرات غیر مستقیم مثبت از طریق صفت تعداد کپسول کل بوته روی عملکرد دانه تک بوته داشته‌اند.

صفات با استفاده از پنج بوته تصادفی از وسط هر کرت با حذف حاشیه انجام پذیرفت. صفاتی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند عبارت از تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع گلدهی، تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع رسیدگی، ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در شاخه اصلی، تعداد کپسول‌های یک بوته، تعداد دانه در یک کپسول (میانگین بذر تعداد ۱۰ کپسول از ناحیه وسط بوته در پنج بوته)، وزن دانه یک کپسول (میانگین وزن دانه ۱۰ کپسول از ناحیه وسط بوته در پنج بوته)، وزن صد دانه، وزن یک کپسول (میانگین وزن ۱۰ کپسول از ناحیه وسط بوته در پنج بوته)، طول کپسول (میانگین طول ۱۰ کپسول از ناحیه وسط بوته در پنج بوته)، قطر کپسول (میانگین قطر ۱۰ کپسول از ناحیه وسط بوته در پنج بوته)، درصد روغن، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بودند. به منظور تعیین وضعیت یکنواختی زمین آزمایشی، تجزیه واریانس یک‌طرفه شاهد‌ها برای عملکرد و اجزای آن در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. پس از محاسبه ضرایب همبستگی ساده بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۵، تجزیه علیت برای عملکرد دانه و درصد روغن توسط نرم‌افزار Path74 صورت گرفت. در نهایت برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار Stat Graphics نسخه ۵/۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شاهد‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین بلوک‌ها از نظر صفات مربوط به عملکرد و اجزای آن وجود نداشت. ضرایب همبستگی فنوتیپی صفات اندازه‌گیری شده روی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که عملکرد دانه در بوته بالاترین همبستگی مثبت را به‌ترتیب با صفات تعداد کل کپسول‌ها در گیاه (۰/۷۳)، تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی (۰/۶۲)، عملکرد بیولوژیک (۰/۴۴)، تعداد کپسول در شاخه اصلی (۰/۴) و ارتفاع گیاه (۰/۴) دارد (جدول ۱). محققین زیادی نیز نتایج همبستگی مشابهی برای عملکرد دانه و صفات تعداد کل کپسول‌ها در گیاه (Azeez and Morakinyo, 2011; Mustafa *et al.*, 2015; Saha *et al.*, 2012; Yol *et al.*, 2010)، عملکرد بیولوژیک (Mishra *et al.*, 1994; Pawar *et al.*, 2002)، تعداد کپسول در شاخه اصلی (Lal *et al.*, 2016) و ارتفاع گیاه (Ibrahim and Khidir, 2012; Sumathi and Muralidharan, 2010; Thirumala Rao *et al.*, 2013) مشاهده نمودند.

به نظر می‌رسد با افزایش ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در گیاه افزایش یافته و عملکرد تک بوته افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته و هر دو صفت نیز با تعداد کپسول در بوته و عملکرد تک بوته دارای همبستگی مثبت

جدول ۱- نتایج همبستگی ساده بین صفات
Table 1- Result of simple correlation analysis between traits

	FD	MD	H	FCH	NB	NC/B	NC/M	NTC	SN/C	SW/C	HSW	CW	CL	CD	OIL	BY
MD	0.51**															
H	-0.17*	-0.13														
FCH	0.05	-0.05	0.31**													
NB	0.15	0.13	0.18*	0.20**												
NC/B	-0.03	0.10	0.28**	0.12	0.50**											
NC/M	-0.34**	-0.15	0.34**	-0.16**	-0.14	0.16*										
NTC	-0.13	0.06	0.41**	0.04	0.35**	0.73**	0.44**									
SN/C	0.03	0.13	0.20**	0.19*	-0.01	0.08	0.08	0.13								
SW/C	-0.04	0.05	0.20**	0.03	-0.03	0.15	0.17*	0.22**	0.49**							
HSW	-0.14	-0.06	0.04	-0.19*	-0.09	0.03	0.10	0.06	-0.19**	0.34**						
CW	0.07	0.11	0.35**	0.08	0.02	0.13	0.20*	0.22**	0.56**	0.66**	0.14					
CL	0.08	0.04	0.22**	0.02	0.15*	0.18**	0.10	0.19*	0.35**	0.34**	0.04	0.49**				
CD	-0.11	-0.04	0.20**	-0.07	-0.22**	-0.02	0.32**	0.11	0.34**	0.26**	-0.01	0.48**	0.31**			
OIL	-0.22**	-0.17	0.01	-0.20*	0.00	0.07	0.17*	0.13	-0.15	0.13	0.25**	-0.10	0.08	-0.16*		
BY	0.13	0.25**	0.24**	0.09	0.39**	0.45**	0.10	0.47**	0.13	0.10	-0.04	0.19*	0.19*	0.08	-0.04	
SY	-0.21*	-0.03	0.40**	0.05	0.30**	0.62**	0.40**	0.73**	0.11	0.28**	0.16*	0.26**	0.30**	0.15	0.21*	0.44**

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

and **: Significant at 95 and 99 percentage, respectively.

BY (Biological Yield): عملکرد بیولوژیک، CD (Capsule Diameter): قطر کپسول، CW (Capsule Weight): وزن یک کپسول، FCH (First Capsule Height from surface of Earth): ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین، FD (Flowering Date): روز تا شروع گلدهی، H (Height of plant): ارتفاع بوته، HSW (hundred Seed Weight): وزن صد دانه، MD (Maturity Date): تعداد: تعداد شاخه های در شاخه اصلی، NB (Number of Branches): تعداد کپسول در شاخه فرعی، NCM (Number of Capsule per Main stem): تعداد کپسول در شاخه های فرعی، NTC (Number of Total Capsule per plant): تعداد کپسول در شاخه اصلی، SN/C (Seed Number per Capsule): تعداد دانه در یک کپسول، SW/C (Seed Weight per Capsule): عملکرد دانه در یک کپسول، SY (Seed Yield): وزن دانه یک کپسول، OIL (Oil percentage): درصد روغن، SN/C (Seed Number per Capsule): تعداد کپسول در شاخه های فرعی، NCM (Number of Capsule per Main stem): تعداد کپسول در شاخه های اصلی، NTC (Number of Total Capsule per plant): تعداد کپسول در شاخه های اصلی، SN/C (Seed Number per Capsule): تعداد دانه در یک کپسول، SW/C (Seed Weight per Capsule): عملکرد دانه در یک کپسول

جدول ۲- نتایج تجزیه علیت برای عملکرد دانه
Table 2- Result of path analysis for seed yield

اثر مستقیم	BY	SN/C	SW/C	HSW	CW	CL	CD	H	FCH	NB	NC/B	NC/M	NTC	OIL	FD	MD
BY	0.13	.....	0.02	0.01	-0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.05	0.06	0.01	0.06	-0.01	0.02	0.03
SN/C	-0.04	-0.01	.....	-0.02	0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.00	-0.01
SW/C	0.07	0.01	0.03	.....	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
HSW	0.06	0.00	-0.01	0.02	.....	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	-0.01	0.00
CW	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CL	0.12	0.02	0.04	0.01	0.06	.....	0.04	0.03	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00
CD	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	.....	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00
H	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	.....	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	-0.01	-0.01
FCH	0.03	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	.....	0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00
NB	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.01	0.01	.....	0.02	-0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
NC/B	0.18	0.08	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.05	0.02	0.09	.....	0.03	0.13	0.01	-0.01	0.02
NC/M	0.09	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	-0.02	-0.01	0.01	.....	0.04	0.02	-0.03	-0.02
NTC	0.40	0.19	0.05	0.09	0.03	0.08	0.05	0.17	0.01	0.14	0.29	0.18	.....	0.05	-0.05	0.02
OIL	0.08	0.00	-0.01	0.01	0.02	0.01	-0.01	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	.....	-0.02	-0.01
FD	-0.11	-0.02	0.00	0.00	0.02	-0.01	0.01	0.02	-0.01	-0.02	0.00	0.04	0.01	0.02	.....	-0.06
MD	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	.....
اثر باقیمانده	0.61															

BY (Biological Yield): عملکرد بیولوژیک، CD (Capsule Diameter): قطر کپسول، CL (Capsule length): طول کپسول، CW (Capsule Weight): وزن یک کپسول، FCH (First Capsule Height from surface of Earth): روز تا شروع رسیدگی، NB (Number of Branches): تعداد شاخه فرعی، NC/B (Number of Capsule per Branches): تعداد کپسول در شاخه های فرعی، NC/M (Number of Capsule per Main stem): تعداد کپسول در شاخه اصلی، NTC (Number of Total Capsule per plant): وزن دانه یک کپسول، SY (Seed Yield): عملکرد دانه، SW/C (Seed Weight per Capsule): عملکرد دانه در یک کپسول، SN/C (Seed Number per Capsule): درصد روغن، OIL (Oil percentage): درصد روغن، FD (Flowering Date): ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین، H (Height of plant): روز تا شروع گلدهی، HSW (hundred Seed Weight): وزن صد دانه، MD (Maturity Date): روز تا رسیدگی

جدول ۳- نتایج تجزیه علیت برای درصد روغن
Table 3- Result of path analysis for oil %

اثر مستقیم	BY	SY	SN/C	SW/C	HSW	CW	CL	CD	H	FCH	NB	NC/B	NC/M	NTC	FD	MD
BY	-0.04	.....	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01
SY	0.16	0.07	.....	0.05	0.03	0.04	0.05	0.02	0.06	0.01	0.05	0.10	0.06	0.12	-0.03	-0.01
SN/C	-0.08	-0.01	.....	-0.04	0.02	-0.04	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01
SW/C	0.23	0.02	0.11	.....	0.08	0.15	0.08	0.06	0.05	0.01	-0.01	0.03	0.04	0.05	-0.01	0.01
HSW	0.10	0.00	-0.02	0.03	.....	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.01	0.00	0.01	0.01	-0.01	-0.01
CW	-0.22	-0.04	-0.06	-0.15	-0.03	.....	-0.11	-0.11	-0.08	-0.02	0.00	-0.03	-0.04	-0.05	-0.02	-0.03
CL	0.17	0.03	0.06	0.06	0.01	0.08	.....	0.05	0.04	0.00	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01
CD	-0.23	-0.02	-0.08	-0.06	0.00	-0.11	-0.07	.....	-0.05	0.02	0.05	0.00	-0.08	-0.03	0.03	0.01
H	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FCH	-0.15	-0.01	-0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.00	0.01	-0.05	.....	-0.03	-0.02	0.02	-0.01	-0.01	0.01
NB	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	.....	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NC/B	-0.06	-0.03	-0.04	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	-0.01	-0.03	.....	-0.01	-0.05	0.00	-0.01
NC/M	0.10	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	-0.02	-0.02	0.02	.....	0.04	-0.03	-0.02
NTC	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	.....	-0.01	0.00
FD	-0.10	-0.01	0.02	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.02	-0.01	-0.02	0.00	0.03	0.01	.....	-0.05
MD	-0.08	-0.02	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.04	.....
اثر باقیمانده	0.86															

BY (Biological Yield): عملکرد بیولوژیک، CD (Capsule Diameter): قطر کپسول، CL (Capsule length): طول کپسول، CW (Capsule Weight): وزن یک کپسول، FCH (First Capsule Height from surface of Earth): روز تا رسیدگی، NB (Number of Branches): تعداد شاخه های فرعی، NC/B (Number of Capsule per Branches): تعداد کپسول در شاخه های فرعی، NC/M (Number of Capsule per Main stem): تعداد کپسول در شاخه اصلی، NTC (Number of Total Capsule per plant): عملکرد دانه در یک کپسول، SY (Seed Yield): عملکرد دانه، SN/C (Seed Number per Capsule): تعداد دانه در یک کپسول، SW/C (Seed Weight per Capsule): وزن دانه یک کپسول، FD (Flowering Date): روز تا شروع گلدهی، H (Height of plant): ارتفاع بوته، HSW (hundred Seed Weight): وزن صد دانه، MD (Maturity Date): روز تا رسیدگی

کپسول در گیاه، عملکرد دانه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی بود و مؤلفه اول منظر (Menzir, 2012) که شامل صفات طول دوره پر شدن کپسول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بود، می‌باشد.

در مؤلفه دوم صفات وزن دانه یک کپسول و وزن یک کپسول دارای بالاترین ضرایب بودند که بالا بودن ضرایب این صفات نیز عادی بوده زیرا با افزایش تعداد دانه در یک کپسول و افزایش وزن دانه‌ها انتظار بر این است که وزن کپسول افزایش یابد. در مؤلفه سوم صفات روز تا شروع گلدهی و روز تا شروع رسیدگی دارای بالاترین ضرایب مثبت بودند و صفت ارتفاع بوته دارای ضریب منفی بالایی بود. در اغلب گیاهان انتظار بر این است که با افزایش طول دوره رشد، ارتفاع افزایش یابد اما همانطور که در نتایج همبستگی ساده صفات نیز مشاهده شد در ژنوتیپ‌های مورد بررسی همبستگی منفی و معنی‌داری بین صفات دوره رویشی و ارتفاع بوته مشاهده گردید که می‌توان این‌گونه بیان نمود که به‌طور کلی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی این روابط صادق نیست. نتایج این مؤلفه تقریباً مشابه مؤلفه سوم اکبر و همکاران (Akbar et al., 2011) که شامل صفات تعداد روز تا شروع گلدهی، تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی و طول کپسول و مؤلفه دوم منظر (Menzir, 2012) که شامل صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی و روز تا رسیدگی با ضرایب مثبت و وزن هزار دانه با ضریب منفی بود، می‌باشد.

در مؤلفه چهارم صفت ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین دارای بالاترین ضریب منفی بود. مؤلفه پنجم شامل صفات درصد روغن و طول کپسول با ضرایب مثبت بود. در نهایت مؤلفه ششم شامل صفات تعداد دانه در یک کپسول و تعداد کپسول در شاخه اصلی با ضرایب مثبت و وزن صد دانه با ضریب منفی بود.

معمولاً در برنامه‌های اصلاحی بیشتر توجه محققین روی صفت عملکرد می‌باشد، یعنی هدف برنامه‌های اصلاحی این است که با تغییر و اصلاح صفات دیگر که ارتباط نزدیکی با عملکرد دارند، بتوانند صفت عملکرد را بهبود ببخشند. در هر مؤلفه با توجه به جداول، مشاهده می‌شود که صفاتی که بیشترین ضرایب همبستگی را با هم داشته‌اند، در مؤلفه مورد نظر قرار گرفته‌اند و از این صفات می‌توان در انتخاب غیرمستقیم استفاده نمود و انتظار می‌رود که آن مؤلفه نیز با این روش اصلاح شود.

در این تحقیق اثرات باقی‌مانده برای تجزیه علیت عملکرد دانه بالا بود (۰/۶۱) که نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد که صفات مهم دیگری نیز بر عملکرد دانه تک بوته تأثیرگذار هستند که در تجزیه علیت وارد نشده‌اند. این نتیجه با نتایج محققین دیگر مطابق است (Sumathi et al., 2007; Goudappagoudra et al., 2011).

برای درصد روغن با توجه به نتایج تجزیه علیت می‌توان ابراز نمود که وزن دانه‌های یک کپسول بیشترین اثر مستقیم مثبت را دارد و صفات طول کپسول، عملکرد دانه و تعداد کپسول در شاخه اصلی نیز به‌ترتیب دارای اثرات مستقیم مثبت روی درصد روغن دانه بودند. همچنین قطر کپسول، وزن کپسول و ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین دارای بیشترین اثرات مستقیم منفی روی درصد روغن دانه بودند. تعداد دانه در کپسول از طریق وزن دانه‌های یک کپسول دارای اثر غیرمستقیم مثبت روی درصد روغن دانه می‌باشد. همچنین تعداد کل کپسول‌ها از طریق عملکرد دانه دارای اثر غیرمستقیم مثبت روی درصد روغن دانه می‌باشد. تعداد دانه در یک کپسول، وزن دانه‌ها در کپسول، طول کپسول و قطر کپسول دارای اثرات غیرمستقیم منفی از طریق صفت وزن یک کپسول روی درصد روغن دانه بود. همچنین وزن یک کپسول نیز دارای اثر غیر مستقیم منفی از طریق صفت قطر کپسول روی درصد روغن دانه بود. همچنین همانند صفت عملکرد دانه اثرات باقی‌مانده برای تجزیه علیت درصد روغن بالا بود (۰/۸۶) که نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد که صفات مهم دیگری نیز بر درصد روغن تأثیرگذار هستند که در تجزیه علیت وارد نشده‌اند.

نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها نشان داد که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شش مؤلفه که دارای ریشه مشخصه بزرگتر از یک بود مجموعاً ۸۲/۷۷ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه می‌کنند (جدول ۴). به‌طور کلی با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مؤلفه اصلی اول شامل صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی و تعداد کپسول‌های یک بوته می‌باشد که دارای ضرایب مثبت بالایی بودند. همانطور که در نتایج همبستگی ساده صفات و تجزیه علیت مشاهده شده با افزایش تعداد کپسول‌ها در بوته و افزایش وزن کپسول‌ها، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین آنها است. نتایج این مؤلفه تقریباً مشابه مؤلفه اول اکبر و همکاران (Akbar et al., 2011) که شامل صفات تعداد

جدول ۴- نتایج تجزیه به مؤلفه‌ها برای صفات مورد اندازه‌گیری در ژنوتیپ‌های مورد بررسی
Table 4- Result of principal component analysis for all traits in studied genotypes

صفات	Traits	مؤلفه اول First principal	مؤلفه دوم Second principal	مؤلفه سوم Third principal	مؤلفه چهارم Fourth principal	مؤلفه پنجم Fifth principal	مؤلفه ششم Sixth principal
عملکرد بیولوژیک	Biological Yield (BY)	0.31	-0.1	0.2	-0.09	-0.22	-0.04
عملکرد دانه	Seed Yield (SY)	0.37	-0.26	-0.05	0.14	0.1	-0.02
تعداد دانه در یک کپسول	Seed Number / Capsule (SN\C)	0.21	0.4	-0.01	-0.05	0.21	0.42
وزن دانه یک کپسول	Seed Weight / Capsule (SW\C)	0.19	0.43	0.02	0.33	0.14	-0.03
وزن صد دانه	hundred Seed Weight (HSW)	-0.02	0.09	0.01	0.53	-0.13	-0.65
وزن یک کپسول	Capsule Weight (CW)	0.31	0.4	0.04	0.07	-0.01	-0.09
طول کپسول	Capsule length (CL)	0.21	0.18	0.18	0.05	0.36	0
قطر کپسول	Capsule Diameter (CD)	0.25	0.23	-0.26	-0.07	-0.26	-0.07
ارتفاع بوته	Height of plant (H)	0.28	0.07	-0.33	-0.26	0.04	-0.2
ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین	First Capsule Height from Earth (FCH)	0.14	0.03	-0.14	-0.52	0.3	-0.3
تعداد شاخه فرعی	Number of Branches (NB)	0.23	-0.28	0.29	-0.03	0.28	-0.17
تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی	Number of Capsule / Branches (NC\B)	0.35	-0.3	0.12	0.01	0.02	-0.04
تعداد کپسول در شاخه اصلی	Number of Capsule / Main stem (NC\M)	0.24	-0.1	-0.28	0.15	-0.36	0.37
تعداد کپسول‌های یک بوته	Number of Total Capsule/ plant (NTC)	0.37	-0.29	0.02	0.1	-0.11	0.08
درصد روغن	Oil percentage (OIL)	-0.06	-0.18	-0.07	0.38	0.54	0.23
روز تا شروع گلدهی	Flowering Date (FD)	-0.03	0.12	0.55	-0.24	-0.07	0
روز تا شروع رسیدگی	Maturity Date (MD)	0.1	0.11	0.49	0.08	-0.25	0.13
مقدار ویژه	Eigen value	5.08	2.57	2.31	1.7	1.36	1.05
درصد واریانس	Percentage of variance	29.9	15.1	13.59	9.99	7.99	6.2
درصد تجمعی واریانس	Cumulative percentage of variance	29.9	45	58.59	68.58	76.57	82.77

صفات مرتبط با هم در یک جهت و همسو بوده و برای صفاتی که رابطه عکس با یکدیگر دارند غیر همسو می‌باشد. به‌عنوان مثال صفات تعداد دانه در کپسول، وزن دانه کپسول و وزن کپسول در یک راستا قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده ارتباط بین آنها است، همچنین همانطور که ملاحظه می‌شود درصد روغن در جهت مخالف این صفات قرار گرفته است و نشان‌دهنده رابطه عکس با صفات فوق می‌باشد. شکل ۲ نیز محل قرارگیری بعضی از ارقام را در این پلات

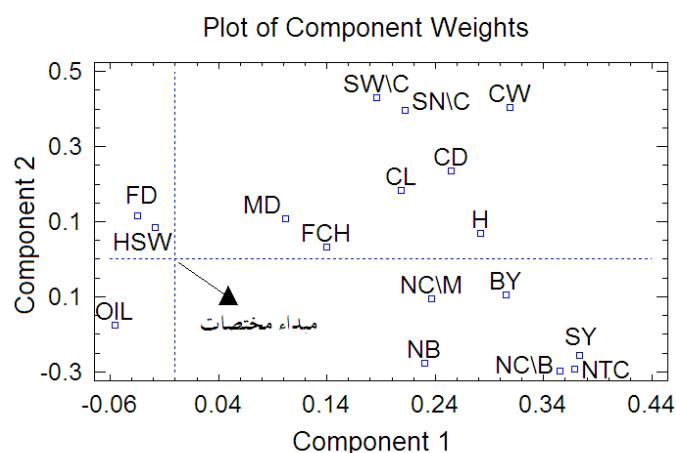
بر اساس پلات مؤلفه‌های مختلف با هم می‌توان بهترین ژنوتیپ‌ها را براساس مؤلفه‌های مختلف انتخاب نمود. در اکثر موارد از دو مؤلفه اول که بیشترین واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند برای این منظور استفاده می‌کنند که در تحقیق حاضر دو مؤلفه اول و دوم در مجموع ۴۵ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه می‌کردند. شکل ۱ محل قرارگیری صفات مختلف را در پلات حاصل از مؤلفه اول و دوم نشان می‌دهد و همانطور که مشخص است جهت نمودارها برای

شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول‌های شاخه اصلی، تعداد کل کپسول‌های یک بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و عملکرد بیولوژیک از جمله صفاتی هستند که مستقیماً عملکرد دانه را بالا می‌برند و بنابراین ارقامی که دارای مقدار بالاتری برای این صفات باشند در نتیجه عملکرد بالاتری خواهند داشت و در یک گروه قرار خواهند گرفت. با توجه به هدف از این تحقیق که انتخاب تعدادی ارقام از لحاظ عملکرد و سایر صفات بود می‌توان ذکر نمود که اگر به دنبال رقمی باشیم که عملکرد نسبی خوب و همچنین درصد روغن دانه نسبی خوبی نیز باشد می‌توان ژنوتیپ شماره ۷۹ با نام White c323-2 را انتخاب نمود. از طرف دیگر اگر دنبال ژنوتیپی باشیم که دارای عملکرد نسبی خوب باشد و نسبتاً زودرس نیز باشد می‌توان ژنوتیپ‌های با شماره ۷۹ و ۵۱ به‌ترتیب با اسامی White c323-2 و Local 123 را انتخاب نمود. همچنین به‌عنوان مثال دیگر اگر به دنبال رقمی با عملکرد نسبی بالا و تعداد دانه در کپسول بالا باشیم می‌توانیم ژنوتیپ شماره ۴۹ با نام Lao hong zhi ma را انتخاب نماییم. به‌طور کلی با توجه به شکل ۲ می‌توان ژنوتیپ‌های مورد بررسی را به سه گروه کلی تقسیم بندی نمود. گروه اول (سمت راست) اکثراً شامل ارقامی هستند که دارای عملکرد و اجزای عملکرد بالا هستند، گروه دوم سمت چپ بالا اکثراً شامل ارقام زودرس و با عملکرد پایین می‌باشند و در نهایت گروه سوم (سمت چپ پایین) شامل ارقام با درصد روغن بالا ولی عملکرد و اجزای عملکرد پایین هستند.

نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها ما قادر هستیم ژنوتیپ‌های مختلف را با توجه به صفات مختلف انتخاب کنیم. بدین صورت که از صفت مربوطه خطی به مبدأ مختصات رسم کرده و سپس خط دیگری که از مبدأ مختصات رد شود و عمود بر این خط باشد رسم می‌کنیم و ژنوتیپ‌هایی که بالاترین تصویر را روی خط اول داشته باشند و در سمت قرارگیری صفت مورد نظر نسبت به خط عمود باشند دارای بالاترین مقدار در رابطه با آن صفت بوده و ژنوتیپ‌هایی که بالاترین تصویر را روی خط اول داشته باشند و در سمت عکس قرارگیری صفت مورد نظر نسبت به خط عمود باشند دارای کمترین مقدار در رابطه با آن صفت خواهند بود. به‌عنوان مثال برای صفت عملکرد دانه با توجه به شکل ۲ در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ شماره ۴۹ به نام Lao hong zhi ma و سپس به‌ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۲۰ و ۱۵ دارای بالاترین تصویرهای مثبت برای این صفت بوده و بنابراین می‌توان آنها را به‌عنوان ارقام با عملکرد بالا در شکل حاصل از مؤلفه اول و دوم در نظر گرفت. به همین صورت ژنوتیپ شماره ۸۴ به نام White Sindos 381 (early) و سپس به‌ترتیب ژنوتیپ‌های ۲۴، ۴۷ و ۲۷ دارای بیشترین تصویرها اما در جهت عکس برای صفت عملکرد بوده و در نتیجه عملکرد دانه پایینی در شکل حاصل از مؤلفه اول و دوم دارند.

نتیجه‌گیری

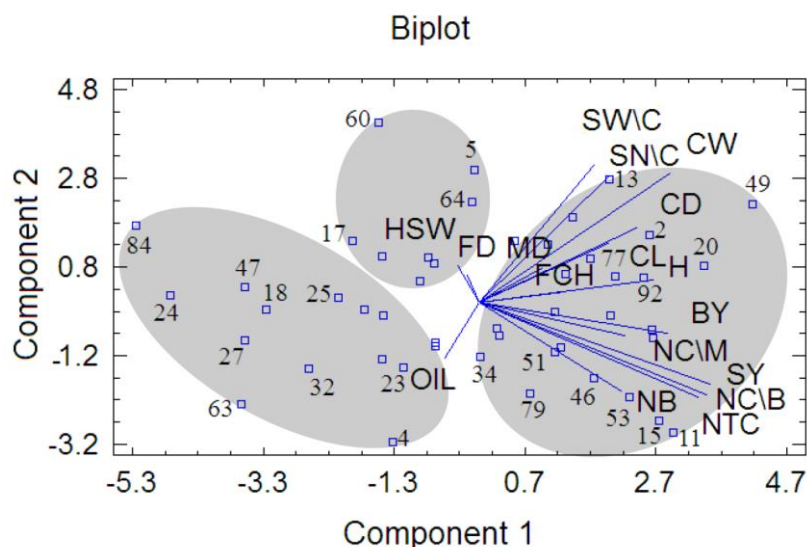
همانطور که از شکل ۲ مشخص است صفات تعداد کپسول در



شکل ۱- پلات بارهای عاملی مؤلفه اول و دوم حاصل از تجزیه به مؤلفه‌ها برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Figure 1- Plot of factor loadings of first and second principal component analysis for studied genotypes

BY: عملکرد بیولوژیک، CD: قطر کپسول، CL: طول کپسول، CW: وزن یک کپسول، FCH: ارتفاع اولین کپسول از سطح زمین، FD: روز تا شروع گلدهی، H: ارتفاع بوته، HSW: وزن صد دانه، MD: روز تا شروع رسیدگی، NB: تعداد شاخه فرعی، NC\B: تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی، NC\B: تعداد کپسول در شاخه اصلی، NTC: تعداد کپسول‌های یک بوته، OIL: درصد روغن، SN\C: تعداد دانه در یک کپسول، SW\C: وزن دانه یک کپسول، SY: عملکرد دانه



شکل ۲- بای پلات مؤلفه اول و دوم حاصل از تجزیه به مؤلفه‌ها برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی، بعضی از ژنوتیپ‌های قرار گرفته در آن و گروه‌بندی صورت گرفته برای ژنوتیپ‌ها

Figure 2- Biplot of first and second principal resulted from principal component analysis for studied genotypes, some of genotypes in it and grouping done for genotypes

2:Akyang, 4:Anthalya-1, 5:Ba fang tuo, 11:Black c-2-c, 13:Boryung, 15:Bukbak, 17:Daeyang, 18:Dongbu, 20:Dulce 101/87, 23:Godae, 24:Gogun, 25:Gyum 1 1, 27:Haeree, 32:Hanyim 1, 34:Hoechon 2, 46:Jungkyung, 47:Keumyu, 49:Lao hong zhi ma, 51:Local 123, 53:Margo, 60:Q21115 (non-shattering selection), 63:Sagok, 64:SC 4520-2-1, 77:VNIIMK 1651, 79:White c323-2, 84:White Sindos 381 (early), 92:اولتان

References

1. Abate, M., and Mekbib, F. 2015. Assessment of genetic variability and character association in 108 office low-altitude sesame (*sesamum indicum* L.) genotypes. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 2 (3): 55-66.
2. Akbar, F., Rabbani, M.A., Shinwari, Z.K., and Khan, S.J. 2011. Genetic divergence in sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces based on qualitative and quantitative traits. Pakistan Journal of Botany 43 (6): 2737-2744.
3. Arulmozhi, N., Santha, S., and Mohammed, S. 2001. Correlation and path co-efficient analysis in sesame. Journal of Ecobiology 13 (3): 229-232.
4. Ashri, A. 1998. Sesame breeding. Plant Breeding Reviews 16: 179-228.
5. Azeez, M. A., and Morakinyo, J. A. 2011. Path analysis of the relationships between single plant seed yield and some morphological traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Plant Breeding and Genetics 5: 358-368.
6. Baydar, H. 2005. Breeding for the improvement of the ideal plant type of sesame. Plant Breeding 124: 263-267.
7. Bharathi, D., Rao, V. T., Venkanna, V., and Bhadr, D. 2015. Association Analysis in Sesame (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology 6 (1): 210-212.
8. Deepasankar, P., and Anandakumar, C. R. 2003. Character association and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.). Agricultural Science Digest 23: 17-19.
9. Falconer, D. S., and T. F. C. Mackey. 1996. Introduction to quantitative genetics. Longman Group Ltd. Harlow, UK, 187- 246.
10. Fazal, A., Mustafa, H. S. B., Hasan, E., Anwar, M., Tahir, M. H. N., and Sadaqat, H. A. 2015. Interrelationship and Path Coefficient Analysis among Yield and Yield Related Traits in Sesame (*Sesamum indicum* L.). Natural Science 13 (5): 27-32.
11. Furat, S., and Uzun, B. 2010. The use of agro-morphological characters for the assessment of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). Plant Omics 3: 85-91.
12. Goudappagoudra, R., Lokesh, R., and Ranganatha, A. R. G. 2011. Trait association and path coefficient analysis for yield and yield attributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.) Electronic Journal of Plant Breeding 2 (3): 448-452.

13. Guirguis, N. R., Mandoh, E. L., and Madkour, M. A. 1996. Evaluation of some different genotypes of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Annals of Agricultural Sciences* 34 (1): 53-68.
14. Ibrahim, S. E., and Khidir, M. O. 2012. Genotypic correlation and path coefficient analysis of yield and some yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agricultural Science* 2 (8): 664-670.
15. Karuppaiyan, R., and Ramasamy, P. 2000. Cause and effect relationship between seed yield and its components in sesame. *Madras Agricultural Journal* 7 (1-3): 74-76.
16. Kavitha, M., and Ramalingam, S. 2000. Path analysis in segregating population of sesame. *Madras Agricultural Journal* 5 (1-3): 158-159.
17. Kumar, K. B., and Vivekanandan, P. 2009. Correlation and path analysis for seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding* 1: 70-73.
18. Kumaresan, D. and Nadarajan, N. 2003. Genetic divergence analysis in sesame (*sesamun indicum* L.). *Sesame and Safflower Newsletter* 18:15-19.
19. Kurdistani, R., Tohidinejad, E., Mohammadi-Nejad, G., and Zareie, S. 2011. Yield potential evaluation and path analysis of different sesame genotypes under various levels of iron. *African Journal of Plant Science* 5:862-866.
20. Lal, M., Dutta, S., Saikia, D., and Bhau, B. S. 2016. Assessment of Selection Criteria in Sesame by using Correlation and Path Coefficient Analysis under High Moisture and Acidic Stress Soil Condition. *Indian Journal of Science and Technology* 9(4).
21. Mahajan, R. C., Wadikar, P. B., Pole, S. P., and Dhuppe, M. V. 2011. Variability, Correlation and Path Analysis Studies in Sorghum. *Research Journal of Agricultural Sciences* 2: 101-103.
22. Manly, B. F. J. 2004. *Multivariate statistical methods, A primer*. Chapman and Hall, London. Third edition, 224p.
23. Menzir, A. 2012. Phenotypic variability, divergence analysis and heritability of characters in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Nature and Science* 10 (10): 117-126.
24. Mishra, A. K., Yada, L. N., and Tiwari, R. C. 1994. Association analysis for yield and its component in sesame (*Sesamum indicum*). *Agricultural Science Digest* 15: 42-46.
25. Mkamilo, G. S., and Bedigian, D. 2007. *Sesamum indicum* L. In H.A.M. van der Vossen and G.S. Mkamilo, eds. *Vegetable Oils. Plant Resources of Tropical Africa [PROTA]*. 14: 153-158.
26. Mohammadia, S. A., Prasanna, B. M., and Singh, N. N. 2003. Sequential path model for determining interrelationship among grain yield and related characters in maize. *Crop Science* 43: 1690-1697.
27. Mustafa, H. S. B., Ejaz-ul-Hasan, Q. A., Anwar, M., Aftab, M., and Mahmood, T. 2015. Selection Criteria for Improvement in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *American Journal of Experimental Agriculture* 9 (4).
28. Pawar, K. N., Chetti, M. B., and Jahagirdar, S. 2002. Association between seed yield attributing character in Sesame. *Agricultural Science Digest* 22: 18-20.
29. Rafiq, C. M., Rafique, M., Hussain, A., and Altaf, M. 2010. Studies on heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Research* 48: 35-38.
30. Saha, S., Tamina, B., and Tapash, D. 2012. Analysis of Genotypic Diversity in Sesame Based on Morphological and Agronomic Traits. *International Research Conference. Tropentag, Gottingen, Germany* 19-21.
31. Siva Prasad, Y. V. N., Krishna, M. S. R., and Venkateswarlu Yadavalli. 2013. Correlation, path analysis and genetic variability for economical characteristics in F2 and F3 generations of the cross AVT 3× TC 25 in Sesamum (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Environmental and Applied Bioresearch* 1 (2): 14-18.
32. Sivaprasad, Y. V. N., and Yadavalli, V. 2012. Correlation, path analysis and genetic variability in F2 and F3 generations of cross Padma × JLSV 4 in sesamum (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agricultural Science* 2: 311-314.
33. Sumathi, P., Muralidharan, V., and Manivannan, N. 2007. Trait association and path analysis for yield and yield attributing traits in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Madras Agricultural Journal* 94: 174-178.
34. Sumathi, P., and Murlidharan, V. 2010. Analysis of genetic variability, association and path analysis in the hybrids of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Tropical Agricultural Research and Extension* 13 (3): 63-67.
35. Thirumala Rao, V., Bharathi, D., Chandra Mohan, Y., Venkanna, V., and Bhadru, D. 2013. Genetic variability and association analysis in sesame. (*Sesamum indicum* L.). *Crop Research* 46 (1, 2&3): 122-125.
36. Thiyagu, K., Kandasamy, G., Manivannan, N., and Uma, D. 2007. Correlation and path analysis for oil yield and its components in cultivated sesame. *Department of Oilseeds, CPBG. Tamil Nadu Agricultural University, India.* 27: 1.
37. Vanishree, L. R., Banakar, N. C., and Renuka, G. 2013. Correlation and path coefficient analysis of 109oeff and 109oeff attributing traits in f4 generation of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Life Sciences* 10: 180-182.
38. Yingzhong, Z., and Yishou, W. 2002. Genotypic correlations and path coefficient analysis in sesame. *Sesame and Safflower Newsletter* 17:10-12.
39. Yoll, E., Karaman, E., Furat, S., and Uzun, B. 2010. Assessment of selection criteria in sesame by using correlation coefficients, path and factor analyses. *Australian Journal of Crop Science* 4 (8): 598-602.



An Evaluation of the Relationship between Seed Yield and Oil Percentage with Some Important Agronomic Traits in Sesame by Using Path Analysis and Principal Component Analysis

B. Masoudi^{1*}

Received: 16-12-2017

Accepted: 12-08-2018

Introduction: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is considered as the queen of oilseeds for its high oil quality. Sesame oil is rich in micronutrients, antioxidants and essential amino acids as well as polyunsaturated fatty acids. Proper understanding of the relationship between grain yield and its components can significantly improve the performance of the breeding program through the proper use of selection indicators.

Materials and Methods: In order to determine the relationship between the seed yield and oil percentage with some important agronomic traits, and to find the direct and indirect effects of important agronomic traits on both seed yield and oil percentage and also select best genotypes in terms of different traits, 91 sesame genotypes (received from botanical gene banks of Germany, Canada and Australia) were studied based on an augmented design with 3 checks (Oltan, Yellow white, Naz tak shakheh) at seed and plant improvement institute, Karaj, Iran in 2016. 17 agronomic traits including flowering date, maturity date, first capsule height from surface of earth, height of plant, number of branches, number of capsule per branches, number of capsule per main stem, number of total capsule per plant, seed number per capsule, seed weight per capsule, 100-seed weight, capsule weight, capsule diameter, capsule length, oil percentage, biological yield and seed yield were studied.

Results and Discussion: The results of simple correlation indicated that seed yield per plant had a high correlation with total number of capsules per plant, number of capsules in branches, biological yield, number of capsules per main stem and plant height. Also 100 seed weight, seed yield per plant, number of capsules per main stem, number of capsules per plant and seeds weight per capsules were in a high correlation with oil percentage. The result of path analysis showed that the number of capsules per plant, number of capsules per branch, biological yield and capsule length exerted the greatest positive effects on seed yield and therefore suggest that they can used as selection criteria in seed yield improvement. Also seeds weight per capsule, capsule length, seed yield and number of capsules per main stem exerted the greatest positive effects on oil percentage. The results of principal component analysis showed that 6 components comprised 82.77 % of the total variations in genotypes. In the first components of this study biological yield, seed yield, capsule weight, number of capsules in the branches and number of capsules per plant had high positive coefficients. The number of seeds per capsule, the seed weight of a capsule and the weight of a capsule had the highest coefficients in the second component. In the third component, the traits of the day to the beginning of flowering and the day to the beginning of the maturity had the highest positive coefficients and the height of the plant had a high negative coefficient. In the fourth component, the weight of 100 seeds, oil percent and seed weight per capsule had the highest positive coefficients and the height of the first capsule from the ground surface had the highest negative coefficient. The fifth component, including oil percent, capsule length and height of the first capsule from the ground had positive coefficients and the numbers of capsules in the main branch were negative. Finally, the sixth component included the number of seeds per capsule and the number of capsules in the main branch with positive and 100-seed weight and the height of the first capsule from the surface with negative coefficients. Lao hong zhi ma and Black c-2-c, Dulce 101/87 and Bukbak had the highest yield in component 1 and 2 biplot. The genotype number 79, with the name of White c323-2, had a good relative yield and also a good relative seed oil content. In addition, genotypes number 79 and 51, with the names of White c323-2 and Local 123, have a good relative yield and also relatively early. Finally, genotype number 49, with the name of Lao hong zhi ma, had the highest relative yield and seed number per capsule.

Conclusions: For improvement of each component, we must pay attention to the related traits because gene or genes which control number of capsules per plant, probability control biological yield, capsule weight and other significant traits in this component too, and the component or gene which control this traits is similar gene or factor. By identifying these phenological and morphological patterns that effective in the structure of sesame and determining the relationships between them, breeders can use them in future programs.

Keywords: Oil percentage, Path analysis, Principal component analysis, Seed yield

1- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: bmasoudi@gmail.com)



ارزیابی تحمل به تنش خشکی دوره رشد زایشی در برخی از ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

وحید بحرینی و بجویه^۱، محمد رضا داداشی^{۲*}، سید محمود ناظری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

این بررسی به منظور تعیین حدود حساسیت و تحمل به تنش کمبود رطوبتی ژنوتیپ‌های گندم به شرایط آبیاری کامل و کمبود رطوبتی در دوره زایشی اجرا شد. تعداد هشت ژنوتیپ حاصل از برنامه به‌نژادی اقلیم سرد کشور که دارای تیپ رشد زمستانه در مقایسه با ارقام اروم، میهن و زارع به‌عنوان شاهد بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۳ در دو شرایط آبیاری کامل و کمبود رطوبتی در دوره زایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق از ۱۴ شاخص ارزیابی تنش به‌ترتیب شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل به تنش تعدیل‌یافته (MSTI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص خشکی (DI)، شاخص تحمل غیرزیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص محصول در تنش و بدون تنش (SNPI) و درصد کاهش عملکرد (RE) استفاده گردید. در مجموع شاخص‌ها پنج شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل به تنش تعدیل‌یافته (MSTI) با احتمال ۹۹ درصد بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند و به‌عنوان برترین شاخص‌های متحمل به خشکی در این بررسی مشخص شدند. ژنوتیپ هشت که بالاترین مقدار را در این پنج شاخص داشت به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ در شرایط تنش شناسایی گردید. ارقام شاهد به لحاظ عملکرد و تحمل به تنش خشکی در قیاس با ژنوتیپ هشت جایگاه مناسبی نداشتند. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ هشت بیشترین عملکرد را با ۵۱۷۶ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داده و در رتبه میانگین شاخص‌های این تحقیق رتبه اول را داشت. ژنوتیپ ۹ نیز از لحاظ عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با ۵۰۷۹ کیلوگرم در هکتار و رتبه دوم در میانگین شاخص‌های این تحقیق به‌عنوان بهترین ژنوتیپ متحمل به خشکی بعد از ژنوتیپ ۸ قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، پایداری، شاخص عملکرد، کمبود رطوبت

مقدمه

2014). با عنایت به محدودیت ذخایر آب موجود در سراسر جهان باید سیاست‌های کشاورزی به منظور افزایش تولید گندم، تدوین برنامه‌های استراتژیک جهانی برای تحقیقات گندم، تشویق سرمایه‌گذاری کارآمد در این خصوص و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل در برابر شرایط تنش خشکی صورت گیرد (Gautam et al., 2015). تغییرات آب و هوایی منجر به خشک‌سالی در بعضی کشورها گردیده که بایستی با توسعه ارقام متحمل به خشکی، بهره‌وری گندم را افزایش داد (Dixit et al., 2018). تنش خشکی قبل از گرده‌افشانی در گندم بر روی باروری گیاه و بعد از آن در دوره پر شدن دانه تأثیرات منفی دارد (Al-Ajlouni et al., 2016).

در تحقیقی بر روی ۱۲ ژنوتیپ جو در شرایط تنش خشکی در انتهای فصل رشد، همبستگی معنی‌دار بین عملکرد دانه و شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) وجود داشت و شاخص‌های

در میان غلات گندم مهمترین گیاه زراعی است و نقش حیاتی در اقتصاد کشاورزی کشورها دارد (Tadesse et al., 2016). با توجه به پیش‌بینی جمعیت ۹ میلیارد نفری در سال ۲۰۵۰، تقاضا برای گندم ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت. (Lucas et al.,)

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

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۳- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(Email: mdadashi730@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.69690

مذکور به عنوان بهترین شاخص برای غربالگری ژنوتیپهای متحمل به خشکی انتخاب شدند (Khokhar et al., 2012).

تحمل به خشکی صفت کمی نیست و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد و این امر باعث مشکل شدن شناسایی ژنوتیپهای متحمل به خشکی می‌شود (Takeda and Matsuka, 2008). در مناطق خشک مرحله پر شدن دانه اغلب با دوره‌ای منطبق می‌شود که درجه حرارت محیط افزایش و ذخیره رطوبتی خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه این تنش چروکیدگی دانه، کاهش وزن و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. بنابراین در این شرایط ارقامی که توانایی تولید محصول بیشتری داشته باشند مورد توجه قرار می‌گیرند. برای غربال ارقام متحمل به خشکی بایستی از شاخص‌های متحمل به تنش استفاده کرد (Moayedi et al., 2010).

در شرایط تنش رطوبتی در طی پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، یک صفت فیزیولوژیک موثر در افزایش کارایی توزیع ماده خشک به سمت دانه می‌باشد (Naderi et al., 2013).

برای دقت بیشتر در گزینش‌ها بهتر است از چندین شاخص استفاده شود (Zebajadi et al., 2013). در بررسی انجام شده در داراب فارس به دلیل این که شاخص‌های STI, GMP, MP بیشترین همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی داشتند به عنوان شاخص‌های مناسب جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی معرفی و با عنایت به این شاخص‌ها متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی معرفی شدند (Dastfal et al., 2011).

Fischer and Maurer (1978) شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index (SSI) ژنوتیپ‌ها را پیشنهاد دادند. این محققین نشان دادند که ژنوتیپ‌های با SSI کمتر از واحد به خشکی متحمل‌ترند و SSI را معیاری از نسبت تغییرات عملکرد دانه یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری کامل دانستند و این شاخص را برای ارزیابی میزان حساسیت و تحمل معرفی نمودند. (Fernandez 1992) شاخص‌های تحمل به تنش (STI) Stress Tolerance Index، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) Geometric Mean Productivity و میانگین هارمونیک (HARM) Harmonic Mean را ارائه داد و STI را به عنوان معیاری برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی پیشنهاد کرد که مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده تحمل زیاد به تنش و عملکرد بالقوه بالا در ژنوتیپ مورد نظر است. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) در مقایسه با شاخص (MP) Mean Productivity در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. مقادیر بالای عددی GMP, MP و HM بیانگر تحمل بیشتر به تنش می‌باشند. طبق نظر فرناندز شاخص‌هایی که در دو محیط تنش

و بدون تنش همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه دارند، شاخص‌های برتری هستند چراکه قادر به تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. بر این اساس با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل را غربال و مناسب‌ترین ژنوتیپ را انتخاب کرد. (Fernandez 1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش و بدون تنش چهار نوع واکنش برای ژنوتیپ‌ها در نظر گرفت عملکرد بالاتر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه A)، عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط بدون تنش (گروه B)، عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط تنش (گروه C) و عملکرد پایین‌تر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه D). شاخص میانگین تولید MP و شاخص تحمل (TOL) Tolerance برای ارزیابی عکس‌العمل گیاهان زراعی ارائه شد که ژنوتیپ‌هایی با MP بالا و TOL کم از پایداری تولید بالاتری در شرایط تنش برخوردارند، در شاخص‌های معرفی شده مقدار TOL براساس تفاوت میانگین عملکرد در شرایط آبیاری کامل و تنش محاسبه می‌شود (Rosielle and Hamblin, 1981). در شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index (YSI) انتظار می‌رود ژنوتیپ‌هایی با مقدار عددی بالاتر از این شاخص، عملکرد بالایی در شرایط تنش داشته باشند (Bouslama and Schpaugh, 1984). در واقع ژنوتیپی که بر اساس YSI به عنوان ژنوتیپ متحمل انتخاب می‌شود ثبات عملکرد بالاتری داشته و حداقل کاهش عملکرد را نشان می‌دهد (Yarnia et al., 2011). شاخص عملکرد (YI) Yield Index ارقام را فقط براساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند و مقدار عددی بالا بیانگر برتری در این شاخص است (Gavazzi et al., 1997). بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد. شاخص جدید خشکی (DI) Drought Index معمولاً برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش بوده و مقدار عددی بالا بیانگر برتری در این شاخص می‌باشد (LAN, 1998). شاخص‌های DI و STI نه تنها توان ژنوتیپ‌ها برای تولید عملکرد بالا در شرایط تنش را در نظر می‌گیرند بلکه عملکرد مناسب در شرایط آبیاری کامل را نیز ملاک قرار می‌دهند. شاخص STI به شاخص تحمل به تنش تغییر یافته (MSTI) Modified Stress Tolerance Index اصلاح شد و برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی و بر این اساس در شاخص KiSTI, Ki ضریب تصحیح STI در شرایط رطوبتی می‌باشد. بنابراین K1STI و K2STI به ترتیب شاخص‌های انتخاب مطلوب در شرایط بدون تنش و تنش بوده و مقدار عددی بالا بیانگر برتری می‌باشد (Farshadfar and Sutka, 2002). (Fernandez 1992) کارایی شاخص تحمل به تنش تغییر یافته MSTIK را در غربال ژنوتیپ‌های گندم از نظر تحمل

میانگین دمای فصل سرد ۴- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. بارندگی سالیانه مشهد ۲۵۶ میلی‌متر و آب و هوای آن بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه خشک و سرد است.

عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبلی، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو بود. کود مصرفی بر اساس آزمون خاک با فرمول (۵۰-۹۰-۱۲۰) بود که کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود فسفره از منبع فسفات آمونیوم کود نیتروژنی از منبع اوره در دو نوبت پایه و سرک به مصرف رسید. آبیاری به صورت نشتی انجام شد. برای شرایط آبیاری کامل یک نوبت آبیاری پاییزه و ۳ نوبت آبیاری بهاره انجام گردید ولی برای ایجاد شرایط تنش در مورد ژنوتیپ‌های تحت تنش محدودیت رطوبتی، با قطع آبیاری پس از ظهور بساک (اواسط اردیبهشت) انجام شد و لازم به توضیح است تا مرحله ظهور بساک در هر دو شرایط آبیاری به طور یکسان انجام گرفت. هر ژنوتیپ در یک کرت با ابعاد $7/2 \times 1/2 = 6$ متر مربع کشت شد که با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت، مساحت برداشت ۶ متر مربع بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به ترتیب ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده شد. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در هر متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر رقم تعیین گردید.

افزون بر میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش، شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش محدودیت رطوبتی اعم از شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش محدودیت رطوبتی (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص تحمل به تنش تعدیل‌یافته (MSTI)، درصد کاهش عملکرد (RE)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل غیر زیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص محصول در شرایط تنش و بدون تنش (SNPI) به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در دوره زایشی، ارزیابی شد. شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در معادله‌های ۱ الی ۱۴ نشان داده شده است.

به تنش تأیید نمود.

شاخص‌های تحمل غیر زیستی (ATI) Abiotic Tolerance Index، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) Susceptibility Percentage Index Stress، شاخص محصول در تنش و بدون تنش Stress non-Stress Production Index، برای تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل و غیر متحمل به تنش خشکی معرفی شدند (Moosavi et al., 2008). در دو شاخص ATI و SSPI کمترین و در SNPI بیشترین مقدار عددی، برتری این شاخص‌ها را معرفی می‌نماید. در شاخص درصد کاهش عملکرد Reduction Percentage (RE%)، عنوان شد درصد کاهش عملکرد در شرایط تنش عامل موثری برای تحمل به تنش می‌باشد و مقدار عددی کمتر این شاخص برتری محسوب می‌شود (Choukan et al., 2006). گندم آبی در مناطق نیمه‌خشک و خشک عمدتاً با خشکی آخر فصل روبه‌رو است، موفقیت برای دستیابی به ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش مستلزم مقایسه ژنتیکی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد، با دستیابی به این ژنوتیپ‌ها امکان مطالعه جامع برای شناخت صفات فیزیولوژیکی مرتبط با فرایندهای سازگاری میسر خواهد شد. هدف از اجرای این تحقیق شناسایی و تعیین برخی لاین‌های متحمل به تنش خشکی و پر محصول از نظر عملکرد دانه برای معرفی در شرایط تنش خشکی در دوره زایشی و تعیین شاخص‌هایی با کارایی مطلوب برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی تعداد هشت ژنوتیپ گندم حاصل از برنامه‌های به‌نژادی ایستگاه‌های سرد کشور که دارای تیپ رشد زمستانه می‌باشند به همراه ارقام میهن، زارع و اروم به عنوان شاهد بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری کامل و تنش محدودیت رطوبتی در دوره رشد زایشی مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق برای محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS و تعیین ضرایب همبستگی از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

این آزمایش طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق به ترتیب ۴۳/۴ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای فصل گرم ۲۴/۵ و

جدول ۱- نام/ تالاقی ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی (شجره)

Table 1-Pedigree genotypes of wheat

ردیف	تیمار/ Plot No	شجره/ Pedigree
1	زارع	BOL1.11//F35.70/MO73/4/YMH/TO/3/LIRA CIT92/ M 0- E-OYC-7YC-OYC-1YC-OYC-3YC-OYC
2	میهن	/90-ZHONG87 BK
3	اروم	ER 732/ N ALVAND/
4	C-93-4	TILA/SHARK/F4105W2.1 NWAA15/A
5	C-93-5	ERYT1554.90/MV1
6	C-93-6	SPN/MCD/3/NZR/4 LD"s'../
7	C-93-7	BOW/CROW/3RSH//3B/3/91 U
8	C-93-8	JI4//SHARK/F4105W2.1 R8/
9	C-93-9	BLUEGIL-2/ UCUR /SI E NA
10	C-93-10	AJIVI A
11	C-93-11	K-1 G HA 196/

$$D = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$$

$$SSI = [1 - (Y_s / Y_p)] / D \quad (۱)$$

$$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2 \quad (۲)$$

$$TOL = Y_p - Y_s \quad (۳)$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (۴)$$

$$MP = (Y_p + Y_s) / 2 \quad (۵)$$

$$HARM = 2(Y_p)(Y_s) / Y_p + Y_s \quad (۶)$$

$$MSTI = kiSTI \quad (۷)$$

$$K1 = Y_p^2 / \bar{Y}_p^2$$

$$K2 = Y_s^2 / \bar{Y}_s^2$$

$$RE\% = [(Y_p - Y_s) / Y_p] \times 100 \quad (۸)$$

$$YI = Y_s / \bar{Y}_s \quad (۹)$$

$$YSI = Y_s / Y_p \quad (۱۰)$$

$$ATI = [(Y_p - Y_s) / (\bar{Y}_p / \bar{Y}_s)] [\sqrt{Y_p \times Y_s}] \quad (۱۱)$$

$$SSPI = [(Y_p - Y_s) / 2(\bar{Y}_p)] \times 100 \quad (۱۲)$$

$$SNPI = [^3\sqrt{(Y_p + Y_s)(Y_p - Y_s)}] [^3\sqrt{(Y_p \times Y_s \times Y_s)}] \quad (۱۳)$$

$$DI = Y_s \times (Y_s / Y_p) / \bar{Y}_s \quad (۱۴)$$

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر آبیاری و اثر متقابل سال در ژنوتیپ در سطح احتمال ۹۹ درصد و اثرات سال و ژنوتیپ هرکدام در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بودند که نشان از تأثیرات تنش خشکی در دوره رشد زایشی، تنوع ژنتیکی و تغییرات آب و هوایی در عملکرد دانه می‌باشد (جدول ۲).

که در معادلات بالا Y_p عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Y_s عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، $\bar{Y}_p$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، $\bar{Y}_s$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، D شدت تنش و $K1$ و $K2$ به ترتیب ضریب تصحیح STI در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب دوساله عملکرد دانه

Table 2- Analysis of variance composite at two years on grain yield

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares
Year/سال	1	24.946*
Rep/(سال) تکرار	4	0.444 ns
Irrigation/آبیاری	1	158.39 **
سال×آبیاری / Irrigation×Year	1	2.172 ns
خطای 1/1 Error	4	0.415
ژنوتیپ/ Genotype	10	0.469 *
سال×ژنوتیپ/ Year×Genotype	10	0.740 **
آبیاری×ژنوتیپ /	10	0.134 ns
Irrigation×Genotype		
سال×آبیاری×ژنوتیپ	10	0.209 ns
Irrigation×Genotype×Year		
خطای 2/2 Error	80	0.201
		CV=7.5%

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: no significant, significant at level 5 and 1 percent respectively

رقم‌های گندم نان مرودشت و زاگرس را به ترتیب ۶۱/۹ و ۳۰/۱ درصد کاهش داد (Saeidi *et al.*, 2010). تحقیقات نشان داد که در شرایط تنش خشکی آخر فصل رشد کاهش شدیدی در فتوسنتز گندم پس از مرحله گرده‌افشانی رخ می‌دهد که باعث محدود شدن اختصاص مواد حاصل از فتوسنتز جاری گیاه به دانه می‌شود، بدین ترتیب کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دوره رشد زایشی را می‌توان به کاهش فتوسنتز جاری گیاه نسبت داد (Ehdaie *et al.*, 2008).

عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول ۱۳/۶ درصد کاهش نشان داد و اختلاف معنی‌دار بین عملکرد دانه در دو سال زراعی وجود دارد که ناشی از تاثیر تغییرات آب و هوایی بود (جدول ۳). تنش اعمال شده در این تحقیق باعث شد میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی دوره رشد زایشی نسبت به شرایط آبیاری کامل ۳۱ درصد کاهش نشان دهد که حاکی از تاثیر تنش خشکی در زمان پر شدن دانه است (جدول ۴). پژوهش انجام شده در کرج نشان داد تنش خشکی در دوره پرشدن دانه گندم، عملکرد دانه

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد دانه براساس آزمون دانکن

Table 3-Mean comparison effect of year on grain yield on base Duncan test

سال Year	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
2014-2015	6407 a
2015-2016	5537 b

 اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) نمی‌باشند.

 Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

به لحاظ عملکرد ارقام شاهد در شرایط تنش، بدون تنش و میانگین رتبه تحمل به تنش خشکی شاخص‌ها نسبت به ژنوتیپ ۸ از جایگاه قابل قبولی برخوردار نبودند (جدول ۶).

جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها بر عملکرد دانه نشان داد ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف معنی‌دار دارند که بیانگر تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها بوده و همین باعث شد در شرایط تنش خشکی در دوره زایشی واکنش متفاوت داشته باشند. ژنوتیپ ۸ به غیر از ژنوتیپ‌های ۹، ۷ و ۶ با سایر ژنوتیپ‌ها از جمله ارقام شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه براساس آزمون دانکن

Table 4- Mean comparison effect of drought stress on grain yield on base Duncan test

آبیاری Irrigation	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
Normal/آبیاری کامل	7068 a
Stress/آبیاری در شرایط تنش	4877 b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی باشند.Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپها براساس آزمون دانکن

Table 6 - Mean Comparison genotypes on grain yield on base Duncan test

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
1	5816 de
2	5848 de
3	6053 bc
4	5924 cd
5	5724 e
6	6168 ab
7	6100 abc
8	6288 a
9	6159 ab
10	5943 cd
11	5671 e

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) نمی باشند.Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P < 0.05$)

تحمل به تنش را به خود اختصاص دهد به عنوان متحمل ترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۶). در تحقیق دیگر مشخص شد، GMP, MP و STI همبستگی مثبت و معنی دار با عملکرد دانه در دو شرایط تنش خشکی و آبیاری معمول داشتند و بر همین اساس مناسب ترین شاخص ها برای انتخاب ژنوتیپ های متحمل به خشک سالی معرفی شدند (Saeidi et al., 2016).

در آزمایشی شاخص های GMP, MSTI, STI, MP, HM به عنوان مناسب ترین شاخص ها برای شناسایی ژنوتیپ های متحمل به خشکی معرفی شدند (Afiuni et al., 2009). در آزمایشی بر روی ۳۰ ژنوتیپ گندم نان شاخص های DI, YI, STI, MP, GMP به عنوان مناسب ترین شاخص ها برای شناسایی ژنوتیپ های متحمل به خشکی معرفی شدند (Farshadfar et al., 2013). در دو تحقیق جداگانه یکی با ژنوتیپ های گندم نان و دیگری با ارقام گندم دوروم گزارش شد SSI قادر به تشخیص ارقام دارای عملکرد دانه نمی باشد (Sanjari et al., 2010; Zebarjadi et al., 2013).

در این تحقیق شاخص های TOL, YSI, SSI, YI, DI, RE, ATI, SSPI و SNPI در هر دو شرایط بدون تنش و تنش با عملکرد دانه همبستگی معنی دار نشان ندادند (جدول ۸). لازمه انتخاب شاخص برتر این است که شاخص ها بتوانند در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، همبستگی معنی دار با عملکرد دانه داشته باشند، لذا نمی توان با شاخص های مذکور ژنوتیپ متحمل به خشکی با عملکرد بالا را انتخاب کرد.

در این تحقیق همبستگی معنی دار شاخص های GMP, MSTI, MP, STI, HM با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش وجود دارد که انتخاب ژنوتیپ ها براساس این شاخص ها می تواند منجر به گزینش ژنوتیپ هایی شود که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالا دارند (جدول ۸). ژنوتیپ ۸ در این شاخص ها برتر بود و از نظر عملکرد در شرایط تنش رتبه اول با ۵۱۷۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط بدون تنش با ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار با اختلاف اندکی (۳۹ کیلو گرم در هکتار) از ژنوتیپ ۶ رتبه دوم را داشت. با توجه به این که ژنوتیپ ۸ توانست رتبه برتر میانگین شاخص های حساسیت و

جدول ۶- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی دوره زایشی (YS) در دو سال آزمایش و مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

Table 7-Mean grain yield (kg ha^{-1}) at non-stress (YP) and drought stress at reproductive phase (YS) on two years and amounts of tolerance and susceptibility to stress

رتبه	TOL	رتبه	MP	رتبه	GMP	رتبه	STI	رتبه	SSI	رتبه	Ys	رتبه	Yp	ژنوتیپ
3	2046	9	5816	9	5725	9	0.661	4	0.964	8	4793	10	6839	1
4	2095	8	5848	8	5753	8	0.662	6	0.977	7	4801	7	6896	2
9	2375	5	6052	5	5934	5	0.705	9	1.057	6	4865	6	7240	3
1	1868	7	5924	7	5849	6	0.685	1	0.877	4	4990	4	6858	4
2	1882	10	5724	10	5646	10	0.683	2	0.909	9	4783	9	6665	5
11	2543	2	6167	2	6035	3	0.729	10	1.099	5	4896	5	7439	6
6	2201	4	6100	4	6000	4	0.72	7	1.983	3	5000	3	7201	7
7	2224	1	6288	1	6188	1	0.766	5	0.967	1	5176	1	7400	8
5	2160	3	6159	3	6063	2	0.736	3	0.961	2	5079	2	7239	9
8	2322	9	5943	9	5828	7	0.68	8	1.051	10	4782	10	7104	10
10	2383	11	5670	11	5543	11	0.615	11	1.118	11	4479	11	6862	11

اعداد کوچکتر در رتبه‌بندی‌ها و میانگین رتبه شاخص‌ها نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ است.

Numbers of lower in ranking , mean of rank indices indicate advantage genotype

ادامه جدول ۶- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی دوره زایشی (YS) در دو سال آزمایش و مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

Continue Table 6- Mean grain yield (kg ha^{-1}) at non-stress (YP) and drought stress at reproductive phase (YS) on two years and amounts of tolerance and susceptibility to stress

رتبه	YI	رتبه	YSI	رتبه	HM	رتبه	MSTIK1	رتبه	MSTIK2	رتبه	DI	ژنوتیپ
8	0.982	4	0.7	9	5609	9	0.619	9	0.63	6	0.688	1
7	0.984	6	0.696	8	5660	8	0.63	8	0.641	7	0.685	2
6	0.997	9	0.671	5	5819	5	0.739	5	0.701	8	0.67	3
4	1.023	1	0.727	6	5776	6	0.645	7	0.717	1	0.744	4
9	0.981	2	0.717	10	5569	10	0.576	11	0.613	5	0.703	5
5	1.004	10	0.658	3	5905	3	0.807	2	0.734	9	0.66	6
3	1.025	7	0.694	4	5901	4	0.747	4	0.757	4	0.712	7
1	1.061	5	0.699	1	6091	1	0.839	1	0.863	2	0.742	8
2	1.041	3	0.701	2	5969	2	0.772	3	0.798	3	0.73	9
10	0.98	8	0.673	7	5716	7	0.687	6	0.654	9	0.66	10
11	0.918	11	0.652	11	5420	11	0.579	10	0.518	11	0.59	11

اعداد کوچکتر در رتبه‌بندی‌ها و میانگین رتبه شاخص‌ها نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ است.

Numbers of lower in ranking, mean of rank indices indicate advantage genotype

ادامه جدول ۶- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی دوره زایشی (YS) در دو سال آزمایش و مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

Continue Table 6-Mean grain yield (kg ha^{-1}) at non-stress (YP) and drought stress at reproductive phase (YS) on two years and amounts of tolerance and susceptibility to stress

میانگین رتبه شاخص‌ها	رتبه	RE	رتبه	ATI	رتبه	SSPI	رتبه	SNPI	ژنوتیپ
6.7	4	29.9	3	8.15	3	14.47	7	9.604	1
6.5	6	30.4	4	8.31	4	14.82	6	9.609	2
6.8	9	32.8	10	9.72	9	16.8	8	9.55	3
3.7	1	27.2	2	7.54	2	13.21	2	10.26	4
6.5	2	28.2	1	7.32	1	13.31	5	9.65	5
6.4	11	34.1	11	10.591	11	17.99	9	9.51	6
4.7	7	30.5	6	9.18	6	15.57	4	9.93	7
3	5	30	9	9.943	9	15.73	1	10.37	8
3.05	3	29.8	5	9.034	5	15.28	3	10.17	9
7.8	8	32.6	8	9.33	8	16.42	10	9.36	10
10.3	10	34	7	9.11	7	16.86	11	8.67	11

اعداد کوچکتر در رتبه‌بندی‌ها و میانگین رتبه شاخص‌ها نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ است.

Numbers of lower in ranking, mean of rank indices indicate advantage genotype

جدول ۷- برخی پارامترهای هواشناسی در طی دو سال آزمایش در منطقه مشهد

Table 7- Some meteorological parameters during two years of experiment in Mashhad

ماه	رطوبت نسبی (%)		بارندگی (mm)		تبخیر (mm)		میانگین درجه حرارت (C°)	
Month	Relative humidity		Precipitation		Evaporation		Mean temperature	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
مهر October	47	45	16.7	13.8	156.5	148	18.1	18.6
آبان November	65	61	30.6	17.6	39	82.2	8.7	11.2
آذر December	73	64	31.8	16	—	—	5.5	6
دی January	67	56	20.9	12.7	—	—	6.5	7.3
بهمن February	70	62	38.7	13.7	—	—	7.5	5.2
اسفند March	73	65	41.6	58.4	—	—	5.7	12.1
فروردین April	58	66	21.6	94.6	181.4	65.4	14.9	13.6
اردیبهشت May	43	55	23.6	41.3	237.6	179	21.4	21.2
خرداد June	23	38	0.3	6.6	364.1	300.4	26.9	25.6
تیر July	22	28	0	0	444.2	358.1	29.7	28.1
میانگین	54	54	225	274	142.2	113	14.4	14.8

نتیجه‌گیری

به عملکرد دانه مناسب این ژنوتیپ در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان آن را به‌عنوان ژنوتیپ متحمل در شرایط تنش خشکی دوره زایشی مطرح کرد تا در صورت تأیید سایر صفات زراعی به‌عنوان یک لاین امیدبخش متحمل به تنش خشکی دوره زایشی در نظر گرفته شود.

نتایج این تحقیق نشان داد به‌دلیل تنش خشکی آخر فصل، عملکرد دانه کاهش یافت. شاخص‌های GMP, MSTI, HM, STI در MP در هردو شرایط بدون تنش و تنش با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد نشان دادند و از طرفی ژنوتیپ ۸ در تمام شاخص‌های مذکور رتبه برتر را به‌خود اختصاص داد و با توجه

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌های ارزیابی تحمل و حساسیت به تنش

Table 8- Correlation coefficients between grain yield and tolerance evaluation and stress susceptibility indices

	YP	YS	Tol	MP	GMP	STI	SSI	YI	YSI	HM	MSTIK1	MSTIK2	DI	Re	ATI	SSPI	SNPI
YS	.586																
Tol	.697*	-.172															
MP	.924**	.852**	.37														
GMP	.884**	.897**	.281	.996**													
STI	.883**	.897**	.279	.995**	.999**												
SSI	.612*	.226	.944**	.289	.204	.202											
YI	.598	1**	-.169	.853**	.898**	.899**	-.224										
YSI	-.405	.502	-.973**	-.25	.69	.70	-.9	.5									
HM	.841**	.931**	.199	.983**	.996**	.994**	.122	.932**	.153								
MSTIK1	.969**	.763**	.504	.987**	.969**	.969**	.417	.765**	-.173	.944**							
MSTIK2	.750**	.973**	.50	.945**	.971**	.972**	-.33	.974**	.296	.916**	.886**						
DI	.135	.882**	-.616*	.504	.583	.583	.635*	.88**	.850**	.649*	.369	-.754**					
Re	.446	-.462	.952**	.71	-.23	-.24	.932**	.459	.997**	-.108	.217	-.256	-.825**				
ATI	.878**	.127	.955**	.628*	.552	.551	.889**	.130	.792**	.478	.736**	.342	-.355	.819**			
SSPI	.697*	-.172	1**	.370	.281	.279	.944**	-.169	-.937**	.198	.503	.5	-.616*	.952**	.955**		
SNPI	.332	.549	-.82	.474	.497	.507	-.188	.549	.264	.508	.441	.55	.483	-.266	.805	-.083	

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

*, ** significant at level 5 and 1 percent respectively

References

1. Afiuni, D., and Marjovvi, A. R. 2009. Assessment of different bread wheat cultivars responses to irrigation water salinity. Journal of Crop Cultivation Improvement 11 (2): 1-9. (in Persian).
2. Al-Ajlouni, Z. I.; Al-Abdallat, A.; Al-Ghzawi, A.; Ayad, J.; Abu Elenein, J.; Al Quraan, N.; and Baenziger, P. S. 2016. Impact of pre-anthesis water deficit on yield and yield components in barley (*Hordeum vulgare* L.) plants grown under controlled conditions. Agronomy Journal 6: 33-44.
3. Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.
4. Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. The Journal of Agricultural Science 8: 79-89.
5. Dastfal, M., Barati, V., Emam, Y., Haghighatnia, H., and Ramazanpour, M. 2011. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under terminal drought stress conditions in Darab region. Seed and Plant Production Journal 27 (2):195-217. (in Persian).
6. Dixit, P.; Telleria, R.; Al Khatib, A. N.; and Allouzi, S. F. 2018. Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan Science of the Total Environment 610: 219-233.
7. Ehdaie, B., Alloush, G. A., and Waines, J. G. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. Field Crop Research 106: 34-43.
8. Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae, Budapest. 50: 411-419.
9. Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., and Safavi, S. M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2: 143-158.

10. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo C.G. (ed), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Public Tainan Taiwan. 257-270.
11. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain responses, Australian Journal of Agriculture Research 29: 897-912.
12. Gautam, A.; Sai Prasad, S. V.; Jajoo, A.; Ambati, D. 2015. Canopy temperature as a selection parameter for grain yield and its components in durum wheat under terminal heat stress in late sown conditions. Agricultural Research 4: 238-244.
13. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.
14. Khokhar, M. L., Teixeira da Silva, J. A., and Spiertz, H. 2012. Evaluation of barley genotypes for yielding ability and drought tolerance under irrigated and water-stressed conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Research 12 (3): 287-292.
15. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agri. Bor-occid Sinic. 7: 85-87.
16. Lucas, H. Wheat Initiative: An International Vision for Wheat Improvement. 2013. Available online: www.wheatinitiative.org. (accessed on 31 March 2014).
17. Moayedi, A. A., Boyce, A. N., and Barakbah, S. S. 2010. The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and yield component under different water deficit conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4 (1): 106-113.
18. Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert 12: 165-178.
19. Naderi, A., Akbari Moghaddam, H. and Mahmoodi, K. 2013. Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in south-warm regions of Iran. Seed and Plant Improvement Journal 29 (3): 601- 616. (in Persian).
20. Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.
21. Saeidi, M., Abdoli, M., Shafiei-Abnavi, M., Mohammadi, M., and Eskandari-Ghaleh, Z. 2016. Evaluation of genetic diversity of bread and durum wheat genotypes based on agronomy traits and some morphological traits in non-stress and terminal drought stress conditions. Cereal Research 5 (4): 353-369.
22. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Spehri, R., Najafian, G., and Shabani, A. 2010. The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink- source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 12 (4): 392-408. (in Persian).
23. Sanjari Pireivatlou, A. G., Dehdar Masjedlou, B., and Aliyev, R. T. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research 5 (20): 2829-2836.
24. Tadesse, W.; Solh, M.; Braun, H. J.; Oweis, T.; Baum, M. 2016 Approaches and Strategies for Sustainable Wheat Production: Tools and Guidelines; ICARDA: Beirut, Lebanon, ISBN 92-9127-490-9.
25. Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. Nature 9: 444-457.
26. Yarnia, M., Arabifard, N., Rahmizadeh Khoei, and Zandi, P. 2011. Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivar. African Journal of Biotechnology 10: 10914-10922.
27. Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. R. and Mohammadi, R. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 29 (1): 1-12. (in Persian).



Assessment of Tolerance to Drought Stress at Reproductive Phase in Some Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) Using Drought Tolerance and Susceptibility Indices

V. Bahraini Vijuyeh¹, M. R. Dadashi^{2*}, S. M. Nazeri³

Received: 25-12-2017

Accepted: 03-11-2018

Introduction: Wheat is important plant in the economy of the world. Between wheat cultivars, bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is the best cultivar for nutrition. Drought stress led to decrease production, therefore, it causes problems for nutrition and agriculture. Iran is located in dry belt of the earth and its annual rain average is 250 mm. In dry land, grain filling phase is faced with a warm season when the air temperature is high and soil water storage is reduced. For screen best drought tolerant genotypes must use from drought tolerance and susceptibility indices. The purpose of this research was to identify and determine drought tolerant and high yield lines for introduction in drought stress conditions during reproductive phase and to determine the indices with a desirable efficiency for evaluating reaction of genotypes to stress conditions.

Materials and Methods: An experiment based on randomized complete block design with three replications was conducted Torogh Mashhad Agricultural Research Stations, Iran, during 2014-2016 growing seasons. In this research eight genotypes of winter wheat with three control cultivars of Mihaan, Orum, zare were compared under two conditions of full irrigation and water stress during reproductive phase. Statistical analysis was performed by using SAS and SPSS software. After harvesting, yield and indices drought tolerance indices including SSI (Stress Susceptibility Index), STI (Stress Tolerance Index), GMP (Geometric Mean Productivity), HARM (Harmonic Index), MP (Mean Productivity), YSI (Yield Stability Index), YI (Yield Index), DI (Drought Index), MSTI (Modified Stress Tolerance Index), ATI (Abiotic Tolerance Index), SSPI (Stress Susceptibility Percentage Index), RE% (Reduction Percentage), SNPI (Stress non-Stress Production Index), TOL (Tolerance).

Results and Discussion: Results showed that the effect of year, genotype and irrigation and interaction effect between year and genotype were significant on all of studied traits. Drought stress decreased yield of genotypes about 32% and 30% in the first and second year, respectively. Other investigation showed that drought stress at the reproductive phase led to reduce current photosynthesis and high respiration. According to Fernandez, indices that have a significant correlation with grain yield in both stress and non-stress conditions are superior indices because they are able to distinguish high-yield genotypes in both conditions. In our research there was a significant and positive correlation between GMP, MSTI, HM, STI, MP with grain yield in both non-stress and stress conditions. In drought stress conditions genotype 8 and 9 ranked had the highest yield (5176 and 5079 kg ha⁻¹), and were selected as the most tolerant genotype.

Conclusions: This research showed that drought stress at the reproductive phase reduced grain yield. GMP, MSTI, HM, STI and MP showed significant and positive correlation with grain yield in both non-stress and stress conditions. Genotype 8 had the highest rank in all of the mentioned indices, it could be considered as tolerant genotype to the drought stress at the reproductive phase due to the proper grain yield in both stress and non-stress conditions.

Key words: Lake moisture, Productivity, Sustainability, Yield index

1- Department of Agriculture, Unit Gorgan, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

2- Department of Agriculture, Unit Gorgan, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

3- Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mdadashi730@yahoo.com)



اثر کاربرد تلفیقی ریزو باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا در کشت مخلوط بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.) بر خصوصیات رشدی و عملکرد دانه

خدیدجه عزیزاده^۱، اسماعیل رضائی چپانه^{۲*}، رضا امیرنیا^۳، محسن برین^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر کودهای زیستی بر برخی ویژگی‌های زراعی بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.) در کشت مخلوط، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ به اجرا درآمد. عامل اول شامل الگوی کشت در پنج سطح شامل کشت خالص بزرک، کشت خالص باقلا، کشت مخلوط یک ردیف بزرک + یک ردیف باقلا، دو ردیف بزرک + دو ردیف باقلا و سه ردیف بزرک + سه ردیف باقلا و عامل دوم شامل عدم مصرف و مصرف کود زیستی (ترکیب قارچ میکوریزا + باکتری‌های تأمین‌کننده نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد) بود. صفات مورد مطالعه برای بزرک شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن و برای باقلا شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، طول نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بودند. نتایج نشان داد که الگوی کشت بر کلیه صفات مورد بررسی باقلا و بزرک اثر معنی‌دار داشت. حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا به ترتیب از کشت خالص (به ترتیب با ۴/۲۸۰ و ۱۳/۳۰۰ تن در هکتار) و کمترین مقادیر آنها از کشت مخلوط با نسبت یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا خالص (به ترتیب با ۲/۵۹۰ و ۱۰/۲۴۰ تن در هکتار) به دست آمد. حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بزرک از کشت خالص بزرک (به ترتیب با ۲/۲۳۰ و ۷/۱۵۳ تن در هکتار) و کمترین میزان عملکرد از کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا (به ترتیب با ۱/۰۴۰ و ۴/۹۹۲ تن در هکتار) حاصل شد. درصد روغن بزرک در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. همچنین، بالاترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک هر دو گونه در شرایط کاربرد کود زیستی و کمترین مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از عدم مصرف کاربرد کود زیستی به دست آمد. بالاترین نسبت برابری زمین نیز در شرایط کاربرد کود زیستی در کشت مخلوط دو ردیف بزرک + دو ردیف باقلا برابر با ۱/۵۳ به دست آمد که معادل ۵۳ درصد افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود و این نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، الگوی کشت، باکتری‌های حل‌کننده فسفات، روغن، نسبت برابری زمین

مقدمه

مقدار روغن موجود در دانه بزرک بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است، ولی این مقدار در کتان لیفی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد می‌باشد. طول دوره رشد بزرک به طور متوسط ۹۰ تا ۱۵۰ روز است (Moradi Telavat and Ataollah Siadat, 2012). میزان تولید بزرک در ایران حدود ۷۷ تن که در سطحی معادل ۲۱۳ هکتار به دست می‌آید. عملکرد این محصول در کشور معادل ۳۶۲ کیلوگرم بذر در هکتار است (FAO, 2016).

باقلا (*Vicia faba* L.) یکی از حبوبات عمده در بسیاری از کشورهای جهان به شمار می‌رود که به صورت دو منظوره در تغذیه انسان و دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. وجود ۲۳/۴ درصد پروتئین در دانه باقلا باعث شده است تا امروزه به عنوان یکی از حبوبات عمده در خیلی از مناطق جهان مورد توجه قرار گیرد. میزان تولید باقلا در ایران حدود ۲۴ هزار تن که در سطحی معادل ۱۹ هزار هکتار به دست می‌آید. عملکرد این محصول در کشور معادل ۱۲۶۳ کیلوگرم در

بزرک گیاهی یک ساله (*Linum usitatissimum* L.) علفی، از تیره کتان (Linaceae) است. بزرک و کتان گیاهانی با دو تیپ رشدی متفاوت از این گونه زراعی می‌باشند. بزرک به ژنوتیپ‌هایی از گیاه اطلاق می‌شود که قد آنها کوتاه و دارای انشعابات زیاد بوده و در نتیجه عملکرد دانه آنها زیاد می‌باشد و به منظور تولید روغن کشت می‌شود.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(*)- نویسنده مسئول: (Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.71955

هکتار است (FAO, 2016). باکتری ریزوبیوم لگومینوزاریوم (*Rhizobium leguminosarum*) روی ریشه باقلا فعالیت می‌کند که سالانه قادر است تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن تثبیت کند (Jensen et al, 2010).

امروزه مصرف نهاده‌های خارجی از جمله کودها و سموم شیمیایی که یکی از دستاوردهای کشاورزی رایج است، در حال افزایش بوده که مصرف بی‌رویه این نهاده‌ها منجر به کاهش تنوع زیستی، به مخاطره افتادن سلامت بوم‌نظام‌ها و مشکلات زیست‌محیطی متعددی شده است و بالاخره اثر سوء آنها بر سلامت انسان نیز غیرقابل انکار می‌باشد. بنابراین بهره‌گیری از اصول اکولوژیکی مانند کشت مخلوط و کودهای زیستی در تولید گیاهان زراعی امری ضروری به نظر می‌رسد (Gliessman, 1998). کاربرد تلفیقی کودها به نسبت استفاده منفرد آنها علاوه بر تأثیرات مثبتی که بر کاهش آلودگی محیط‌زیست دارند، می‌توانند از لحاظ کاهش هزینه‌های تولید نیز موثر واقع شوند، ضمن اینکه در طولانی مدت می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند (Seyed Sharifi and Namvar, 2015).

کودهای زیستی متشکل از باکتری‌ها و قارچ‌های مفیدی هستند که هریک به‌منظور خاصی مانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آنها تولید می‌شوند. این باکتری‌ها معمولاً در اطراف ریشه (به صورت آزادزی یا همزیست با ریشه گیاه) مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌دهند. کودهای زیستی به‌واسطه تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکین و جبریلین باعث افزایش رشد ریشه‌های گیاه شده و سطح جذب ریشه را برای جذب عناصر غذایی و آب، افزایش می‌دهد و با افزایش جذب عناصر غذایی مقاومت گیاه به انواع تنش‌های محیطی و آفات و بیماری‌ها بیشتر شده و در نتیجه عملکرد گیاهان نیز افزایش می‌یابد (Seyed Sharifi and Namvar, 2015).

امروزه به‌کارگیری ریز موجودات مفید خاک به‌عنوان کودهای زیستی به‌عنوان طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه حل برای تأمین عناصر غذایی به‌صورت کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان و حفظ سلامت محیط‌زیست می‌باشد (Khaki Najafabadi et al., 2017). استفاده از کودهای زیستی در سیستم‌های کشت مخلوط احتمال موفقیت سیستم‌های آنها را افزایش می‌دهد. چنین به نظر می‌رسد که با بهره‌گیری از کودهای زیستی در کشت مخلوط ضمن افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌توان افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان را نیز در این سیستم انتظار داشت (Rezaei Chiyaneh et al., 2014).

تلقیح با باکتری محرک رشد و قارچ‌های میکوریزا باعث بهبود رشد گیاه و افزایش احتمالی ترشحات ریشه گیاه می‌گردد و افزایش این ترشحات به نوبه خود موجب افزایش شاخص‌های زیستی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک و در نهایت ارتقاء وضعیت تغذیه گیاه می‌شود.

در کشت مخلوط یولاف (*Avena Sativa* L.) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) گزارش شده است که جمعیت میکروبی خاک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل افزایش تنوع گونه‌های زراعی، افزایش مواد آلی و فعالیت ریزموجودات خاک و بهبود تهویه خاک افزایش می‌یابد (Jannoura et al., 2014). محققان دیگری در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های کشت مخلوط به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات در کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروبی خاک نسبت به سیستم‌های تک‌کشتی می‌گردد (Tang et al., 2014). این محققان دلیل بالا بودن زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط را تنوع بیشتر میکروارگانیسم‌ها و پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری‌خواری در بین میکروارگانیسم‌های موجود در خاک بیان نمودند.

کشت مخلوط ضمن افزایش تنوع بوم‌شناختی و اقتصادی، سبب افزایش عملکرد در واحد سطح، استفاده کارآمدتر از عوامل محیطی از قبیل زمین، نور، آب و عناصر غذایی، کاهش آفات و بیماری‌ها، افزایش ثبات نظام و تغذیه مطلوب‌تر انسان و دام و برتری اقتصادی، افزایش کمیت و کیفیت محصول می‌شود (Gharineh and Enayat, 2009). در چنین سیستمی اغلب نیتروژن تثبیت‌شده کشت مخلوط توسط لگوها به گیاهان همراه انتقال و این امر در عین کم نهاده بودن سیستم منجر به پایداری نیز می‌گردد (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). رضائی چپانه (Rezaei- Chiyaneh, 2016) در کشت مخلوط بزرک و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گزارش کرد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک لوبیا چیتی از تیمار کشت خالص به‌دست آمد، اما بیشترین میزان پروتئین دانه لوبیا چیتی در کشت مخلوط ردیفی مشاهده شد. همچنین، بیشترین عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه بزرک از کشت خالص حاصل شد، اما درصد روغن بزرک در تمام تیمارهای مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. دباغ محمدی نسب و همکاران (Dabbagh Mohammadi Nassab et al., 2015) در ارزیابی کشت مخلوط ذرت و سه رقم لوبیا با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی گزارش کردند که بیشترین عملکرد اقتصادی لوبیا و ذرت (*Zea Mays* L.) از کشت خالص به‌دست آمد و در تمام تیمارهای مخلوط نسبت برابری زمین (Land equivalent ratio) بالاتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است. در کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه زیره سبز در نتیجه کاربرد تیمار تلفیقی/ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و در گیاه شنبلیله از گیاهان تحت تیمار سودوموناس به‌دست آمد (Rezvani Moghadam and Moradi, 2012).

اکثر مطالعات انجام شده در مورد کودهای زیستی بر مبنای کشت

خالص بوده است، لذا شناخت تأثیر تلفیقی کودهای زیستی بر عملکرد کمی و کیفی این گیاهان در کشت مخلوط، نیازمند مطالعه و تحقیق می‌باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، بررسی تأثیر تلفیقی کودهای زیستی (دارای باکتری‌های تأمین‌کننده نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد + قارچ میکوریزا)، بر عملکرد کمی و کیفی بزرک و باقلا در راستای اهداف کشاورزی پایدار در شرایط آب و هوایی ارومیه از اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی $EC \times 10^3$ (dS m ⁻¹)	نیتروژن کل %T. N	درصد موادالی %O.C	فسفر قابل جذب P available (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب K available (mg kg ⁻¹)
رس سیلنی Silty clay	7.79	0.98	1.10	1.25	12.5	260.20

با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) بر اساس دستورالعمل توصیه شده شرکت زیست فناور سبز تلقیح شدند. به این صورت که محتوی بسته با آب مخلوط و روی بذرهای اسپری شدند تا یک پوشش کاملاً یکنواخت روی سطح آن‌ها تشکیل شود و سپس بذرهای در سایه خشک شدند و عملیات کاشت صورت گرفت. همچنین، در تیمار کود زیستی سولفورباور-۱ (حاوی باکتری تیوباسیلوس با تعداد 10^8 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) که به صورت پودر می‌باشد، به میزان هفت کیلوگرم در هکتار استفاده شد. برای اطمینان از اثربخشی آن سه هفته قبل از کاشت به تیمارهای حاوی سولفورباور-۱ مقداری گوگرد جهت فعالیت باکتری‌های موجود در این کودها اضافه و با خاک مخلوط گردید. همچنین مصرف قارچ‌های میکوریزا با نام تجاری مایکورت حاوی سه نوع قارچ از جنس *Glomus mosseae* + *Glomus intraradices* + *Glomus etunicatum* به صورت بذر مال اعمال شد. قارچ‌های مورد استفاده در این آزمایش که از دشت تبریز جداسازی شده بودند به صورت پودری با مواد معدنی و ۱۰ درصد ماده آلی فرموله شده است. فرمولاسیون حاصله فاقد عناصر معدنی می‌باشد و حاوی ۵۰۰ اندام فعال قارچ در هر گرم می‌باشد.

عملیات وجین علف‌های هرز به طور مرتب به صورت دستی و در هنگام لزوم انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت آبیاری و در نوبت‌های بعدی، آبیاری بر حسب شرایط اقلیمی و نیاز گیاه به طور متوسط هر ۷-۱۰ روز یک‌بار صورت گرفت. به منظور اجرای آزمایش در شرایط کم‌نهاد و بیشتر نمود پیدا کردن تأثیر کودهای زیستی در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ‌گونه کودشیمیایی

تیمارهای آزمایش شامل پنج الگوی کاشت شامل کشت مخلوط با نسبت یک ردیف باقلا+ یک ردیف بزرک، دو ردیف باقلا+ دو ردیف بزرک، سه ردیف باقلا+ سه ردیف بزرک و کشت خالص دو گونه و دو سطح کود: مصرف کود زیستی (ترکیب قارچ میکوریزا+ باکتری‌های تأمین‌کننده نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد) و عدم مصرف کود بودند. بذر مورد استفاده باقلا رقم برکت بود که از سازمان تحقیقات و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و بذر بزرک از توده بومی شاهین دژ بود که از سازمان تحقیقات و کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه، تهیه شد.

فاصله بین ردیف‌های هر دو گونه ۴۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها برای باقلا ۱۲/۵ سانتی‌متر و بزرک سه سانتی‌متر به طول ۳ متر برای دو گونه در نظر گرفته شد (Rezaei- Chiyaneh, 2016). در نتیجه تراکم نهایی در کشت خالص برای باقلا ۲۰ بوته و بزرک ۸۳ بوته در متر مربع بود. کاشت باقلا و بزرک به‌طور همزمان در نیمه دوم فروردین ماه انجام گرفت. بذر هر دو گیاه یک ساعت قبل از کشت در محیط سایه با کود زیستی فسفات باور-۲ (حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *باسیلوس لنتوس* (*Bacillus lentus*) و *سودوموناس پوتیدا* (*Pseudomonas putida*) با تعداد 10^9 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک)، از تو بارور ۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* با تعداد 10^9 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) و پتا بارو-۲ (حاوی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم از جنس *سودوموناس* با تعداد 10^8 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) هر سه به صورت پودر

استفاده نشد.

خالص بر اساس شاخص نسبت برابری زمین (بر اساس عملکرد دانه) از معادله ۱ استفاده گردید (Ghale Noyee et al., 2017):

$$LER = \frac{Y_1}{F_1} + \frac{Y_2}{S_2} \quad (۱)$$

در این معادله، Y_1 و Y_2 : به ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در کشت خالص و F_1 و S_2 : نیز عملکرد گونه اول و دوم در کشت مخلوط است.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده، از نرم‌افزار SAS 9.4 و برای مقایسه آماری میانگین‌های به دست آمده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد بزرک

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثر الگوی کاشت بر کلیه صفات مورد بررسی ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد روغن و اثر کود زیستی بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود، اما اثر متقابل بین الگوی کاشت و نوع کود بر هیچ‌یک از صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲).

برای استخراج میزان روغن بزرک، با استفاده از دستگاه سوکسله ابتدا نمونه‌ها آسیاب و پودر شدند و سپس پنج گرم از نمونه‌های آسیاب شده در سوکسله در ۳۰۰ سی‌سی از محلول ان-هگزان قرار داده شدند. پس از شش ساعت حلال مورد نظر از روغن توسط روتاری جدا گردید (Rezaei- Chiyaneh et al., 2015).

در پایان فصل رشد، برای تعیین اجزای عملکرد، ابتدا از هر کرت به‌طور تصادفی تعداد ۱۰ بوته انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه برای باقلا و ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه برای بزرک اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه عملکرد دانه و بیولوژیک، برداشت بوته‌ها با رعایت شرایط حذف اثر حاشیه از هر طرف در کرت‌ها از مساحت ۳/۶۰ متر مربع صورت گرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیک، پس از جدا نمودن بذور دو گونه، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا ثابت ماندن وزن خشک درون آن قرار گرفت و سپس همراه با بذور وزن شدند. برداشت بزرک و باقلا به ترتیب در ۳۰ تیر ماه و ۲۵ مرداد ماه زمانی که رنگ کپسول‌های بزرک و نیام‌های باقلا به زردی گرایش پیدا کرده بودند، صورت گرفت.

برای ارزیابی کشت مخلوط باقلا و بزرک در مقایسه با کشت

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کاربرد کود زیستی و کشت مخلوط بر عملکرد و اجزاء عملکرد بزرک
Table 2- Analysis of variance of the effect of biofertilizer application and intercropping on yield and yield components of linseed

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	تعداد شاخه- های جانبی No. of lateral branch	تعداد کپسول در بوته No. of capsule	تعداد دانه در کپسول No. of seed per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil percentage
تکرار Replication	2	15.44 ^{n.s}	1.78 [*]	251.74 ^{**}	0.07 ^{n.s}	0.18 ^{n.s}	3467.62 ^{n.s}	252.702 ^{n.s}	2.31 ^{n.s}
الگوی کشت Cropping	3	196.19 ^{**}	8.24 ^{**}	956.08 ^{**}	4.91 ^{**}	0.14 [*]	59242.70 ^{**}	17601.91 ^{**}	90.71 ^{**}
کود زیستی Biofertilizer	1	610.54 ^{**}	19.89 ^{**}	917.60 ^{**}	7.605 ^{**}	6.93 ^{**}	16801.04 ^{**}	30271.56 ^{**}	109.01 ^{**}
الگوی کشت × کود C × B	3	5.76 ^{n.s}	0.63 ^{n.s}	4.65 ^{n.s}	0.052 ^{n.s}	0.12 ^{n.s}	562.15 ^{n.s}	974.98 ^{n.s}	10.19 ^{n.s}
خطا Error	14	11.71	0.32	15.43	0.140	0.14	1369.62	379.48	5.05
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.3	12.3	6.8	5.8	8.7	6.5	13.2	5.9

ns, *, **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.
ns, * and **: Non significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ارتفاع بوته

ردیف باقلا و سه ردیف بزرک به‌دست آمد، ولی بین کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا با کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

مقایسه میانگین ارتفاع بوته در بین الگوهای مختلف کشت نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۵۴/۲۷ سانتی‌متر) از کشت خالص بزرک و کمترین مقدار آن (۴۱/۴۸ سانتی‌متر) از کشت مخلوط با نسبت سه

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد بزرک در الگوهای مختلف کشت مخلوط با باقلا

Table 3- Means comparison of yield and yield components of linseed in intercropping different patterns with faba bean

الگوی کشت Cropping patterns	ارتفاع Height (cm)	تعداد شاخه‌های جانبی No. of lateral branch	تعداد کیسول در بوته No. of capsule per plant	تعداد دانه در کیسول No. of seed per capsule	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (t.ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage (%)
کشت خالص Monocropping	54.27 a	6.26 a	71.85 a	7.62 a	4.83 a	7.153 a	2.230 a	34.00 b
کشت مخلوط ۱:۱ Intercropping 1:1	43.40 c	4.67 bc	53.92 c	5.63 c	4.18 b	5.117 bc	1.130 b	41.00 a
کشت مخلوط ۲:۲ Intercropping 2:2	48.37 b	4.12 b	62.85 b	6.54 b	4.40 b	5.567 b	1.540 b	42.01 a
کشت مخلوط ۳:۳ Intercropping 3:3	41.48 c	3.53 c	42.30 d	5.80 c	4.25 b	4.992 c	1.040 c	35.01 b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند
In each column, means followed by the same letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

نسبت به شاهد باعث افزایش ۱۸/۴۱ درصدی ارتفاع بوته گردید. در تحقیق حاضر کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا به همراه کاربرد باکترهای تأمین‌کننده عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن تأثیر مثبتی بر رشد گیاه داشته است و منجر به افزایش ارتفاع گیاه گردید. همچنین، این امر می‌تواند مربوط به تولید و ترشح ترکیبات تحریک‌کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد از جمله اکسین باشد. بیژنی و همکاران (Bijani et al., 2015) در مطالعه‌ای، اظهار داشتند که کاربرد کود زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن شامل *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) ارتفاع بوته کنگد را به‌طور قابل توجهی افزایش داد.

تعداد شاخه‌های جانبی

بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی در کشت خالص بزرک (۶/۲۶ عدد) و کمترین آن در کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا (۳/۵۳ عدد) حاصل شد (جدول ۳). در کشت خالص، به‌دلیل عدم رقابت برون‌گونه‌ای و نیز وجود فضای بیشتر برای توسعه انشعابات بوته، گیاهان با استفاده از منابع موجود مقدار بیشتری شاخه فرعی

افزایش ارتفاع بارزترین تغییر ناشی از رشد در اغلب گیاهان است که می‌تواند از نظر رقابت با سایر گیاهان در یک جامعه گیاهی مزیت محسوب شود. این خصوصیت کارآمدترین برگ‌ها را در بهترین موقعیت از نظر فرآیند فتوسنتز قرار می‌دهد (Strichland et al., 2015). در کشت مخلوط ارتفاع بوته روی رقابت نوری مؤثر است. از آنجایی که باقلا نسبت به بزرک دارای ارتفاع و زیست‌توده بیشتری است، به‌نظر می‌رسد که بزرک در کشت مخلوط فشار رقابتی بیشتری را متحمل شده و محدودیت تولید مواد فتوسنتزی باعث کاهش رشد رویشی و در نتیجه ارتفاع آن شده است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015). در کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) مشخص شد که ارتفاع گیاهان در کشت مخلوط به دلیل رقابت برون‌گونه‌ای کاهش می‌یابد که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد (Koocheki et al., 2014).

بین تیمارهای کودی مورد استفاده از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین ارتفاع بوته (۵۱/۲۷ سانتی‌متر) در نتیجه مصرف کودهای زیستی و کمترین ارتفاع بوته (۴۱/۸۳ سانتی‌متر) از عدم مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۴). تیمار کودی

تولید می‌نمایند. طولیل شدن ساقه در محیط‌های سایه‌دار به تأثیر نسبت نور قرمز به قرمز دور مربوط می‌شود و با کاهش این نسبت ارتفاع بوته افزایش می‌یابد و از تعداد شاخه‌های فرعی کاسته می‌شود. این امکان وجود دارد که افزایش ارتفاع بوته و کاهش تشکیل شاخه‌های فرعی تحت تأثیر نسبت پایین نور قرمز به قرمز دور، علامت هشداردهنده‌ای در آستانه رقابت برای نور باشد (Weisanny et al., 2016). امینی فر و همکاران (Aminifar et al., 2017) در کشت مخلوط کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

اظهار داشتند که در آرایش‌های کاشتی که در آنها گیاه از فضای بیشتری برخوردار می‌باشد، گیاه با دریافت نور بیشتر جهت افزایش تعداد شاخه‌های جانبی بیشتر تحریک می‌شود، اما در آرایش کاشت فشرده‌تر به دلیل نبود نور کافی تحریک لازم جهت شاخه‌دهی صورت نمی‌گیرد و در نتیجه تعداد شاخه‌های جانبی آن کاهش پیدا می‌کند. محققان دیگری در کشت مخلوط آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) و شنبلیله گزارش کردند که تعداد شاخه‌های جانبی هر دو گیاه در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود (Mardani et al., 2015).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد بزرگ تحت تأثیر کاربرد کود زیستی

Table 4- Means comparison of yield and yield components of linseed affected by biofertilizer application

تیمار کودی Fertilizer treatment	ارتفاع بوته Height (cm)	تعداد شاخه‌های جانبی No. of lateral branch	تعداد کپسول در بوته No. of per capsule plant	تعداد دانه در کپسول No. of seed per capsule	وزن هزار دانه seed-1000 weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (t.ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage (%)
عدم مصرف کود No use Biofertilizer	41.83 b	3.72 b	51.54 b	5.83 b	3.89 b	5.440 b	1.130 b	36.01 b
کود زیستی Fertilizer	51.92 a	5.55 a	63.91 a	6.96 a	4.96 a	5.970 a	1.840 a	40.04 a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column means, followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

تعداد شاخه‌های فرعی در نتیجه کاربرد کود زیستی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی (۵/۵۵ عدد) مربوط به تیمار کود زیستی و کمترین آن (۳/۷۲ عدد) نیز مربوط به عدم استفاده از کاربرد کود زیستی بود (جدول ۴). تحقیقات نشان داده است که استفاده از ریزو باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش جوانه‌زنی، جذب عناصر، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، گره‌بندی، زیست‌توده کل و عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد می‌شود (Rudresh et al., 2005). در تحقیقی دیگر مشخص شد که کاربرد کود زیستی نیتروکسین به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی کنجد شد (Bijani et al., 2015).

تعداد کپسول در بوته

بیشترین تعداد کپسول در بوته (۷۱/۵۸ عدد) از کشت خالص بزرگ و کمترین تعداد کپسول در بوته از نسبت سه ردیف بزرگ و سه ردیف باقلا (۴۲/۳۰ عدد) به‌دست آمد؛ به‌طوری که تعداد کپسول در بوته به میزان ۴۰/۹۰ درصد نسبت به کشت خالص کاهش یافت. همچنین، بین کشت مخلوط یک ردیف بزرگ و یک ردیف باقلا با کشت مخلوط دو ردیف بزرگ و دو ردیف باقلا اختلاف معنی‌داری نیز

از نظر تعداد کپسول وجود داشت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در تحقیق حاضر بزرگ به علت رقابت با باقلا با محدودیت عناصر غذایی مواجه شده و قادر به افزایش تعداد کپسول نبوده است. تعداد کپسول در گیاه یکی از اجزای مهم عملکرد می‌باشد، چرا که دربرگیرنده تعداد دانه نیز می‌باشد. بنابراین، تعداد کپسول بیشتر در کشت خالص و به تبع آن افزایش تعداد دانه در بوته بزرگ می‌تواند منجر به افزایش عملکرد این گیاه در کشت خالص نسبت به مخلوط شود. علی و همکاران (Ali et al., 2000) گزارش کردند که کشت مخلوط کلزا با گندم موجب کاهش تعداد خورجین کلزا در بوته در کشت مخلوط شد. قلعه‌نویی و همکاران (Ghale Noyee et al., 2017) در کشت مخلوط کنجد و لوبیا گزارش کردند که تعداد کپسول کنجد (*Sesamum indicum* L.) در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود، آنها علت این افزایش را عدم رقابت درون گونه‌ای در کشت خالص بیان کردند.

تیمار کود زیستی بیشترین تعداد کپسول (۶۳/۹۱ عدد) و عدم مصرف کود زیستی کمترین (۵۱/۵۴ عدد) تعداد کپسول در بوته را دارا بودند (جدول ۴). از آنجایی که عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر و پتاسیم به همراه عناصر کم مصرف در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کنند. دسترسی بهتر و بیشتر

گوگرد به همراه قارچ میکوریزا در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، فراهمی عناصر اصلی غذایی، تولید هورمون‌های محرک و تنظیم‌کننده‌ی رشد و نهایتاً بهبود عملکرد و اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در کپسول مربوط باشد (Jahan and Nasiri, 2012). بنابراین حضور قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌ها در کنار هم، حالت مکملی در افزایش آزادسازی عناصر و سپس جذب و انتقال آن به گیاه نقش ایفا کرده‌اند (Seyed Sharifi and Namvar, 2015).

وزن هزار دانه

بیشترین وزن هزاردانه در کشت خالص بزرک با میانگین ۴/۸۳ گرم و کمترین آن در کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا با میانگین ۴/۱۸ گرم مشاهده شد. هرچند اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه بین الگوهای مختلف کشت مخلوط وجود نداشت (جدول ۳). وزن دانه تابع توانایی گیاه در تأمین مواد پرورده برای مخزن‌ها و شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه می‌باشد. دلیل کاهش وزن هزار دانه در کشت‌های مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل وجود رقابت برون گونه‌ای و تولید آسیمیلاسیون کمتر بوده است که با نتایج پورامیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) در کشت مخلوط نخود (*Cicer arietinum* L.) و کنجد و توسلی و همکاران (Tavassoli et al., 2010) در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و لوبیا مطابقت دارد.

وزن هزار دانه در تیمار مصرف کود زیستی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. بیشترین وزن هزار دانه (۴/۹۶ گرم) به تیمار کود زیستی و کمترین آن (۳/۸۹ گرم) به عدم کاربرد کود زیستی مربوط بود (جدول ۴). به‌طوری که؛ تیمار کودی توانست نسبت به شاهد وزن هزار دانه را به میزان ۲۱/۵۷ درصد افزایش دهد. دلیل اصلی این افزایش به نقش باکتری‌ها و قارچ میکوریزا مربوط می‌شود که توانستند از طریق انحلال مواد معدنی و تجزیه مواد آلی خاک و فراهمی عناصر اصلی غذایی در محیط ریشه گیاه، باعث افزایش کارایی جذب عناصر غذایی از خاک گردند (Khaki Najafabadi et al., 2017). باکتری‌ها با قارچ میکوریزا همکاری و رابطه نزدیکی دارند در جذب و فراهمی عناصر می‌تواند نقش اساسی ایفا کند و نقش بیشتری در رشد گیاه نشان دهند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2010) با بررسی اثر کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) اظهار داشتند که بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ترکیبی آزوسپیریلیوم و میکوریزا به‌دست آمد.

عملکرد دانه و بیولوژیک

الگوهای مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیولوژیک

گیاهان به این عناصر، سبب بهبود رشد، افزایش فتوسنتز و تولیدات مواد فتوسنتزی گشته و می‌تواند از این طریق موجب بهبود اجزای عملکرد گردد (Leithy et al., 2006). به‌نظر می‌رسد که یک حالت همزیستی چند جانبه بین بزرک، قارچ میکوریزا و ریزوباکتری‌های محرک رشد از جمله باکتری ریزوبیوم وجود دارد؛ به‌طوری که قارچ میکوریزا با افزایش سطح جذب مواد غذایی از جمله فسفر برای ریشه گیاه و باکتری با چسبیدن به سطح هیف‌های قارچ میکوریزا و در نهایت نفوذ به داخل ریشه گیاه، می‌تواند در تشکیل تعداد گره اثر مثبتی داشته و از آن‌جای که تشکیل گره بر روی ریشه نیاز شدیدی به فسفر دارد، مهیا بودن فسفر و جذب فسفر نامحلول خاک توسط میکوریزا نیاز گیاه تأمین‌شده و فتوسنتز افزایش یافته در نهایت بر عملکرد که تعداد کپسول هم از اجزای مهم عملکرد می‌باشد افزایش می‌دهد (Seyed sharifi and Namvar, 2015).

تعداد دانه در کپسول

الگوهای مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول داشتند؛ به‌طوری که کشت خالص بیشترین تعداد دانه در کپسول (۷/۶۲ عدد) و کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا کمترین تعداد دانه در کپسول (۵/۶۳ عدد) را داشتند. از نظر این صفت کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا با نسبت سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳). تعداد دانه در کپسول، در حقیقت ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هرچه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی بوده و در نهایت افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Rezaei-Chiyaneh and Gholinezhad, 2015). در کشت مخلوط کنجد و لوبیا قرمز (*Phaseolus calcaratus* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) مشخص شد که تعداد دانه در کپسول کنجد و تعداد نیام لوبیا در کشت مخلوط کاهش یافت و دلیل آن را سایه‌اندازی آفتابگردان بر روی دو گیاه و رقابت بر سر آب، نور و عناصر غذایی بیان کردند که موجب کاهش فتوسنتز و کاهش اجزای عملکرد می‌شود (Koocheki et al., 2016).

تیمار کاربرد کود زیستی بیشترین تعداد دانه در غلاف (۶/۹۶ عدد) و عدم مصرف کود کمترین تعداد دانه (۵/۸۳ عدد) در کپسول را دارا بودند (جدول ۴). به‌طوری که تیمار کودی در مقایسه با شاهد تعداد دانه در کپسول را به میزان ۱۶/۲۳ درصد افزایش داد. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی می‌تواند باعث افزایش رشد سبزینه، تعداد گل، تعداد کپسول و در نهایت افزایش تعداد دانه در کپسول شود. علت این برتری به فرآیندهای متابولیکی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، حل‌کننده فسفات، آزادکننده پتاسیم، اکسیدکننده

افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند (Toosi *et al.*, 2011).

برخی محققین معتقدند که میکوریزا باعث افزایش سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ گیاه میزبان می‌شود و دلیل این امر را افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مانند نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سینتتاز در گیاه میزبان می‌دانند (Seyed Sharifi and Namvar, 2015). محققان بر این باورند که میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات به همراه سایر ریزو باکتری‌های محرک رشد، از طریق تولید هورمون‌های گیاهی همانند ایندول استیک اسید سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند، به این ترتیب مراحل اولیه رشد گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و ریشه حجم بیشتری از خاک را اشغال می‌کند و سطح جذب عناصر غذایی بالا می‌رود. همچنین، تلقیح با میکوریزا علاوه بر اینکه باعث افزایش مقادیر سیتوکینین و کلروفیل در گیاهان می‌شود، گیاه میزبان عناصر غذایی و آب بیشتری نیز از خاک جذب می‌نماید و در نهایت رشد گیاه افزایش و به دنبال آن عملکرد گیاهان بهبود می‌یابد (Jahan and Nassiri, 2012; Seyed Sharifi and Khoramdel, 2016).

درصد روغن

درصد روغن در کشت خالص متفاوت از تیمارهای کشت مخلوط به‌دست آمد، به‌طوری که درصد روغن در تمام تیمارهای مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. کمترین میزان روغن در کشت خالص بزرک (۳۴ درصد) و بیشترین میزان آن در کشت مخلوط ۲ ردیف باقلا و ۲ ردیف مخلوط ۱ ردیف بزرک و ۱ ردیف باقلا اختلاف معنی‌داری از نظر درصد روغن وجود نداشت (جدول ۳). در این تحقیق کشت مخلوط باعث افزایش ۱۹/۱۷ درصدی محتوی روغن نسبت به کشت خالص شده است. از آنجا که هر عاملی که باعث افزایش فتوسنتز گیاهی گردد، می‌تواند باعث بالا رفتن درصد روغن نیز شود، لذا چنین به‌نظر می‌رسد که دلیل افزایش درصد روغن در کشت مخلوط به خاطر توانایی گیاه در استفاده بهینه از منابع محیطی بوده که باعث بهبود رشد و فتوسنتز و به تبع آن افزایش میزان روغن در مقایسه با کشت خالص شده است. اشغال نیچ‌های موجود به صورت مطلوب، توزیع بهتر ریشه گیاهان در پروفیل خاک، افزایش توان جذب عناصر غذایی توسط گیاه، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و کاهش میزان تلفات عناصر غذایی در کشت مخلوط موجب بهبود کارایی جذب عناصر غذایی می‌گردد (Koocheki *et al.*, 2017) که توانسته فتوسنتز گیاه را بهبود داده و محتوی روغن را افزایش دهد. محققان دیگری در کشت مخلوط آفتابگردان و باقلا (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2015) و بزرک و لوبیا چیتی (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2016)

داشتند. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از کشت خالص به‌ترتیب ۲/۲۳۰ تن در هکتار و ۷/۱۵۳ تن در هکتار و کمترین مقادیر عملکرد دانه و بیولوژیک از الگوی کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا به‌ترتیب برابر با ۱/۰۴۰ تن در هکتار و ۴/۹۹۲ تن در هکتار حاصل شد (جدول ۳). هرچند اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه و بیولوژیک بین کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا و کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا وجود نداشت. افزایش رقابت در تیمارهای کشت مخلوط و کاهش دسترسی به منابع مورد نیاز سبب کاهش عملکرد نسبت به کشت خالص می‌شود. بررسی‌های مختلف نشان داده است که در صورت انتخاب آرایش کاشت و تراکم مناسب در کشت مخلوط جذب آب، مواد غذایی و نور به‌دلیل تفاوت در توانایی رقابت بین گیاهان مختلف افزایش می‌یابد که در این حالت تخصیص منابع و توزیع آنها بین گونه‌ها با کارایی بیشتری صورت گرفته و این امر به بهبود رشد و فتوسنتز و به‌تبع آن افزایش عملکرد اقتصادی منجر می‌شود (Franco *et al.*, 2015). به‌نظر می‌رسد که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به‌دلیل کاهش فشار رقابت بین گونه‌ای در کشت مخلوط ردیفی ۲:۲ کارایی و بهره‌برداری از منابع محیطی بهبود یافته و منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی باقلا شده است، اما در کشت مخلوط ردیفی ۳:۳ با افزایش تعداد ردیف‌های کاشت به دلیل کاهش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه، عملکرد دانه و بیولوژیک کاهش پیدا کرد. کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2014) در بررسی کشت مخلوط گندم و کلزا دریافتند که بیشترین مقادیر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کلزا در کشت خالص به‌دست آمد. قلعه نویی و همکاران (Ghale Noyee *et al.*, 2017) در کشت مخلوط کنجد و لوبیا، بالا بودن عملکرد دانه کنجد در کشت خالص را بیشتر از مخلوط گزارش کرده‌اند که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نتایج تیمار کودی نشان داد که کمترین مقادیر عملکرد دانه (۱/۱۳۰ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۵/۴۴۰ تن در هکتار) در شرایط عدم کاربرد کود زیستی و بیشترین میزان عملکرد دانه (۱/۸۴۰ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۵/۹۷۰ تن در هکتار) در تیمار کود زیستی حاصل شد (جدول ۴). به‌طوری که تیمار کودی در مقایسه با شاهد عملکرد دانه را ۳۸/۵۸ درصد افزایش داد. تأمین فسفر نیز یکی از مهمترین عوامل تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا می‌باشد. مصرف فسفر غیر از تأثیر در مراحل توسعه ریشه و شاخه‌زایی، در مراحل زایشی و پر شدن دانه نیز بسیار مؤثر است. محققان دیگری اظهار داشتند که اثر کود نانو اکسید روی در تلقیح توام بذر با باکتری‌های محرک رشدی و ریزوبیوم منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شد چراکه باکتری‌های افزاینده رشد به‌وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آنها، افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های ریشه و

روغن کنجد شد.

درصد روغن آفتابگردان و بزرک را در تمامی الگوهای کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص گزارش کردند.

تیمار کودی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار درصد روغن را افزایش دادند؛ به‌طوری که تیمار کود زیستی بیشترین درصد روغن (۴۰/۴۰ درصد) و عدم مصرف کود کمترین درصد روغن (۳۶/۱۲ درصد) را دارا بودند (جدول ۴). در این مطالعه تیمار کودی در مقایسه با شاهد درصد روغن را تا ۱۶/۲۳ درصد افزایش داد. به‌نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر عناصر غذایی با رفع به‌موقع نیاز گیاه باعث افزایش درصد روغن شده است. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2014) گزارش کردند که استفاده از کودهای آلی همراه با میکوریزا باعث افزایش درصد

خصوصیات رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد باقلا

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر الگوی کاشت بر کلیه صفات مورد بررسی گیاه باقلا شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، طول نیام، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار بود. کود زیستی نیز به‌جز ارتفاع بوته بر سایر صفات مورد بررسی اثر معنی‌دار داشت، اما اثر متقابل بین الگوی کاشت و کود زیستی بر هیچ‌یک از صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کود زیستی و کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا

Table 5- Analysis of variance of the effect of biofertilizer and intercropping on yield and yield components of faba bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	تعداد شاخه‌های جانبی No. of lateral branch	طول نیام Pod length	تعداد نیام در بوته No. of seed per pod	تعداد دانه در نیام No. of seed per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	32.70 ^{n.s}	0.582 ^{**}	0.722 ^{n.s}	1.59 ^{**}	0.150 ^{n.s}	75.54 ^{n.s}	9010.16 [*]	473859.29 ^{n.s}
الگوی کشت Planting pattern	3	332.96 ^{**}	1.49 ^{**}	7.68 ^{**}	6.58 ^{**}	1.42 [*]	8859.72 ^{n.s}	97856.81 ^{**}	2947102.27 ^{**}
کود زیستی Biofertilizer	1	0.80 ^{n.s}	0.570 ^{**}	6.60 [*]	4.25 ^{**}	2.87 ^{**}	34504.16 ^{**}	27270.05 ^{**}	9938214.01 ^{**}
الگوی کشت × کود P × B	3	9.69 ^{n.s}	0.152 ^{n.s}	0.357 ^{n.s}	0.054 ^{n.s}	0.742 ^{n.s}	1381.94 ^{n.s}	19160.05 ^{n.s}	3223.44 ^{n.s}
خطا Error	14	16.42	0.053	1.37	0.165	0.311	3325.59	2239.14	177051.72
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.8	6.0	15.2	7.6	13.5	6.9	9.2	12.0

ns, *, **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.

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

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین ارتفاع بوته در بین الگوهای مختلف کشت نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۷۸/۵۰ سانتی‌متر) از کشت خالص باقلا و کمترین میزان آن (۶۱/۳۰ سانتی‌متر) از کشت مخلوط با نسبت ۱ ردیف بزرک + ۱ ردیف باقلا به‌دست آمد. به نظر می‌رسد که باقلا در کشت مخلوط ۱:۱ فشار رقابتی بیشتری را متحمل شده و به‌دلیل محدودیت تولید مواد فتوسنتزی باعث کاهش رشد رویشی و در نتیجه کاهش ارتفاع آن شده است (جدول ۶). ابوحسین و همکاران (Abou-Hussein et al., 2013) یکی از دلایل کاهش ارتفاع بوته گیاهان را

در مخلوط با لگوم‌ها را به خاطر رقابت برای جذب نیتروژن توسط گونه غیر لگوم نسبت دادند. در کشت مخلوط نخود و سیاهدانه گزارش شده است که ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط به‌دلیل رقابت بین بوته‌ها بر سر آب، مواد غذایی و فضای زیستی سبب کاهش جذب نور و کاهش رشد و فتوسنتز نخود شده و به دنبال آن ارتفاع آن را در کشت مخلوط کاهش داده است که با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد (Rezaei-Chiyaneh and Gholinezhad, 2015).

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد باقلا در الگوهای مختلف کشت مخلوط با بزرک

Table 6- Means comparison of yield and yield components of faba bean in intercropping different patterns with linseed

الگوی کشت Cropping pattern	ارتفاع Height (cm)	تعداد شاخه‌های جانبی No. of lateral branch	طول نیام Pod length (cm)	تعداد نیام در بوته No. of pod per plant	تعداد دانه در نیام No. of seed per pod	عملکرد بیولوژیک Biological yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (t.ha ⁻¹)
کشت خالص Monocropping	78.50 a	4.51 a	8.82 a	6.61 a	4.82 a	13.300 a	4.280 a
کشت مخلوط ۱:۱ Intercropping 1:1	61.30 d	3.35 c	6.43 c	4.10 c	3.77 b	10.240 c	2.590 c
کشت مخلوط ۲:۲ Intercropping 2:2	72.53 b	3.91 b	8.50 ab	5.61 b	4.13 ab	11.860 b	3.650 b
کشت مخلوط ۳:۳ Intercropping 3:3	66.47 c	3.63 bc	7.12 bc	5.11 b	3.80 b	11.290 b	3.410 b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند
Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

تعداد شاخه‌های جانبی

بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی در کشت خالص باقلا با ۴/۵۱ عدد و کمترین آن در کشت مخلوط با نسبت یک ردیف بزرک + یک ردیف باقلا با ۳/۳۵ عدد حاصل شد، اما از نظر تعداد شاخه‌های جانبی بین کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا و کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا اختلاف معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۶). در کشت مخلوط به‌علت رقابت برون‌گونه‌ای از تعداد شاخه‌های جانبی به‌خصوص در الگوی ۱:۱ کاسته شد، اما به دلیل کمتر بودن رقابت درون‌گونه‌ای و نیز وجود فضای بیشتر برای توسعه انشعابات بوته در کشت خالص، گیاهان با استفاده از منابع موجود مقدار بیشتری شاخه فرعی تولید کردند.

طبق جدول ۴، بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی (۴ عدد) در تیمار

کود زیستی و کمترین آن (۳/۷ عدد) مربوط به عدم مصرف کود زیستی بود (جدول ۷). اثرات هم‌افزایی متقابل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، حل‌کننده فسفات، آزادکننده پتاسیم و اکسیدکننده گوگرد به همراه قارچ میکوریزا از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات غیرممتحرک و کاهش pH خاک و تولید انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد از جمله اکسین و جیبرلین، جذب عناصر غذایی را تحریک می‌کنند و با تأثیر بر فرآیندهای فتوسنتزی سبب بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد می‌شوند (Seyed sharifi and Namvar, 2015). در تحقیقی دیگری که روی لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) انجام شد، بیشترین تعداد شاخه‌های جانبی در کاربرد کود زیستی حاوی باکتری *آزوسپریلیوم* در ترکیب با سودوموناس به‌دست آمد (Karimi et al., 2013).

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد باقلا تحت تأثیر کاربرد کود زیستی

Table 7- Means comparison of yield and yield components of faba bean affected by biofertilizer application

تیمار کودی Fertilizer treatment	تعداد شاخه‌های جانبی No. of lateral branch per plant	طول نیام Pod length (cm)	تعداد نیام در بوته No. of pod per plant	تعداد دانه در نیام No. of seed per pod	وزن هزار دانه 1000- seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (t.ha ⁻¹)
عدم مصرف کود No fertilizer	3.70 b	7.19 b	4.94 b	3.78 b	792.50 b	11.340 b	2.840 b
کود زیستی Biofertilizer	4.00 a	8.24 a	5.78 a	4.48 a	868.30 a	12.010 a	4.120 a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند
Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

طول نیام

بیشترین طول نیام در کشت خالص باقلا (۸/۸۲ سانتی‌متر) و کمترین آن در کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا (۶/۴۳ سانتی‌متر) حاصل شد، ولی اختلاف طول نیام بین کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا با کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا معنی‌دار نبود (جدول ۶). این کاهش طول نیام را در کشت مخلوط می‌توان به دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای بر سر منابع محیطی ذکر کرد. محققان دیگری در کشت مخلوط لوبیا و کنگد گزارش کردند که بیشترین طول نیام لوبیا مربوط به کشت خالص بود (Ghale Noyee et al., 2017).

بیشترین طول نیام (۸/۲۴ سانتی‌متر) به تیمار کود زیستی و کمترین آن نیز (۷/۱۹ سانتی‌متر) مربوط به عدم مصرف کود زیستی بود (جدول ۷). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2013) در تحقیق خود نشان دادند که طول نیام لوبیا سبز در تیمار کود زیستی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. بدیهی است هرچه مواد غذایی برای گیاه فراهم شود، پارامترهای عملکرد از جمله طول نیام افزایش خواهد یافت. میکوریزا با گسترش هیف‌های خود و نفوذ در منافذ زیر خاک موجب جذب مقدار زیادی آب و عناصر غذایی می‌شود. از جمله جذب فسفر راحت صورت می‌گیرد، فسفر موجب بهبود گره‌بندی و افزایش کارایی تثبیت نیتروژن در گیاه می‌شود. از طرف دیگر، ریزوباکتری‌های تحریک‌کننده رشد گیاه نیز با افزایش دسترسی گیاه به عناصر مغذی مهمی چون نیتروژن و فسفر و افزایش رشد ریشه با تأثیر روی فرآیندهای فتوسنتزی منجر به افزایش پارامترهای عملکرد می‌شود (Rudresh et al., 2005).

تعداد نیام

بیشترین و کمترین تعداد نیام در بوته به ترتیب در کشت خالص (۶/۶۱ عدد) و کشت مخلوط یک ردیف باقلا و یک ردیف بزرک (۴/۱۰ عدد) به دست آمد. بین کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا و کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد نیام وجود نداشت (جدول ۶). بررسی‌های مختلف نشان داده است که در صورت انتخاب آرایش کاشت و تراکم مناسب در کشت مخلوط، جذب آب و مواد غذایی به دلیل تفاوت در توانایی رقابت بین گیاهان مختلف افزایش می‌یابد (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). بنابراین به نظر می‌رسد که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا دارای رقابت بین گونه‌ای کمتری در مقایسه با رقابت درون گونه‌ای بوده و باعث شده است تا گیاهان همراه در این الگو برای نیچ‌های اکولوژیکی یکسان رقابت بالایی نداشته باشند که این امر در نهایت منجر به افزایش رشد و عملکرد در این شرایط می‌گردد. نیام‌ها در

برگیرنده دانه‌ها بوده و از طرفی تولیدکننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها هم می‌باشند (Amani Machiani et al., 2017). دیواره نیام‌ها به عنوان مقصد موقت، با ذخیره مواد فتوسنتزی و سپس انتقال آنها به دانه‌ها، تا حدودی در عملکرد دانه گیاه مشارکت دارند. رضوانی مقدم و مرادی (Rezvani Moghadam and Moradi, 2012) در کشت مخلوط زیره سبز و شنبلیله و مردانی و همکاران (Mardani et al., 2015) در کشت مخلوط شنبلیله و آنیسون دریافتند که تعداد نیام در بوته شنبلیله در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت که با نتیجه آزمایش حاضر مطابقت دارد.

تیمار کودی بیشترین نیام (۵/۷۸ عدد) و عدم مصرف کود کمترین تعداد نیام (۴/۹۴ عدد) در بوته را تولید کردند (جدول ۷). وجود ریزجانداران ناشی از کاربرد کودهای زیستی از جمله تیوباسیلوس که از فعال‌ترین و موثرترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد می‌باشد که علاوه بر کاهش اسیدیته خاک و فراهم نمودن شرایط مناسب جذب فسفر و عناصر کم مصرف (آهن، منگنز، روی و مس)، با تولید اسید سولفوریک موجب بهبود وضعیت تغذیه گیاه می‌گردد. از طرف دیگر، اثرات هم‌افزایی متقابل باکتری‌ها و قارچ میکوریزا بر روی یکدیگر نیز عامل دیگری برای افزایش دسترسی گیاه باقلا به آب و مواد غذایی شده و از این طریق، افزایش میزان تولید نیام در گیاه باقلا گردیده است. نتایج حاصل از آزمایش کشت مخلوط ذرت و خلر نشان داد که تعداد نیام در بوته خلر با مصرف کودهای زیستی فسفر بارور ۲ و کود شیمیایی فسفر نسبت به عدم کاربرد کود به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (Naghizade et al., 2013).

تعداد دانه در نیام

کشت خالص با میانگین ۴/۸۲ عدد بیشترین تعداد دانه در نیام و کشت مخلوط یک ردیف باقلا و یک ردیف بزرک با میانگین ۳/۷۷ عدد کمترین تعداد دانه در نیام را داشتند؛ به طوری که تعداد دانه در نیام در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط ۲۱/۷۸ درصد بالاتر بود (جدول ۶). چنین به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر رقابت برون گونه‌ای در کشت مخلوط بر روی تعداد دانه در نیام اثر گذاشته و از تعداد دانه در واحد سطح کاسته شد. رضائی چپانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015) مطالعه‌ای که در کشت مخلوط شنبلیله و زنیان (*Carum copticum* L.) تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی داشتند، گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در نیام شنبلیله مربوط به کشت خالص بود. محققان دیگری نیز در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نیز گزارش کردند که تعداد دانه لوبیا در کشت مخلوط به دلیل رقابت بر روی منابع محیطی به طور معنی‌داری کاهش یافت (Koocheki et al., 2009).

بیشترین تعداد دانه در نیام (۴/۴۸ عدد) از تیمار کود زیستی و

سودوموناس و باسیلوس) و بیوسولفور (حاوی باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد از جنس تیوباسیلوس) در گیاه کنجد موجب افزایش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته نسبت به شاهد شد.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک

الگوی کشت اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیولوژیک داشت (جدول ۵). بالاترین عملکرد دانه (۴/۲۸۰ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۳/۳۰۰ تن در هکتار) از کشت خالص باقلا و کمترین عملکرد دانه (۲/۵۹۰ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۰/۲۴۰ تن در هکتار) از کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا به‌دست آمد، ولی اختلاف عملکرد بین کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا با کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا معنی‌دار نبود (جدول ۶). چنین به نظر می‌رسد که در کشت خالص به دلیل عدم وجود رقابت بین گونه‌ها تمامی منابع موجود در اختیار باقلا قرار گرفته است. بنابراین تحت این شرایط هر بوته از منابع در دسترس بیشترین بهره‌برداری را کرده که این موضوع می‌تواند یکی از عوامل افزایش عملکرد این گیاه در واحد سطح باشد. کاهش عملکرد دانه باقلا در کشت مخلوط با نسبت ۱:۱ می‌تواند به دلیل افزایش رقابت بین بزرک با باقلا باشد که باعث کاهش رشد، کاهش تعداد نیام، کاهش تعداد دانه در نیام و وزن دانه می‌گردد. در واقع اجزای عملکرد این گیاه کاملاً تحت تاثیر الگوی کشت قرار گرفت و به موازات کاهش تعداد ردیف‌ها، رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های دو گونه سبب کاهش عملکرد نهایی گردید.

توسلی و همکاران (Tavassoli et al., 2010) در مطالعه ارزش و لوبیا قرمز مشاهده کردند که عملکرد دانه لوبیا در کشت خالص بیشتر از کشت‌های مخلوط بود. رضایی چپانه، Rezaei-Chiyaneh (2016) در تحقیقی که روی کشت مخلوط لوبیا چیتی و بزرک انجام داد به این نتیجه رسید که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک لوبیا چیتی از کشت خالص به‌دست آمد. هیرپا (Hirpa, 2014) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا، حمزه‌ئی و قمری رحیم (Hamzei and Ghamari Rahim, 2014) در کشت مخلوط ذرت و سویا (Glycine max L.)، مردانی و همکاران (Mardani et al., 2015) در کشت مخلوط شنبلیله و آنیسون و قلعه نویی و همکاران (Ghale Noyee et al., 2017) در کشت مخلوط کنجد و لوبیا نیز کاهش عملکرد حبوبات در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط را گزارش کرده‌اند. ظریف پور و همکاران (Zarifpour et al., 2014) با بررسی اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و نخود مشاهده کردند که با جابه‌جایی از کشت خالص به سمت کشت مخلوط از عملکرد دانه نخود کاسته شد.

عدم مصرف کود کمترین تعداد دانه در نیام (۳/۷۸ عدد) را دارا بودند؛ به‌طوری‌که تیمار کودی باعث افزایش ۱۵/۶۲ درصدی تعداد دانه در نیام نسبت به شاهد شد (جدول ۷). باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن با قارچ‌های میکوریزا همکاری و رابطه نزدیکی دارند و در جذب و فراهمی عناصر غذایی نقش اساسی ایفا کرده و نقش بیشتری در رشد گیاه نشان می‌دهند. قارچ‌های میکوریزا با جذب عناصر معدنی خاک از جمله فسفر نامحلول خاک، جذب سایر عناصر از جمله نیتروژن را بهبود داده و در نهایت منجر به افزایش اجزای عملکرد دانه از جمله تعداد دانه در نیام می‌شوند.

وزن هزار دانه

طبق جدول ۶ بیشترین وزن هزار دانه در کشت خالص باقلا با ۱۱۵ گرم و کمترین آن در کشت مخلوط یک ردیف بزرک و یک ردیف باقلا با میانگین وزن دانه ۸۵/۵۰ گرم به‌دست آمد. بین کشت مخلوط دو ردیف بزرک و دو ردیف باقلا با کشت مخلوط سه ردیف بزرک و سه ردیف باقلا اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده نشد. وزن دانه‌ها تابع توانایی گیاه در تأمین مواد پرورده برای مخزن‌ها و همچنین شرایط محیطی از قبیل آب و عناصر غذایی در هنگام پر شدن دانه‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر در کشت خالص تعداد و سهم هر یک از این مخازن در دریافت مواد حاصل از فتوسنتز افزایش یافته و منجر به افزایش وزن هزار دانه نسبت به کشت مخلوط شده است. احمدوند و حاجی‌نیا (Ahmadvand and Hajinia., 2016) در کشت مخلوط سویا و ارزن معمولی گزارش کردند که وزن هزار دانه سویا در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط سویا بود که نتیجه این آزمایش را تأیید می‌کند.

همانطور که جدول ۷ ملاحظه می‌شود، وزن هزار دانه در تیمار کود زیستی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. بیشترین وزن هزار دانه (۱۰۳/۴۲ گرم) به تیمار کود زیستی و کمترین آن (۸۹/۰۸ گرم) مربوط به عدم استفاده از کود زیستی بود. کودهای زیستی از جمله ریزوباکترهای محرک رشد و قارچ‌های میکوریزا با توسعه ریشه، شرایط را برای جذب بهتر و بیشتر عناصر معدنی فراهم می‌کنند. همچنین با افزایش تعداد گره ریزوبیومی ریشه جذب و تثبیت نیتروژن را می‌افزاید. این امر به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌شود. مازاد مواد فتوسنتزی نیز قبل از گلدهی در ساقه ذخیره می‌گردد و پس از گلدهی و با نزدیک شدن به دوران رسیدگی، با انتقال مجدد این مواد به اندام زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌شوند و منجر به افزایش وزن دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Boomsma and Vyn, 2008) در تحقیق جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) مشخص شد که استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جنس

نسبت برابری زمین

بالا ترین LER جزئی بزرک (۰/۶۸) و باقلا (۰/۸۸) به ترتیب از تیمار کشت مخلوط دو ردیف باقلا + دو ردیف بزرک در شرایط عدم کاربرد کود زیستی و کاربرد کود زیستی به دست آمد (شکل ۱). بین الگوهای مختلف کشت نسبت برابری زمین جزئی باقلا نسبت به بزرک بالاتر بود که می‌توان چنین استنباط نمود که باقلا گیاه غالب بوده و از کشت مخلوط با بزرک اثر مثبت پذیرفته است. بیشترین و کمترین نسبت برابری زمین کل به ترتیب از کشت مخلوط دو ردیف باقلا + دو ردیف بزرک (۱/۵۳) در شرایط کاربرد کود زیستی و کشت مخلوط یک ردیف باقلا + یک ردیف بزرک (۱/۰۳) در شرایط عدم کاربرد کود زیستی حاصل شد. با توجه به اینکه در تمامی تیمارهای آزمایش نسبت برابری زمین کل، بیشتر از عدد یک به دست آمد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی در این الگوهای کشت می‌باشد. بالا بودن نسبت برابری زمین از یک در کشت مخلوط می‌تواند ناشی از آرایش صحیح و استفاده مکمل از مواد مغذی و منابع آب و نور به وسیله اجزای کشت مخلوط و نیاز به ورودی‌های خارجی کمتر بیان نمود که این شرایط منجر به افزایش رشد و نمو دو گیاه بزرک و باقلا شده است. در همین راستا می‌توان ایجاد حالت تکمیل و تسهیل‌کنندگی در تسخیر منابع از طریق ساختار ریشه و فنولوژی، کارایی مصرف منابع را به عنوان یک توجیه عملی برای سودمندی کشت مخلوط مطرح نمود. نقش اختلافات مورفولوژیک در دستیابی به LER بالاتر توسط مردانی و همکاران (Mardani et al., 2015) در کشت مخلوط شنبلیله و آنیسون، قلعه نویی و همکاران (Ghale et al., 2017) در کشت مخلوط کنجد و لوبیا، هودیانی مهر و همکاران (Hodiani Mehr et al., 2016) در کشت مخلوط چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

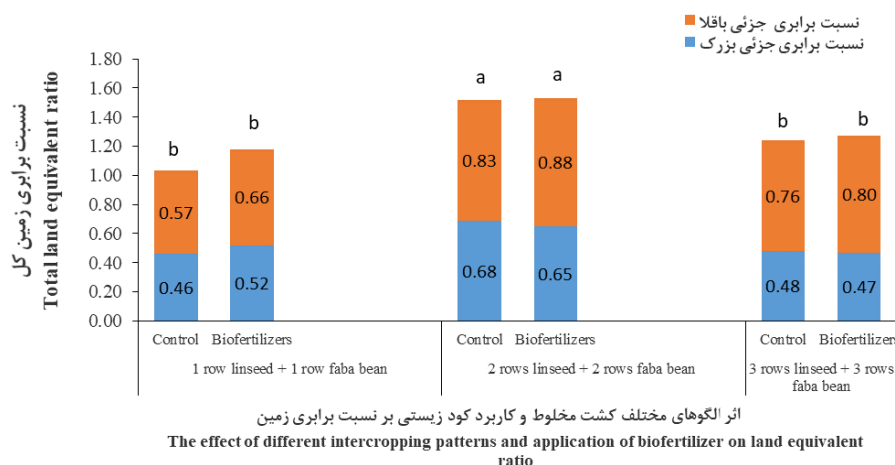
به طور کلی نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد باقلا و بزرک تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و کود زیستی قرار گرفت؛ به طوری که با افزایش تعداد ردیف‌های کاشت به دلیل کاهش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه، عملکرد دانه کاهش پیدا کرد. در تحقیق حاضر کاربرد کودهای زیستی نیز توانست عملکرد و برخی خصوصیات زراعی باقلا و بزرک را بهبود ببخشد. درصد روغن بزرک در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. در تیمارهای کشت مخلوط، باقلا گیاه غالب بود. حضور باقلا کنار بزرک در تیمارهای مختلف به احتمال زیاد به خاطر توانایی گیاه در استفاده بهینه از منابع محیطی موجب افزایش روغن بزرک گردید. بالاترین نسبت برابری زمین نیز در شرایط کاربرد کود زیستی در کشت مخلوط

بین تیمارهای کودی مورد استفاده از نظر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود داشت؛ به طوری که بیشترین میزان عملکرد دانه (۴/۱۲۰ تن در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۲/۰۱۰ تن در هکتار) از تیمار کود زیستی و کمترین عملکرد دانه (۲/۸۴۰ تن در هکتار) و کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۱/۳۴۰ تن در هکتار) از تیمار عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۷). تیمار کودی نسبت به عدم مصرف کود زیستی عملکرد دانه را به میزان ۳۱ درصد افزایش داد. بسیاری از گزارشات حاکی از آن است که برقراری رابطه همزیستی میکوریزی با باکتری‌های ریزوبیوم شرایط را برای تشکیل گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن فراهم می‌سازد. بنابراین تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در گیاهان میکوریز بیشتر از گیاهانی است که با قارچ‌های میکوریزی تلقیح نشده‌اند. همچنین، گیاهان میکوریزی از سرعت فتوسنتز بیشتری برخوردار می‌باشند، لذا درصد بیشتری از مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها و به گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اختصاص می‌یابد که این خود کارایی تثبیت نیتروژن را در این گیاهان افزایش می‌دهد (Jahan and Nasiri Mahallati, 2012).

از طرف دیگر در گیاهان میکوریزای به دلیل جذب بیشتر فسفر و عناصر کم‌مصرف که همگی در فرآیند تثبیت نیتروژن مولکولی تأثیرگذار می‌باشند. این فرآیند با شدت و سرعت بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی به انجام می‌رسد. بنابراین بهبود رشد گیاهان بقولات پس از برقراری رابطه همزیستی میکوریزی به افزایش تثبیت نیتروژن و بهبود جذب آن از خاک خصوصاً به فرم NH_4 نسبت داده شده است که همین امر موجب ذخیره بیشتر مواد غذایی در دانه شده و در نهایت عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (Seyed sharifi and Namvar, 2015). از طرف دیگر، احتمالاً در تحقیق حاضر نیز استفاده از باکتری تیوباسیلوس به همراه سایر باکتری‌های محرک رشد از طریق کاهش اسیدیته خاک و فراهم نمودن شرایط مناسب جذب عناصر غذایی به خصوص نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) موجب افزایش عملکرد این گیاه شدند (Jahan et al., 2013). تانگ جیان و همکاران (Tong-Jian et al., 2010) بیان داشتند که استفاده از قارچ میکوریزا در کشت مخلوط برنج و ماش مقدار بیوماس ماش را نسبت به تک‌کشتی و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش داد. محققان دیگری در کشت مخلوط ذرت و خمر گزارش کردند که عملکرد دانه خمر در تیمار تلفیقی کود زیستی فسفر بارور ۲ نسبت به عدم کاربرد کود به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (Naghizade et al., 2013). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2010) گزارش کردند که تلقیح با کودهای زیستی (نیتراژین، نیتروکسین و بیوفسفر) در گیاه کنجد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد.

شیمیایی شود و در حفاظت زیست محیطی نیز سهیم باشد. به طور کلی، با توجه به اهداف کشاورزی پایدار با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه مصرف نهاده های شیمیایی، تیمار کاربرد کود زیستی در کشت مخلوط دو ردیف بزرک + دو ردیف باقلا مناسب و در منطقه قابل توجه است.

دو ردیف بزرک + دو ردیف باقلا برابر با ۱/۵۳ به دست آمد که معادل ۵۳ درصد افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود. بنابراین، چنین به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی در کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف نهاده‌های خارجی است که در بلندمدت می‌تواند منجر به کاهش نیاز سیستم‌های زراعی به نهاده‌های



شکل ۱- نسبت برابر برای زمین جزئی و نسبت برابر برای زمین کل برای عملکرد دانه بزرک و باقلا در الگوهای مختلف کشت مخلوط تحت تاثیر کاربرد کود زیستی

Figure 1- Partial Land Equivalent Ratio and Land Equivalent Ratio (LER) for seed yields of linseed and faba bean in intercropping patterns affected by biofertilizer application

References

1. Abou- Hussein, S. D., Salman, S. R., Adel-Mawgoud, A. M. R., and Ghoname, A. A. 2005. Productivity, quality and profit of sole or intercropping green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. *Journal of Agronomy* 2: 151-155.
2. Ahmadvand, G., and Hajinia, S. 2016. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). *Journal of Agroecology* 7 (4): 485-498. (in Persian with English abstract).
3. Ali, Z., Asghar-Malik, M., and Akhtar-Cheema, M. 2000. Studies on determining a suitable canola-wheat intercropping pattern. *International Journal of Agriculture and Biology* 2: 42-44.
4. Amani Machiani, M., Javanmard, A., and Shekari, F. 2017. The effect of intercropping patterns on Peppermint (*Mentha piperita* L.) dry biomass yield and essential oil content and Faba Bean (*Vicia faba* L.) seed yield. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 27 (3): 45-62. (in Persian with English abstract).
5. Aminifar, J., Ramroudi, M., Galavi, M., and Mohsenabadi, Gh. R. 2017. Advantage of Sesame and Cowpea Intercrops in Different Fertilizer Application Systems. *Journal of Crop Ecophysiology* 10 (4): 1039-1054.
6. Bijani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., Oleimani, S., and Latifi, M. 2015. Effects of nitrogen and biological fertilizer on yield, oil and protein content of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Oil Plants Production* 1 (2): 67-78.
7. Boomsma, C. R. and Vyn, T. J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Iranian Journal Field Crops Research* 108: 14-31.
8. Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Amini, R., and Tamar, E. 2015. Evaluation of maize (*Zea mays* L.) and three cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping with application of biofertilizers and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 25 (1): 99-112. (in Persian with English abstract).
9. FAOSTS. 2016. World Agriculture Datam, <http://www.fao.org/>
10. Franco, J. G., King, S. R., Masabni, J. G., and Volder, A. 2015. Plant functional diversity improves short-term yields in a low-input intercropping system. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment* 203: 1-10.

11. Ghale Noyee, Sh., Koocheki, A., Naseri Poor Yazdi, M. T., and Jahan, M. 2017. Effect of different treatments of mixed and row intercropping on yield and yield components of sesame and bean. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (3): 588-602. (in Persian with English abstract).
12. Gharineh, M. H., and Enayat GHolizadeh, M. R. 2009. *Crop Ecology*. Islamic azad university Shoushtar branch. Pp 303.
13. Gliessman, S. R. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in sustainable Agriculture*. CRC press.
14. Hamzei, J., and Ghamari Rahim, N. 2014. Evaluation of corn-s--oybean intercropping advantages using a gronomic and weed control efficiency indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 24 (3): 61-73. (in Persian with English abstract).
15. Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Dibet, P., Von Fragstein, A., Pristeri, M., Monti, E., and Jensen, A. 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Journal of Field Crops Research* 113: 64-71.
16. Hirpa, T. 2014. Effect of intercrop row arrangement on maize and haricot bean productivity and the residual soil. *World journal of Agricultural Sciences* 4:69-077.
17. Hadiani mehr, A., Dahmardeh, M., Khammari, I., and Asgharipoor, M. 2016. Effects of Tillage Systems on Changes of Soil Nutrients, Yield and Land Equivalent Ratio in Roselle – Green Gram Intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (2): 311-322.
18. Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. *Soil fertility and biofertilizers: an agroecological approach*. Ferdowsi University Press. 250 pp. (in Persian).
19. Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M. B., and Ehyae, H. R. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of (*Sesamum indicum* L.) with application of cover crops of *Lathyrus* sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). *Journal of Agroecology* 5 (1): 1-15. (in Persian).
20. Jannoura, R., Joergensena, R. G., and Bruns, C. H. 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. *European Journal of Agronomy* 52: 259-270.
21. Jensen, E. S., Peoples, M., and Hauggaard-Nielsen, H. 2010. Faba bean in cropping systems. *Journal of Field Crop Research* 115: 203-216.
22. Karimi, K., Bolandnazar, S. A., and Ashoori, S. 2013. Effect of bio-fertilizer and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, growth characteristics and quality of green bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 23(3): 157-167. (in Persian with English abstract).
23. Khaki Najafabadi, A., Jahan, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahalat, M. 2017. Effects of intercropping of common millet (*Panicum miliaceum* L.) cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and biological fertilizer inoculation on water and nitrogen use efficiencies. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (3): 691-708. (in Persian with English abstract).
24. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Ghorbani, R. 2010. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(5): 758-766. (in Persian).
25. Koocheki, A., Fallahpour, F., Khorramdel, S., and Jafari, L. 2014. Intercropping wheat (*Triticum aestivum* L.) with canola (*Brassica napus* L.) and their effects on yield, yield components, weed density and diversity. *Journal of Agroecology* 6 (1): 11-20. (in Persian).
26. Koocheki, A., Lalegani, B., and Najib Nia, S. 2009. Evaluation of intercropping beans and corn production. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (2): 20-30. (in Persian).
27. Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Fallahi, H. R. 2016. Effects of planning dates, irrigation management and cover crops on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology* 8(3): 435-451.
28. Koocheki, A., Zarghani, H., and Norooziyan, A. 2016. Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and Red Bean (*Phaseolus calcaratus*) under different intercropping arrangements. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14 (2): 226-243. (in Persian with English abstract).
29. Leithy, S., El-Meseiry, T. A., and Abdallah, E. F. 2006. Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil quality. *Journal of Applied Sciences Research* 2: 773-779.
30. Mardani, F., Balouchi, H., Yadavi, A., and Salehi, A. 2015. Effect of row intercropping patterns on yield, yield components, and weed control of fenugreek (*Trigonellafoenumgreacum* L.) and anise (*Pimpinellaanisum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 13 (3): 623-636. (in Persian with English abstract).
31. Moradi Telavat, M. R., and Ataollah Siadat, S. 2012. *Introduction and production of oil seed crops*. Education and agricultural promotion Press, Pp 374. (in Persian).
32. Naghizade, M., Ramroodi, M., Galavi, M., Siahars, B., Heydari, M., and Maghsoodi, A. A. 2013. The effects of various phosphorus fertilizers on yield and yield components of maize and grass pea intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Science* 43 (2): 203-215. (in Persian with English abstract).
33. Pooramir, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Ghorbani, R. 2010. Effect of different planting

- combinations on yield and yield components of sesame and peas intercropping in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (3): 393-402. (in Persian).
34. Rezaei- Chiyaneh, E. 2016. Intercropping of flax seed (*Linum usitatissimum* L.) and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under foliar application of iron nano chelated and zinc. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 29 (1): 39-56. (in Persian with English abstract).
 35. Rezaei- Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., and Fotohi Chiyaneh, S. 2015. Yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in strip intercropping with ajowan (*Carum copticum* L.) influenced by bio and chemical fertilizer. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24 (4): 1-15. (in Persian with English Summary).
 36. Rezaei-Chiyaneh, E., and Gholinezhad, E. 2015. Study of agronomic characteristics and advantage indices in intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 7 (3): 381-396. (in Persian).
 37. Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., and Garachali, P. 2015. Evaluation of relay intercropping of sunflower and faba bean on their yield and land use efficiency. Journal of Crops Improvement 17 (1): 183-196. (in Persian).
 38. Rezvani Moghadam, P., and Moradi, R. 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Field Crop Science 43 (2): 217-230. (in Persian with English abstract).
 39. Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M. B., and Seyyedi, S. M. 2014. Effect of organic and bio-fertilizers application on yield, oil content and fatty acids composition of sesame (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 16 (3): 209-221. (in Persian with English abstract).
 40. Rudresh, D. L., Shivaprakash, M. K., and Prasad, R. D. 2005. Effect of combined application of rhizobium, phosphate solubilizing bacterium and trichoderma spp. on growth, nutrient uptake and yield of Chickpea (*Cicer aritenium* L.). Journal of Applied Soil Ecology 28: 139-146.
 41. Seyed Sharifi, R., and Khoramdel, S. 2016. Effects of Nano-Zinc oxide and seed inoculation by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, yield components and grain filling period of soybean (*Glycine max* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 13 (4): 738-753. (in Persian).
 42. Seyed sharifi, R., and Namvar, A. 2015. Bio fertilizers in agronomy. University of Mohaghegh Ardabili. 280. (in Persian).
 43. Strichland, M. S., Leggett, Z. H., and Bradford, M. A. 2015. Biofuel intercropping effects on soil carbon and microbial activity. Ecological Applications 25: 140-150.
 44. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S. A., and Hinsinger, P. 2014. Increase in microbial biomass and Phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. Soil Biology and Biochemistry 75: 86-93.
 45. Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M. M., and Heydari, M. 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of and bean in intercropping. Iranian Journal of Agronomy Research 8 (2): 96-114. (in Persian with English abstract).
 46. Tong-jian, X., Qing-song, Y., Wei, R., Guo-hua, X. U., and Qi-rong, S. H. 2010. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus on nitrogen and phosphorus utilization in upland rice-mungbean intercropping system. Journal of Agricultural Sciences in China 9: 528 -535.
 47. Toosi, P., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2011. Effect of concentration and time of supplementary nitrogen fertilizer application on yield and NUE of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop in paddy field. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (2): 387-396. (in Persian).
 48. Weisanny, W., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., and Sohrabi, Y. 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and Intercropping System. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26 (3): 1-19. (in Persian with English abstract).
 49. Zarifpour, N., Naseri Poor Yazdi, M. T., and Nassiri Mahallati, M. 2014. Effect of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) on quantity and quality characteristic of species. Iranian Journal of Field Crops Research 12(1): 34-43. (in Persian).



The Effect of Combined Application of PGPR and Mycorrhizal Fungi in Intercropping of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) and Faba bean (*Vicia faba* L.) on Growth Characteristics and Seed Yield

Kh. Alizadeh¹, E. Rezaei-Chiyaneh^{2*}, R. Amirnia³, M. Barin⁴

Received: 09-04-2018

Accepted: 12-08-2018

Introduction: Intercropping is defined as the growing of two or more crops at the same time in the same piece of land. Intercropping of legume with non-legume compared with monoculture has many advantages such as reducing the risk of crop failure, making efficient use of available land, improving productivity and income, more efficient use of resources (water, nitrogen, and radiation) and increasing food security in vulnerable production systems. Biofertilizers are important not only for the reduction of quality of chemical fertilizers but also for getting better yield in sustainable agriculture. Application of biofertilizers and no use of chemical fertilizers are rapidly gaining favor. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) has been well documented to be a bio-fertilizers that have a symbiotic relationship with many crops and by increasing the uptake of nutrients mainly phosphorus, and enhancing the water absorption and resistance to pathogens, improves growth and yield of host plants in sustainable agricultural systems. The main objective of the present study was to determine the effect of biofertilizers (nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur solubilizing bacteria+ Arbuscular mycorrhizal fungi) and intercropping on seed yield and yield components of linseed and faba bean.

Materials and Methods: This experiment was conducted as factorial layout based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran, during growing season of 2017. The first factor was five intercropping patterns including 1 row linseed + 1 row faba bean, 2 row linseed + 2 row faba bean, 3 row linseed + 3 row faba bean, and monocropping of each crop and the second factor was included control (no fertilizer), and biofertilizers (nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur supplier bacteria+ arbuscular mycorrhiza fungi). Before the sowing, the related biofertilizers were shaken completely to cover the whole seeds surface after which the seeds were shadow-dried and planted, irrigation was done immediately after seed sowing. No fertilizer was used during the growing season. In addition, the land equivalent ratio (LER) was calculated to determine the advantages of intercropping. The Analysis of variance was performed using SAS 9.4 software; means were compared by using Duncan's multiple test at 0.05 probability level.

Results and Discussion: The results showed that the effect of cropping pattern on all measured traits was significant on height, number of lateral branch, number of capsule per plant, number of seed per capsule, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, oil percentage of linseed and on height, number of lateral branch, number of pod per plant, number of seed per pod, 1000-seed weight, biological yield, seed yield of faba bean. The highest seed yield of faba bean (4.280 t ha⁻¹) and linseed (2.230 t ha⁻¹) were obtained in monocropping treatments, respectively. The higher production in linseed and faba bean monocropping may be due to the less disturbance in the habitat in homogeneous environment under monocropping systems. The results showed that biofertilizer had a significant effect on all traits, in linseed and faba bean. The highest yield and yield component of both plants were achieved in use of biofertilizers. In linseed, the highest oil percentage of all treatments was higher than solecropping. Also, total LER was more than 1 and the highest values were observed in all treatments. The maximum LER values (1.50) were obtained for intercropping 2 row of linseed + 2 row of faba bean with using biofertilizers. It seems that better utilize of the growth resource in the intercropping led to reach this result.

Conclusions: In general, the results of this experiment showed that the faba bean and linseed yield were influenced by different intercropping patterns and biofertilizer. The highest seed yield for both plants (faba bean

1- Graduate Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)

and linseed) were achieved in monocropping. In the present study, application of biofertilizers could improve the yield and some characteristics of faba bean and linseed. In addition, with application of biofertilizer the seed yield of linseed and faba bean about 38% and 31% compared with control (non-consumption), respectively. It seems that the use of biofertilizers in intercropping is one of the suitable strategies for achieving optimal yields with minimum inputs, which in the long run can reduce the need of crop systems to chemical inputs.

Keywords: *Azotobacter*, Land equivalent ratio, Oil, Planting pattern, *Pseudomonas*



شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays*) تحت شرایط کم‌آبایی در دشت مغان

امیرعباس رستمی اجیرلو^{۱*}، محمدرضا اصغری پور^۲، احمد قنبری^۳، مهدی جودی^۴، محمود خرمی وفا^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

در این پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop عملکرد دانه، زیست‌توده و طول دوره رشد سه هیبرید ذرت تحت شرایط اقلیم آینده، در تیمارهای مختلف آبیاری شبیه‌سازی شد. به این منظور، از داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای سه سناریو گزارش چهارم هیأت تغییر اقلیم (A1B، A2 و B1) پیش‌بینی و برای دشت مغان در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۰، ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ مورد بررسی قرار گرفت. مدل AquaCrop قبل از استفاده، توسط داده‌های مزرع‌ای (سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) واسنجی و تعیین اعتبار شد. سپس طول دوره رشد هیبریدها، مقادیر عملکرد دانه و زیست‌توده در دوره‌های آینده، برای تیمارهای متفاوت آبیاری (I_1 = آبیاری نرمال، I_2 = قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، I_3 = قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و I_4 = قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و هیبریدهای متفاوت ذرت ($SC705 = C3$ و $SC703 = C2$ ، $SC704 = C1$) شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج، در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی در مقایسه با دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۰ (پایه) میانگین ماهانه دمای به مقدار ۱/۴۱، ۱/۳۵ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 افزایش، میانگین ماهانه بارش به مقدار ۱۱ و ۱۵ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 کاهش خواهد یافت و در دوره آماری ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی در مقایسه با دوره پایه میانگین ماهانه دمای به مقدار ۲/۹، ۲/۶۹ و ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 افزایش خواهد یافت. همچنین در طی این دوره، مقدار کاهش بارندگی به مقدار ۱۸، ۱۵ و ۱۴ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 پیش‌بینی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده کل ارقام ذرت تحت تاثیر مدیریت‌های آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop، نشان داد که متغیرهای آماری ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه و ماده خشک در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، به‌ترتیب ۴۱۳ و ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و ماده خشک، به‌ترتیب ۱۱ و ۱۰ درصد به‌دست آمد. به‌علاوه، استفاده از داده‌های هواشناسی آینده تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نشان از کاهش طول دوره رشد، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در سناریوهای A2، A1B و B1 دارد. در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده شد که هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر هیبریدهای ذرت دارای کاهش رشد و عملکرد کمتری می‌باشد. بنابراین این رقم می‌تواند برای تغییر اقلیم آینده در دشت مغان مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: آب و هوا، بحران آب، تنش خشکی، مدل AquaCrop

مقدمه

استفاده از سوخت‌های فسیلی، غلظت آن‌ها به خصوص میزان گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته که این امر موجب گرم شدن کره زمین شده است (Wilcox and Makowski, 2014). گرم شدن زمین که از اواخر قرن نوزدهم آغاز شده و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده نیز ادامه پیدا کند و بر وضعیت دیگر اجزای چرخه اقلیمی اثر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را به همراه داشته است. تغییرات بلندمدت شرایط عمومی آب و هوایی زمین، تغییر اقلیم نامیده می‌شود که در اثر تغییر اقلیم متغیرهای آب و هوایی مانند دما و بارش ثابت نمانده و در مناطق مختلف تغییر می‌کند (Tacarindua et al., 2013). براساس آخرین گزارش مجمع بین دول تغییر اقلیم، میانگین درجه حرارت جهان تا ۵۰ سال آینده ۲/۵-۰/۶ درجه سانتی‌گراد و تا پایان قرن حاضر

بررسی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد که پس از انقلاب صنعتی، به دلیل توسعه روزافزون صنایع و به سبب آن افزایش

- ۱- دانش‌آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
 - ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار و استاد اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
 - ۴- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشکین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 - ۵- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
- (*)- نویسنده مسئول
(Email: abasat.rostami@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.72189

۶/۴-۱/۱ سانتی گراد افزایش می‌یابد و دامنهٔ این افزایش درجه حرارت در مقیاس منطقه‌ای بسیار زیاد خواهد بود (IPCC, 2016). با وجودی که تغییر اقلیم در برخی از مناطق جهان به‌ویژه نواحی واقع در عرض‌های شمالی اثرات مثبتی بر تولیدات کشاورزی به همراه خواهد داشت (Raymond et al., 2014) ولی اثرات منفی این تغییرات در مناطق گرم و خشک شدید خواهد بود (Babalola and Akinsanola, 2016). به‌طوری‌که در کشورهای در حال توسعه افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی شدیدتر بوده (Rootaei et al., 2012) و به‌علاوه فراوانی و شدت وقوع پدیده‌های نادر اقلیمی (خشکسالی، گرما، سرما و سیل) نیز تشدید خواهد شد. تعداد و شدت بیشتر بارندگی‌ها، افزایش دما، خشکسالی و انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی مورد انتظار، بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد (Hatfield et al., 2011).

معتبرترین ابزار، جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جوی- اقیانوسی می‌باشد (Abkar et al., 2013). برای بسط دادن به شرایط هر منطقه خروجی این مدل‌ها بایستی قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و مقایسه با داده‌های مشاهداتی ریزمقیاس شوند (Ashraf et al., 2014). امروزه استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی آماری مانند LARS-WG برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان برای دهه‌های آینده معمول است و می‌توان نتایج مدل را در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی به‌کار برد (Hatfield et al., 2011). جهت بهره‌برداری از نتایج مدل‌های تغییر اقلیم و بررسی اثرات آنها بر گیاهان زراعی، می‌توان از مدل‌های گیاهی استفاده کرد (Hajarpour et al., 2013) بدین صورت که با تولید داده‌های روزانه سال‌های آینده می‌توان خروجی این مدل‌های ریزمقیاس‌کننده را به‌عنوان ورودی مدل‌های گیاهی لحاظ و میزان عملکرد محصولات کشاورزی را تحت تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده برآورد کرد.

یکی از مدل‌های جدیدی که برای شبیه‌سازی رشد محصول با استفاده از سری‌های طولانی داده‌های اقلیمی گذشته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مدل AquaCrop است (Nasiry et al., 2014). مدل AquaCrop یکی از مدل‌های پرکاربرد گیاهان زراعی است که توسط سازمان فائو ارائه شده و با وارد کردن واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه می‌تواند محصول قابل دستیابی را بر اساس شرایط هواشناسی، خاک، سیستم آبیاری و مدیریت مزرعه پیش‌بینی کند (Steduto et al., 2015). با مقایسه محصول پیش‌بینی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه می‌توان مدل را واسنجی کرده و اعتبار آن را برای یک محصول و شرایط آب و هوایی سنجید همچنین مدل می‌تواند برای استفاده توسط اقتصاددان‌ها، مدیران و کارفرمایان بخش آب کشاورزی با اهداف و کاربردهای متنوع مناسب می‌باشد. علاوه بر

این با وجود ساده بودن مدل، توجه خاصی به روندهای اساسی فیزیولوژیکی و زراعی دارد که در تولیدات گیاه و واکنش‌های آب موثر هستند (Steduto et al., 2009). با استفاده از این مدل‌ها، اثر سناریوهای مختلف کم‌آبیاری بر تولید محصول تعیین و با توجه به منابع آب بهترین برنامه کم‌آبیاری استنتاج می‌شود. در این راستا (Esmaely et al., 2014) با استفاده از میانگین طولانی مدت پارامترهای هواشناسی در منطقه کرمانشاه، عملکرد گیاه سویا را با استفاده از مدل AquaCrop بررسی نمودند سپس با استفاده از مدل LARS-WG تحت سه سناریو پارامترهای هواشناسی پیش‌بینی و عملکرد محصول سویا (*Glycine max* L.) در حالت پتانسیل در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۰ توسط مدل AquaCrop را برآورد نمودند. بر اساس نتایج مدل LARS-WG هر سه سناریو افزایش دمای هوا به میزان یک تا دو درجه را پیش‌بینی نموده و با توجه به نتایج به‌دست آمده عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک سویا در شرایط آینده در منطقه کرمانشاه کاهش خواهد یافت. (Roustaie et al., 2011) در منطقه پاکدشت تاثیر تغییر اقلیم بر زیست‌توده ذرت (*Zea mays* L.) را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تغییرات دما و بارش را با استفاده از دوره پایه برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پیش‌بینی و به‌عنوان ورودی برای مدل AquaCrop تلقی کردند و نتایج شبیه‌سازی رشد گیاه ذرت در دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۰-۲۰۳۹، نشان از سیر نزولی زیست‌توده، در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری دارد، به‌طوری‌که در سطح ریسک ۵۰ درصد و تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری، به‌ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۴۲ تن بر هکتار کاهش در زیست‌توده پیش‌بینی شده است. همچنین نتایج آنالیز ریسک نشان داد که تفاوت میان مقادیر زیست‌توده ذرت در سطوح ۲۵ و ۷۵ درصد در سال ۲۰۳۹، ۰/۷ تن بر هکتار در تیمار آبیاری کامل و ۰/۵ تن بر هکتار در کم آبیاری خواهد بود. یانو و همکاران، ۲۰۰۷ با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی گیاهان گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت در ساحل شرقی دریای مدیترانه در ترکیه نتیجه گرفتند که بالا رفتن دما باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه می‌شود و این خود باعث زودرس شدن این محصولات و در نتیجه کاهش دوره رشد می‌شود.

در این پژوهش تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و عملکرد سه هیبرید ذرت تحت شرایط کم آبیاری در دشت مغان در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۰، ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در تیمارهای مختلف آبیاری با استفاده از نسخه جدید مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و مدل پیش‌بینی عملکرد AquaCrop مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایشات مزرعه‌ای و موقعیت منطقه مورد مطالعه

آزمایش مزرعه‌ای بر روی گیاه ذرت دانه‌ای، در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به منظور بررسی تاثیر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و زیست‌توده محصول در مزرعه شخصی واقع در بخش تازه‌آباد از توابع شهرستان پارس‌آباد از دشت مغان (یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور واقع در شمال استان اردبیل) انجام شد. محل اجرای آزمایش بین مدارهای ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. از نظر پهنه‌بندی اقلیمی منطقه مورد بررسی دارای اقلیم نیمه‌خشک است و میانگین بارش سالانه در این منطقه ۲۷۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Vatankhah, 2009). آزمایش در دو سال زراعی به صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل چهار سطح مختلف آبیاری ($I_1=$ آبیاری نرمال، $I_2=$ قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (قطع آبیاری از مرحله ۱۲-۱۰ برگی تا ظهور تاسل)، $I_3=$ قطع آبیاری در مرحله

گل‌دهی و $I_4=$ قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و ژنوتیپ‌های مختلف ذرت ($SC704=C1$ ، $SC705=C2$ و $SC703=C3$) بودند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف به طول پنج متر با تراکم بوته ۱۱۱۰۰ بوته در هکتار بودند. بعد از بلوک‌بندی برای جلوگیری از نشست آب بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله گذاشته شد. در این آزمایش بذرها ژنوتیپ‌های مختلف ذرت به‌صورت دستی در فواصل مذکور در چهارم تیر ماه به‌عنوان کشت دوم بعد از گندم کشت گردیدند. پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه تهیه و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد و بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و با توجه به نیاز گیاه ذرت، ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت و مابقی به صورت سرک در دو مرحله استفاده شد)، ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل نیز قبل از کاشت به خاک اضافه شد. همچنین برای تأمین نیاز کودی پتاسیم؛ نانوکود پتاسیم ($27\text{ K}_2\text{O}$ درصد)، به‌میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت خاک مصرف مورد استفاده قرار گرفت (در هر دو سال زراعی برنامه کودی رعایت شد).

جدول ۱- نتایج آزمون خاک

Table 1- Soil test results

سال Year	عمق Depth (cm)	هدایت الکتریسیته EC (ds.m-1)	مواد آلی Organic Matter (%)	pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg. kg-1)	پتاسیم K (mg. kg-1)	بافت خاک Soil texture
1394	0-60	0.93	0.88	7.2	0.07	4.2	385	رسی
1395	0-60	0.94	0.87	7.2	0.066	4.3	388	رسی

شبیه‌سازی اقلیم آینده توسط مدل LARS-WG

جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG استفاده شد. برای تولید داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی اقلیم آینده و پایه از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات مغان (واقع در شمال غرب کشور و شمال استان اردبیل) استفاده شد. جدول ۲ ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

عملیات وجین علف‌های هرز از مرحله آغاز رشدی تا ظهور بلال‌ها به‌صورت دستی انجام گردید همچنین جهت مدیریت آفات که عمدتاً ساقه‌خوار اروپایی ذرت بودند، قبل از پیدایش گل تاجی از سموم آوانت و هگزافلومرون بر علیه لاروهای سن اول (به‌صورت مه‌پاشی و به میزان دو لیتر در هکتار، جزء سموم ضد تغذیه‌ای) استفاده گردید. آبیاری به روش جوی و پشته‌ای اجرا و تمامی تیمارها تا ظهور ۴ برگ به‌طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله تیمارهای آبیاری (بر اساس مراحل رشدی) اعمال شدند.

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

Table 2- Geographic characteristics of station

نام ایستگاه Station name	کد ایستگاه سنوتیک Synoptic station code	ارتفاع (متر) Height (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
هواشناسی کشاورزی اولتان مغان	40700	72.6	39.36	47.47

به طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می گیرد. که عبارتند از: واسنجی داده ها، ارزیابی داده ها و تولید یا شبیه سازی داده های هواشناسی برای دوره آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می باشد. بر این اساس برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۰-۲۰۱۰) داده های مورد نیاز مدل، شامل مقادیر روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان پارس آباد مغان وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان، در این دوره آماری پردازش و مرتب سازی شد و فایل های ورودی مدل برای دوره پایه تهیه شد بدین ترتیب مرحله واسنجی (تعریف داده های ورودی) به پایان رسید و در مرحله بعد اقدام به ارزیابی داده های تولید شده توسط مدل و داده های واقعی مشاهده شده (موجود در دوره پایه) شد و در نهایت در مرحله

سوم شبیه سازی داده های اقلیمی برای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ انجام شد. در این مرحله مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریز مقیاس نمایی آماری داده های مدل گردش عمومی جو HADCM3 با استفاده از سه سناریو گزارش چهارم هیأت تغییر اقلیم (A1B، A2 و B1) اقدام به شبیه سازی نمود. جدول ۳ خلاصه ای از مشخصات سناریوهای انتشار یادشده را ارائه می دهد. بدین ترتیب مدل LARS-WG اجرا شده و مقادیر روزانه داده های اقلیمی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی برای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ شبیه سازی شد. سپس میانگین داده های روزانه خروجی مدل LARS-WG محاسبه شد. شایان ذکر است که میانگین ماهانه داده های اقلیمی دوره مشاهداتی (۱۹۷۰-۲۰۱۰) نیز جهت مقایسه و درک بهتر تغییرات اقلیمی آینده، نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات سناریوهای A1B، A2 و B1
Table 3- Characteristics of scenarios A1B, A2 and B

سناریو Scenario	فرضیه های اصلی در سناریو The main hypothesize in the scenario	غلظت CO ₂ (ppm) 2011-30	غلظت CO ₂ (ppm) 2046-65	غلظت CO ₂ (ppm) 2081-100
جهان همراه با توسعه پایدار The world with sustainable development	B1 تغییر در ساختارهای اقتصادی، همراه با بهبود و افزایش سطح توجه به محیط زیست Changes in economic structures, along with improved environmental awareness	410	492	538
جهان ثروتمند The rich world	A1B این سناریو با رشد اقتصادی سریع (۲٪ رشد) توصیف می شود This scenario is characterized by rapid economic growth (2 % growth)	418	541	674
جهان جدا شده Isolated world	A2 مشخصات فرهنگی مناطق مختلف را تفکیک می کند Cultural characteristics of different regions are distinguished	414	545	754

مختلف و همچنین برای سناریوهای تغییر اقلیم باشد.

مدل شبیه سازی عملکرد گیاه AquaCrop

مدل AquaCrop یکی از کاراترین و جدیدترین مدل های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) ارائه شده است. این مدل را می توان به عنوان ابزاری جهت ارزیابی تنش آبی و میزان محصول در منطقه، ارزیابی محصول کشت دیم در طولانی مدت، برنامه ریزی کم آبیاری و آبیاری تکمیلی به کار برد (Heydarinia et al., 2012). این مدل بیلان آب را به صورت روزانه محاسبه کرده و (Steduto et al., 2005) گزارش کردند که مدل از معادله پیشین (Doorenbos and Kassam, 1979) با تفکیک نمودن تبخیر و تعرق به تبخیر از سطح خاک و تعرق پوشش گیاهی توسعه یافته است. برای محاسبه تولید روزانه زیست توده از پارامتر بهره وری آب نرمال شده، استفاده می شود که پارامتری ثابت برای آب و هوا و گیاه معین، در نظر گرفته می شود تا مدل قادر به شبیه سازی در مکان ها، فصول

داده های ورودی مدل

داده های اقلیمی: داده های اقلیمی شامل چهار بخش میزان تبخیر تعرق گیاه مرجع روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه، مقادیر بارندگی روزانه و میانگین سالیانه ی غلظت CO₂ است. از اطلاعات آماری ایستگاه هواشناسی اولتان مغان برای محاسبه ی تبخیر و تعرق مرجع ETo به روش پنمن مانیتث (Allen et al., 1998) استفاده شد. برای محاسبه ی غلظت CO₂ موجود در اتمسفر از مقادیر محاسبه شده در مدل استفاده گردید. همچنین مقادیر بارندگی و دمای حداقل و حداکثر در فصل رشد به صورت روزانه به مدل داده شد.

داده های گیاهی: به طور کلی داده های گیاهی دارای دو نوع ورودی می باشند که برخی از آنها ثابت و برخی دیگر متغیر و غیر ثابت

$\bar{M}$ میانگین مقدار اندازه‌گیری شده است. هر دو شاخص برای نقاط داده‌های جمع‌آوری شده در طی فصل برای هر تیمار است. داده‌های شبیه‌سازی شده دوره آینده توسط مدل تولید داده LARS-WG به همراه مقادیر محاسباتی تبخیر و تعرق به عنوان ورودی مدل AquaCrop به کار گرفته شد. مدل با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۴ واسنجی و با داده‌های سال ۱۳۹۵ تحت تیمارهای مختلف آبیاری (I1=آبیاری نرمال، I2=قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، I3=قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی، I4=قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و ژنوتیپ‌های مختلف ذرت دانه‌ای (C1=SC704، C2=SC705 و C3=SC703) صحت‌سنجی شد.

نتایج و بحث

ریز مقیاس نمایی داده‌های شبیه‌سازی شده دوره‌های آینده
در این پژوهش، با استفاده از محاسبه ضریب تعیین و شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا RMSE و میانگین خطای مطلق MAE، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل LARS-WG و داده‌های مشاهده شده موجود در دوره پایه شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج ارزیابی آماری داده‌های شبیه‌سازی شده ویژگی‌های هواشناسی توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه در جدول ۵ ارائه شده است. شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا کوچک به دست آمدند. مقادیر کوچک‌تر این شاخص بیانگر وجود اختلاف کم‌تر بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عوامل هواشناسی تولید شده توسط مدل LARS-WG می‌باشد. به منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی اقلیم منطقه، آزمون‌های آماری توسط مدل برای ایستگاه مورد مطالعه اجرا گردید. آزمون t جهت تست همانندی برای میانگین بارش ماهانه و میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه روزانه و آزمون F جهت ارزیابی واریانس ماهانه بارش اجرا شد. جدول ۶ نتایج آزمون‌های کلموگروف-سمیرنوف، t و F را برای ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این جدول، تعداد آزمون‌های خارج از سطح معنی‌داری (۵ درصد) نسبت به کل آزمون در هر سری نشان داده شد. به عبارتی اگر مقدار P -value کمتر از سطح معنی‌داری (پنج درصد) باشد فرض صفر مبنی بر این که داده شبیه‌سازی شده همانند داده واقعی می‌باشد، رد می‌شود.

نتایج به دست آمده از آزمون آماری t نشان داد که دما هوا در ۱۱ ماه، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود ندارد. هم‌چنین، نتایج به دست آمده از آزمون آماری F نشان داد که در هیچ ماهی از سال، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود ندارد.

هستند. برای داده‌های ثابت از مقادیر پیش‌فرض مدل برای گیاه ذرت که با تغییر مکان یا گذشت زمان تغییر نمی‌کنند استفاده شد و یا این که تغییرات بسیار کم و قابل چشم‌پوشی فرض شد و مقادیر داده‌های متغیر شامل پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی ۹۰ درصد، بیشینه‌ی رشد کانوپی، عمق موثر ریشه، بهره‌وری آب، حد پایین آستانه‌ی شوری، حد بالای آستانه‌ی شوری، شاخص برداشت مرجع، مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی، مدت زمان کاشت تا بیشینه‌ی، رشد کانوپی، مدت زمان کاشت تا برداشت محصول، مدت زمان کاشت تا دوره‌ی پیری، مدت زمان کاشت تا بلوغ به مدل وارد شد.

داده‌های خصوصیات خاک: داده‌های خصوصیات خاک برای ورودی مدل نظیر بافت خاک زراعی و خصوصیات هیدرولیکی خاک نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، رطوبت‌های اشباع، ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم مورد نیاز است. مقادیر این ورودی‌ها با توجه به بافت خاک مزرعه‌ی آزمایشی به مدل داده شد. هدایت هیدرولیکی خاک برابر ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت، رطوبت اولیه‌ی خاک در حد پژمردگی دائم و شوری پروفیل خاک در سه لایه برابر با دو دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد.

داده‌های مدیریت مزرعه: داده‌های مدیریت مزرعه به دو بخش اصلی تقسیم شده‌اند: ۱- مدیریت مزرعه و حاصلخیزی آن، ۲- مدیریت آبیاری.

حاصلخیزی مزرعه بدون محدودیت و به‌طور کامل در نظر گرفته شد. داده‌های مربوط به مدیریت آبیاری شامل روش آبیاری و مقادیر و کیفیت آب آبیاری در طول فصل رشد می‌باشد. از روش آبیاری جوی و پشته‌ای در تیمارهای مختلف استفاده شد. به دلیل پیچیده و دشوار بودن تعیین پارامترهای گیاهی و دوره‌های زمانی رشد گیاه، از اطلاعات تیمار شاهد برای واسنجی مدل در تخمین عملکرد محصول استفاده شد.

ارزیابی مدل: جهت بررسی نتایج حاصل از مدل و نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت‌یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل، از شاخص‌های ارزیابی مزرعه‌ای (RMSE) شاخص توافق (d) و ضریب راندمان (E) طبق معادله‌های زیر استفاده شد (Jacovides and Kontoyiannis, 1995).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Mi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Si - \bar{M}| + |Mi - \bar{M}|)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - Mi)^2} \times 100 / \bar{M}$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Mi - Si)^2}{\sum_{i=1}^n (Mi - \bar{M})^2}$$

که در آنها:

Mi و Si مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات و

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی مدل LARS-WG
Table 4- LARS-WG model evaluation indicators

پارامتر Parameter	MAE	RMSE	R ²
دمای کمینه Minimum temperature	0.145	0.1887	0.9995
دمای بیشینه Maximum temperature	0.2107	0.2511	0.9995
تابش Radiation	0.1634	0.2355	0.9972
بارش Precipitation	4.0557	5.5066	0.8899

WG در شبیه‌سازی ویژگی‌های هواشناسی در تحقیقات بسیاری از محققین نیز به تأیید رسیده است (Sayari *et al.*, 2011; Ansari *et al.*, 2015).

نتایج نشان داد که توانایی مدل LARS-WG در مدل‌سازی ویژگی‌های هواشناسی مناسب است و می‌توان از آن در شبیه‌سازی داده‌ها برای دوره آینده استفاده نمود. توانایی بالای مدل LARS-

جدول ۵- ریشه میانگین مربعات خطای مدل‌های گردش عمومی در شبیه‌سازی دما و بارش در دوره پایه

Table 5- Root mean squares error of general circulation models in temperature and precipitation simulation in baseline period

مدل‌های گردش عمومی General circulation models	GFCM2.1	HadCM3	INCM3	IPCM4	MPEH5	NCCCSM
دما Temperature	7.9	2.4	3.1	2.7	0.59	3.3
بارش Precipitation	1.15	0.76	0.77	0.79	0.28	0.6
میانگین خطا Mean error	4.5	1.59	1.94	1.78	0.43	1.95

جدول ۶- نتایج آزمون‌های t و F در سطح احتمال ۵ درصد

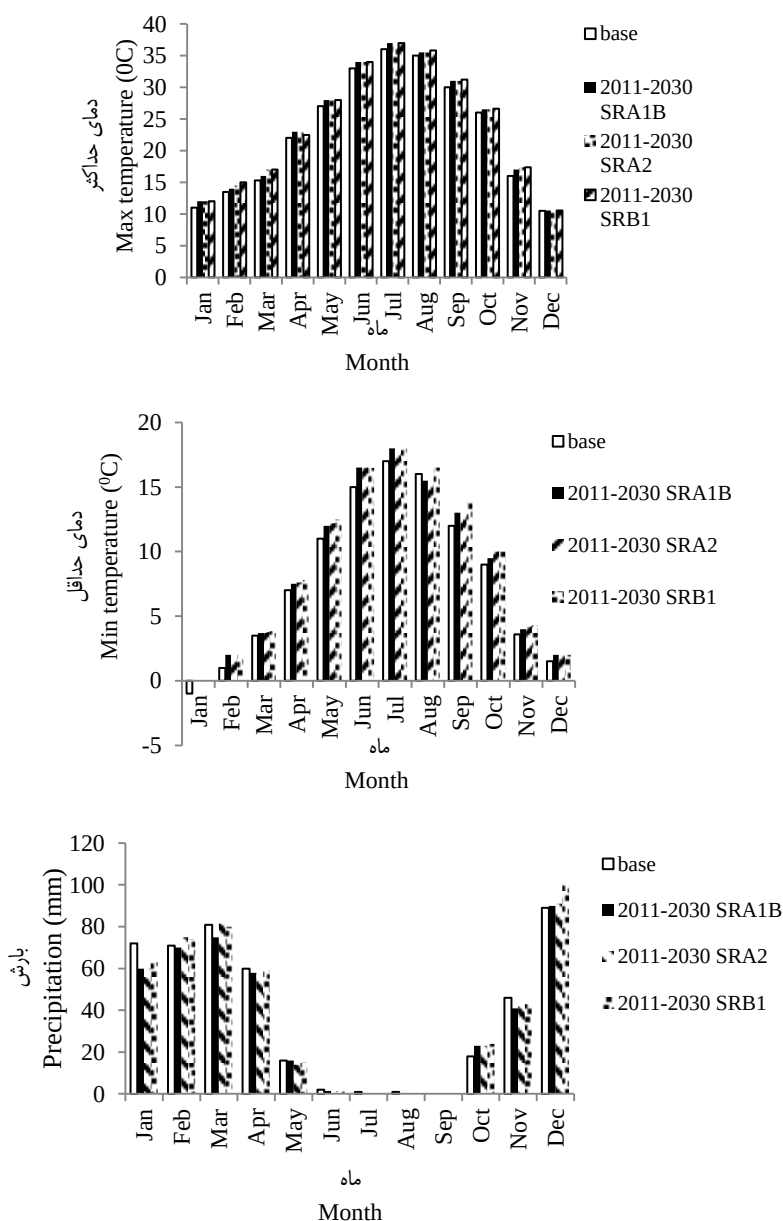
Table 6- Results of t and F tests at 5% probability level

ویژگی اقلیمی Climatic feature	میانگین بارش ماهانه Average Monthly Precipitation	واریانس بارش ماهانه Monthly Precipitation variances	میانگین ماهانه دمای حداقل Monthly average minimum temperature	میانگین ماهانه دمای حداکثر Average monthly maximum temperature
آزمون آماری (Statistical test)	t-test	F-test	t-test	t-test
ماه شمسی Solar month	ماه میلادی Christian month			
بهمن (January)	0.99	0.17	0.52	0.29
اسفند (February)	0.99	0.34	0.9	0.29
فروردین (March)	0.55	0.21	0.18	0.91
اردیبهشت (April)	0.37	0.52	0.34	0.77
خرداد (May)	0.33	0.71	0.038	0.43
تیر (June)	0.34	0.74	0.23	0.84
مرداد (July)	0.15	0.22	0.25	0.83
شهریور (August)	0.34	0.09	0.6	0.13
مهر (September)	0.09	0.64	0.29	0.3
آبان (October)	0.49	0.56	0.69	0.79
آذر (November)	0.61	0.55	0.48	0.14
دی (December)	0.42	0.83	0.39	0.44

مقایسه سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2، A1B و B1)

با توجه به جدول ۷ در ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی در مقایسه با دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۱/۴۱، ۱/۳۵ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 افزایش، میانگین ماهانه بارش به مقدار ۱۱ و ۱۵ میلی‌متر به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1

کاهش خواهد یافت. مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) دمای حداکثر و حداقل، بارش و تشعشع در سناریوهای A2، A1B و B1 با میانگین ماهانه مقادیر در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰) در شکل ۱ نشان داده شده است که در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش دما مشاهده شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده دمای حداکثر و حداقل و بارش (۲۰۱۱-۲۰۳۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۱۰)
Figure 1- Comparison of the monthly average of simulated maximum and minimum temperature and precipitation (2011-2030) compared to the base period (1979-2010)

تغییر اقلیم دوره رشد گیاهان کوتاه‌تر خواهد شد که به نوع گیاهی و شدت تغییر اقلیم بستگی دارد (Ma et al., 2017; Ding et al., 2016). نتایج تحقیق ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر گندم در دوره آماری ۲۰۷۱-۲۱۰۰ میلادی در شمال و مرکز تونس نشان داد که طول دوره رشد گندم کاهش می‌یابد (Lhomme et al., 2009). در تحقیقی دیگر نیز نشان داده شد که تحت تغییر اقلیم در آینده، طول دوره کاشت تا گلدهی و همچنین طول دوره رسیدگی ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در سناریوهای مورد استفاده کاهش خواهد یافت (Moradi et al., 2013). در پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) نشان داده شد که دوره رشد گیاه در اثر افزایش دما ۱۰ تا ۱۳ درصد کاهش می‌یابد (Soltani and Gholipoor, 2006). در تحقیقی دیگر تأثیر تغییر اقلیم بر چغندر قند (*Beta vulgaris*) در ایران مشاهده شد که افزایش میانگین دما در طی کل فصل رشد چغندر قند باعث کاهشی معادل ۱۵ درصد در طول دوره کاشت تا رسیدگی گیاه می‌شود (Koocheki and Nassiri, 2016).

اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ماده خشک گیاه ذرت

عملکرد دانه و ماده خشک شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دوره آینده در تیمارهای مختلف به‌ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. متوسط عملکرد در دوره پایه ۵۴۹۷ کیلوگرم بر هکتار، در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در سناریوهای A2، A1B و B1 به‌ترتیب ۵۱۴۶، ۴۶۴۰ و ۵۰۵۴ کیلوگرم بر هکتار و در دوره (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در سناریوهای A2، A1B و B1 به‌ترتیب ۴۸۵۸، ۴۷۵۵ و ۴۸۳۷ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. متوسط ماده خشک در دوره پایه ۱۳۰۴۸ کیلوگرم بر هکتار، در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در سناریوهای A2، A1B و B1 به‌ترتیب ۱۰۷۱۲، ۱۰۱۷۱ و ۱۰۵۱۴ کیلوگرم بر هکتار و در دوره (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در سناریوهای A2، A1B و B1 به‌ترتیب ۱۰۵۹۰، ۱۰۶۱۲ و ۱۰۶۷۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم موجب کاهش عملکرد و ماده خشک ارقام ذرت در منطقه دشت مغان خواهد شد.

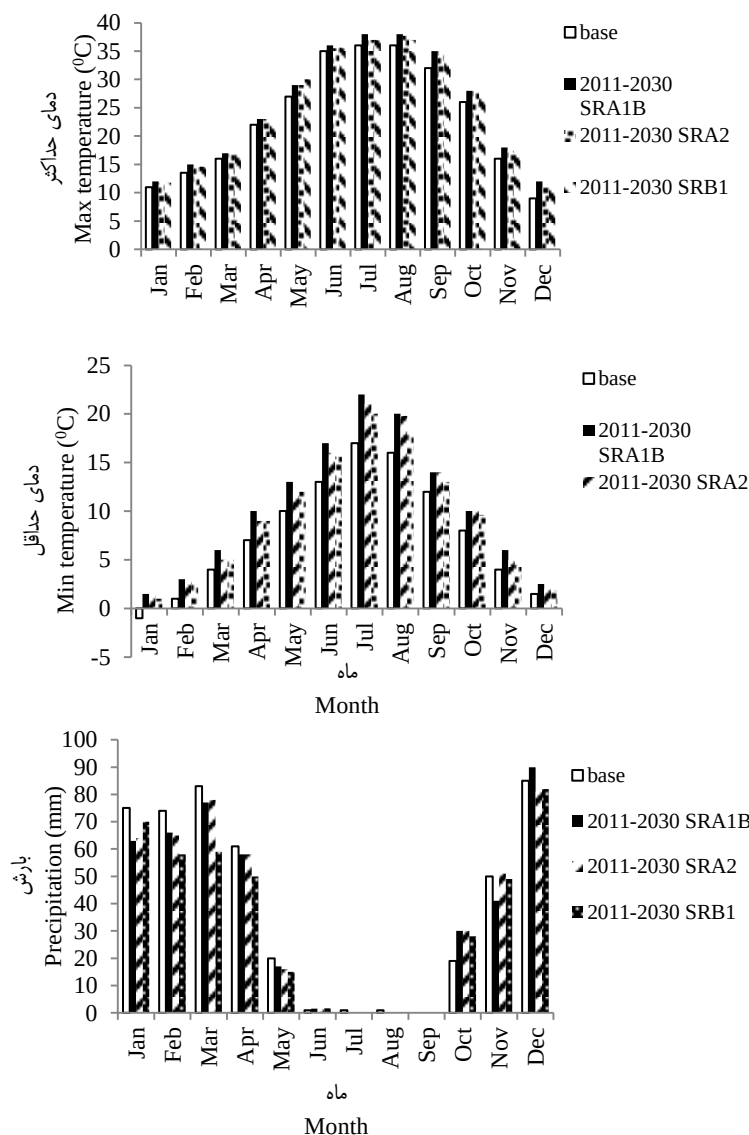
با توجه به جدول ۷ در دوره آماری ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۲/۹، ۲/۶۹ و ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 افزایش خواهد یافت. همچنین در طی این دوره، مقدار کاهش بارندگی به مقدار ۱۸، ۱۵ و ۱۴ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 پیش‌بینی شد.

در شکل ۲ مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) دمای حداکثر و حداقل و بارش در سناریوهای A2 و B1 با میانگین ماهانه مقادیر در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) نشان داده شده است. نتایج نشان داد در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در تمام ماه‌ها دما نسبت به دوره پایه دما افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده، دما در دوره‌ی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره‌ی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) بیشتر افزایش داشت که نشان‌دهنده افزایش دما در اثر تغییر اقلیم می‌باشد. در دوره‌ی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش دمای بیشتری را نشان داد. در دوره‌ی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) سناریوی A1B نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش دمای بیشتری را نشان داد. بارش در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در هر سه سناریو کاهش نشان داد، بنابراین بارش در اثر تغییر اقلیم در حال کاهش است که سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی دیگر دارای کاهش بارش بیشتری است. افزایش دما و کاهش بارش در اثر تغییر اقلیم در آینده در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است (Mesbahboani et al., 2005; Zarghami et al., 2011).

نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ویژگی‌های گیاهی

اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد ذرت

در جدول ۸ طول دوره رشد ذرت در دوره پایه ۱۹۸۰-۲۰۱۰ و دوره آینده ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در ارقام مختلف ذرت ارائه شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی در ارقام، طول دوره رشد ذرت تحت اقلیم آینده کاهش پیدا می‌کند. متوسط دوره رشد در دوره پایه ۱۲۲ روز، در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در هر سه رقم ذرت ۱۱۹ روز و در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در هر سه سناریو ۱۱۶ روز به‌دست آمد. کاهش طول دوره رشد ارقام ذرت در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بیشتر از دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بود. نتایج تحقیقات مختلف نیز نشان داد که در شرایط



شکل ۲- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده دمای حداکثر و حداقل و بارش (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره پایه
 Figure 2- Comparison of the average monthly simulated maximum and minimum temperature and rainfall (2046-2065) compared to the base period

را برای تغییر اقلیم آینده در منطقه مغان توصیه نمود. افزایش دما و کاهش بارندگی سبب خواهد شد گیاه در مدت زمان کمتری مراحل رشد فنولوژیک خود را پشت سر بگذارد و همین امر موجب کاهش محصول و عملکرد آن، در نتیجه به هم خوردن توازن مراحل رشد فنولوژیک خواهد شد و در نهایت کاهش عملکرد و بیوماس کل ارقام ذرت در اثر تغییر اقلیم در آینده در منطقه مغان رخ خواهد داد.

Moradi et al. (2013) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت در منطقه مشهد به نتایج مشابهی دست یافتند و کاهش عملکرد ذرت تحت اقلیم آینده مشهد را ناشی از کاهش طول دوره رشد گزارش کردند.

کاهش عملکرد در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۱۶ و ۹ درصد و در دوره (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب ۲۲، ۱۲ و ۱۸ درصد است. کاهش ماده خشک در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۴ و ۷ درصد و در دوره (۲۰۴۶-۲۰۶۵) در سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب ۱۳، ۱۴ و ۱۲ درصد است. به طور کلی نتایج نشان داد که سناریوی B1 در مدل گردش عمومی HadCM3 نسب به دیگر سناریوها دارای کمترین کاهش عملکرد در مقایسه با شرایط کنونی بود (جدول ۹ و ۱۰). در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده می‌شود که رقم ۷۰۴ نسبت به سایر ارقام ذرت دارای کاهش رشد و عملکرد کمتری نسبت به رقم‌های دیگر می‌باشد و می‌توان این رقم

جدول ۸- طول دوره رشد ارقام ذرت در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) و دوره‌های آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

Table 8- Growth period of corn cultivars during the base period (1980-89) and future periods (2011-2030) and (2046-2065)

واریته Variety	طول دوره رشد ۱۹۸۰-۲۰۱۰	طول دوره رشد ۲۰۱۱-۲۰۳۰			طول دوره رشد ۲۰۴۶-۲۰۶۵		
	Growth period (day)	Growth period (day)			Growth period (day)		
	1980-2010	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
SC705	120	119	119	118	115	115	116
SC704	120	117	177	116	114	114	114
SC703	125	122	122	120	118	118	119
متوسط (Average)	122	119	119	118	116	116	116
SR: سناریو							

جدول ۹- عملکرد دانه ارقام ذرت در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) و دوره‌های آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

Table 9- Grain yield of maize cultivars during the base period (1980-1989) and future periods (2030-2011) and (2046-2065)

واریته Variety	متوسط عملکرد ۱۹۸۰-۲۰۱۰	متوسط عملکرد ۲۰۱۱-۲۰۳۰			متوسط عملکرد ۲۰۴۶-۲۰۶۵		
	Average yield (kg.ha ⁻¹)	Average yield (kg.ha ⁻¹)			Average yield (kg.ha ⁻¹)		
	1980-2010	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
SC705	5515	5098	4850	5008	5035	4770	5050
SC704	5657	5161	5132	5069	5354	5364	5395
SC703	5321	5180	3939	5085	4121	4131	4130
متوسط (Average)	5497	5146	4640	5054	4837	4755	4858
SR: سناریو							

جدول ۱۰- بیوماس کل ارقام ذرت در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) و دوره‌های آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

Table 10- Biomass of maize cultivars during the base period (1980-1989) and future periods (2030-2011) and (2046-2065)

واریته Variety	متوسط بیوماس کل ۱۹۸۰-۲۰۱۰	متوسط بیوماس کل ۲۰۱۱-۲۰۳۰			متوسط بیوماس کل ۲۰۴۶-۲۰۶۵		
	Average yield (kg.ha ⁻¹)	Average yield (kg.ha ⁻¹)			Average yield (kg.ha ⁻¹)		
	1980-2010	SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
SC705	12052	10600	10182	10406	10607	10682	10691
SC704	14038	10793	10683	10591	11115	11138	11205
SC703	13055	10742	9648	10545	10047	10071	10124
متوسط (Average)	13048	10712	10171	10514	10590	10612	10673
SR: سناریو							

حساس رشد ذرت مثل تولید تاسل و ابریشم منجر به کاهش عملکرد ذرت در این شرایط می‌گردد. (Daccache et al. (2011 با بررسی

Richard et al. (2015) گزارش کردند که افزایش دما به‌طور غیر مستقیم و از طریق تاثیر بر طول مراحل فنولوژیکی و نیز مراحل

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که، در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۱/۴۱، ۱/۳۵ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 افزایش، میانگین ماهانه بارش به مقدار ۶، ۱۱ و ۱۵ میلی‌متر به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 کاهش خواهد یافت و در دوره آماری ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۲/۹، ۲/۶۹ و ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 افزایش خواهد یافت. همچنین در طی این دوره، مقدار کاهش بارندگی به مقدار ۱۸، ۱۵ و ۱۴ میلی‌متر به ترتیب در سناریوهای A2، A1B و B1 پیش‌بینی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل ارقام ذرت تحت تاثیر مدیریت‌های آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop نشان داد که متغیرهای آماری ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه و ماده خشک در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، به ترتیب ۴۱۳ و ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و ماده خشک به ترتیب ۱۱ و ۱۰ درصد به دست آمد. همچنین با استفاده از داده‌های هواشناسی آینده مغان، طول دوره رشد هر سه رقم تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم کاهش یافت که کاهش طول دوره رشد سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سینگل کراس ۷۰۳ و ۷۰۵ کمتر بود. علاوه بر این، عملکرد در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۱۶ و ۹ درصد و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب ۲۲، ۱۲ و ۱۸ درصد کاهش یافت. همچنین کاهش ماده خشک در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۴ و ۷ درصد و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب ۱۳، ۱۴ و ۱۲ درصد بود. بنابراین در اقلیم آینده مغان که با افزایش دما و کاهش بارندگی مواجه خواهد شد کشت گیاهان پرمصرف از نظر نیاز آبی توصیه نمی‌گردد و در مورد ذرت به‌خاطر مقاوم بودن به گرما بهتر از ارقام سازگار به شرایط آینده مغان استفاده کرد که در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده شد که ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر ارقام ذرت دارای کاهش طول دوره رشد، عملکرد دانه و زیست‌توده کمتری نسبت به رقم‌های دیگر بود و می‌توان این رقم را برای تغییر اقلیم آینده در منطقه مغان پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از کمک‌های بی‌دریغ آقایان مهندس حسین سمندر و پیمان رستمی در زمینه اجرای کارهای مزرعه‌ای کمال سپاسگزاری را دارند.

تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی گیاهان گندم و ذرت نتیجه گرفتند که بالا رفتن دما باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه می‌شود و این خود باعث زودرس شدن این محصولات و در نتیجه کاهش دوره رشد و عملکرد دانه و زیست‌توده می‌شود. (Soleymani, Nanadegani et al., 2011) با بررسی رخدادهای پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه در منطقه بهشهر به این نتیجه رسیدند که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم بین ۱ تا ۳۱ روز افزایش و طول دوره رشد گیاه بین ۲ تا ۲۹ روز کوتاه‌تر خواهد شد که این امر موجب تقلیل عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه خواهد شد. (Li et al., 2011) با شبیه‌سازی عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت برای یک دوره سه ساله توسط مدل AquaCrop نتیجه گرفتند که مدل به خوبی تغییرات عملکرد ذرت را در اثر تغییرات بارندگی و درجه حرارت شبیه‌سازی می‌کند. داده‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت با افزایش درجه حرارت از حد مطلوب و کاهش بارندگی به تدریج کاهش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل مذکور برای پیش‌بینی عملکرد ذرت در سناریوهای اقلیمی مشابه با منطقه مورد بررسی قابل کاربرد است. در تحقیقی در زمینه شبیه‌سازی تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در مشهد نشان داده شد که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد دانه گندم تا ۳۰ درصد خواهد شد (Koocheki et al., 2006). در تحقیقی دیگر در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران مشاهده شد که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر قند در مناطق مختلف کشور در اثر تغییر اقلیم کاهش خواهند یافت (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2016). در تحقیقی (Chen et al., 2012) تأثیر تغییر اقلیم را در استان شان دانگ از کشور چین بر روی ذرت تابستانه مورد بررسی قرار دادند، آنها گزارش کردند که در اقلیم آینده چین افزایش دما و کاهش بارندگی را خواهیم داشت و برای مقابله با این پدیده، استفاده از ارقام سازگار ذرت و کم‌آبی را بهترین استراتژی گزارش کردند. همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که عملکرد ذرت ارقام مورد بررسی به‌ویژه ارقام بومی نسبت به سایر ارقام تحت اقلیم آینده چین (که با افزایش دما مواجه خواهد شد) به دلیل کوتاه‌تر شدن فصل رشد کاهش می‌یابد. (Li et al., 2011) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر ذرت در دو کشور ایالت متحده آمریکا و چین گزارش کردند که مدل AquaCrop توانایی پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده را به خوبی دارد و تحت اقلیم آینده دو کشور مورد بررسی کاهش عملکرد ذرت و طول دوره رشد را خواهیم داشت که این امر به دلیل افزایش دما، کاهش بارندگی و افزایش دی‌اکسید کربن جو خواهد بود.

References

1. Abkar, A., Habibnadjad, M., Solaimani, K., and Naghavi, H. 2013. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi-arid regions. *Water and Irrigation Engineer Journal* 4 (14): 1-17. (in Persian).
2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. "Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements", Irrigation and Drainage paper no. 56. FAO, Rome, 1998.
3. Ansari, H., Khadivi, M., Salehnia, N., and Babaeian, I. 2015. Evaluation of Uncertainty LARS Model under Scenarios A1B, A2 and B1 in Precipitation and Temperature Forecast (Case Study: Mashhad Synoptic Stations). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 4 (8): 664-672. (in Persian).
4. Ashraf, B., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., and Bannayan Awal, M. 2014. Verification of Temperature and Precipitation Simulated Data by Individual and Ensemble Performance of Five AOGCM Models for North East of Iran. *Journal of Water and Soil* 28 (2): 253-266. (in Persian).
5. Babalola, O. S., and Akinsanola, A. A. 2016. Change Detection in Land Surface Temperature and Land Use Land Cover over Lagos Metropolis, Nigeria. *Journal of Remote Sensing* 5: 2-19.
6. Chen, G., Liu, H., Zhang, J., Liu, Peng, and Dong, S. 2012. Factors affecting summer maize yield under climate change in Shandong Province in the Huanghuaihai Region of China. *International Journal of Biometeorology*. 56: 621-629.
7. Daccache, A., Weatherhead, E. K., Stalham, M. A., and Knox, J. W. 2011. Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. *Journal of Agriculture and Forest Meteorology* 151(7):1641-1653.
8. Ding, D., Feng, H., Zhao, Y., Liu, W., Chen, H., and He, J. 2016. Impact assessment of climate change and later-maturing cultivars on winter wheat growth and soil water deficit on the Loess Plateau of China. *Climate Change* 138: 157-171.
9. Doorenbos, J., and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage paper no.33. FAO, Rome.
10. Hajarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Sayyedi, F. 2013. Simulating the impact of climate change on production of Chickpea in rainfed and irrigated condition of Kermanshah. *Journal of Plant Production* 20 (2): 235-252. (in Persian).
11. Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson A. M., and Wolfe, D. 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal* 103: 351-370.
12. Heydarinia, M., Nasery, A. A., and Borumand, S. 2012. Investigating the applicability of Aqua Crop model in plantation of sunflower irrigation in Ahvaz. *Journal Mngement System* 5 (4): 37-50. (in Persian).
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Available online: http://ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml (accessed on 20 April 2016).
14. Jacovides, C. P., and Kontoyiannis, H. 1995. "Statistical procedures for the evaluation of Evapotranspiration computing models". *Agricultural Water Management* 27: 365-371.
15. 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).
16. Koocheki, A., Nassiri, M. Soltani, A. Sharifi, H., and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Journal of Climate Research* 14: 247-253.
17. Lhomme, J. P., Mougou, R., and Mansour, M. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Climate Change* 96 (4): 549-564.
18. Li, X., Takahashi, T., Suzuki, N., and Kaiser, H. M 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems* 104: 348-353.
19. Ma, L., Ahujaa, L. R., Islamb, A. T. J., Troutc, S. A., Saseendrand, R., and Malonee, W. 2017. Modeling yield and biomass responses of maize cultivars to climate change under full and deficit irrigation. *Agricultural Water Management Journal* 180: 88-98.
20. Mesbahboani, A. R., and Morid, S. 2005. Climate change effects on water resources and agricultural production. Case study: Isfahan Zayandeh-Doud Basin. *Iranian Water Resources Research Journal* 1 (4): 40-47. (in Persian).
21. Moradi, R, Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2013. Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 3 (4):111-131. (in Persian).
22. Nasiry, Sh., Shamsnia, A., and Aflatuni, M. 2014. Simulation of yield in wheat field using Aqua Crop model (Case study: Chaharmahal-Bakhtiari: Shahrekord, Borujen areas). 2sd National Conference on Water Crisis, Shahrekord University. April 8-9, 2014.
23. Raymond, C. L., Peterson, D. L., and Rochefort, R. M. 2014. Climate Change Vulnerability and Adaptation in the North Cascades Region, Washington; General Technical Report-Pacific Northwest Research Station; USDA Forest Service: Washington, DC, USA, 2014; pp. 1-279.

24. Richard, C., Sicher, K., and James, A. 2015. The Impact of Enhanced Atmospheric CO₂ Concentrations on the Responses of Maize and Soybean to Elevated Growth Temperatures. Springer International Publishing Switzerland 2015. Food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environment Change 14: 53-67.
25. Rootaei, M., Sohrabi, T., Massah Bavani, A., and Ahadi, M. S. 2012, "Risk Evaluation of Biomass Yield of Corn Affected by Climate Change", Journal of Water Research in Agriculture 26 (4): 425-438. (in Persian).
26. Roustaei, M., Sohraby, T., Mesbah Boani, A., and Ahadi, M. S. 2011. Risk assessment of maize biomass yield under the influence of climate change (Case study: Pakdasht, Iran). 1st National Conference on Meteorology and Water Management. November 5-6, 2011. 11 pages. (in Persian).
27. Roustaei, M., Sohraby, T., Mesbah Boani, A., and Ahadi, M. S. 2012. Risk assessment of maize biomass yield under the influence of climate change. Journal of Water Research in Agriculture 4 (26): 425-438. (in Persian).
28. Sayari, N., Alizadeh, A., Banayan, M., Farid Hoseiny, A., and Hesami Kermani, M. R. 2011. Investigation of drought trend under climate change conditions in Kashfrud basin in future periods using model of HadCM3 and two scenarios of A2 and B2. Journal of Climatology 2 (7-8): 22-42. (in Persian).
29. Soleymani Nanadegani, M., Parsinejad, M., Araghinejad, Sh., and Massah Bavani, A. 2011. Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rainfed Wheat (Case Study: Behshahr). Journal of Water and Soil 25 (2): 389-397. (in Persian).
30. Soltani, A., and Gholipoor, M. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. Journal of Agriculture Science and Nature Resources 13 (2): 1-11. (in Persian).
31. Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L., Izzi, G., and Hoogeveen, J. 2005. "AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions". Options Méditerranéennes. 80: 202-214.
32. Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L., Izzi, G. and Hoogeveen, J. 2015. "AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions". Options Méditerranéennes 80: 220-230.
33. Steduto, P., Raes, T., Hsiao, T. C. Fereres, E., Heng, L., Izzi, G., and Hoogeveen, J. 2009. AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions. Options Meditteranennes 80: 285-292.
34. Tacarindua, C. R., Shiraiwa, T., Homma, K., Kumagai, E., and Sameshima, R. 2013. The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. Field Crops Research 154 (1):74-81.
35. Vatankhah Sadat, A. 2009. Feasibility regions cultivation of citrus in Prsabad Moghan. M.Sc., Thesis. Azad University, Ahar branch, 95 p.
36. Wilcox, J., and Makowski, D. 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yield using simulation studies. Field Crops Research 156 (2): 180-190.
37. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y., and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. Global and Planetary Change 78: 137-146.



Simulation the Effect of Climate Change on Growth Period and Yield of three Hybrids of Maize (*Zea mays*) under Low Irrigation Conditions (Case study: Moghan Plain)

A. A. Rostami Ajirloo^{1*}, M. R. Asgharipour², A. Ganbari³, M. Joudi⁴, M. Khoramivafa⁵

Received: 21-04-2018

Accepted: 21-07-2018

Introduction: According to the present state of climate science, the increase in greenhouse gas concentrations will result in changes of the climate parameters; particularly, an increase of the global temperature and changes in precipitation are expected. These changes in climate, which are likely to occur during future decades, may have significant consequences (positive or negative) on the development, growth, and crops yield. Climate change and its impacts on water resources is known as one of the most important challenges which human would be faced with it in future century. Future climate change in each region can be predicted through the models of the Global Circulation Model (GCM). It is also possible to investigate the effect of climate change on the yield and the water requirement of plants using performance predictive models as AquaCrop model. The main objective of this study is to assess the effect of climate change on the future climate of Moghan plain and also, simulation three corn hybrids parameters such as grain yield, biomass yield and growth period of corn, under different irrigation treatments.

Materials and Methods: In this study, AquaCrop model was used to simulate grain yield and biomass of different maize hybrids under the future climate in different irrigation treatments. For this purpose, rainfall data, minimum temperature, maximum temperature and sunshine model of the LARS-WG fine-scale model with using six general circulation models (ADCM3, HadCM3, IPCM4, GFCM2, NCCCSM INCM3), for which three scenarios the fourth report of the Climate Change Board (A1B, A2, and B1) was predicted and reviewed for the Moghan region during 1970-2010, 2011-2030 and 2046-2065. AquaCrop model was calibrated and validated by field data (2015 and 2016 year), corn plants collected in the area. Then, the grain and biomass yield values in the upcoming periods for different irrigation treatments (I1 = normal irrigation, I2 = irrigation cut off at vegetative growth stage, I3 = irrigation cut during flowering stage and I4 = irrigation cut off at the seed filling stage) different maize hybrids (C1 = SC704, C2 = SC703 and C3 = SC705).

Results and Discussion: According to the results, in the statistical period of 2011-2030 compared base periods (1970-1999), the average monthly temperature was 1.41, 1.35, and 1.66 °C, respectively for scenarios A1B, A2, and B1. Also, the average monthly rainfall will be reduced to of 6, 11 and 15 mm, respectively, for scenarios A1B, A2 and B1, and during 2046-2065 periods, compared to period of 1979-2010. Furthermore, the monthly average of the temperature will be increased to 2.9, 2.69 and 2.32 °C respectively, for scenarios A1B, A2 and B1. During this period, the amount of rain reduction was estimated at 18, 15 and 14 millimeters, respectively, in scenarios A1B, A2, and B1. The results of simulation of grain yield and total biomass of maize cultivars under the influence of irrigation administrations using AquaCrop model showed that the root mean square variables of seed and dry matter yield errors in years 2015 and 2016 were 413 and 891 kg.ha⁻¹. The root mean square mean of normalized error of seed and dry matter yield was 11 and 10%, respectively. Also, with using future meteorological data under different scenarios was observed that growth period, grain yield and biomass yield during 2011-2030 and 2046-2065 periods for three scenarios A2, B1 A1B were decreased. Among the cultivars studied, Hybrid SC704 corn had more growth and yield than other corn hybrids, and this figure could be recommended for future climate change for Moghan area.

Conclusions: Future meteorological data under different scenarios of climate change will decrease growth period, grain yield and biomass yield during 2011-2030 for scenarios A1B, A2 and B1, respectively, 7 %, 16 % and 9%, and during period 2045-2065 for scenarios A1B, A2 and B1, respectively, 13 %, 14 % and 12 percent.

1- PhD of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University

2 and 3- Associate Professor and Professor of Agroecology Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University

4- Associate Professor, Meshgin-shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili

5- Assistant Professor of Agroecology, Razi University of Kermanshah

(*- Corresponding Author Email: abasat.rostami@yahoo.com)

Among the cultivars studied, the growth period of SC 704 hybrid was higher for all three scenarios than other hybrids and it has more growth and yield, therefore can recommended to change future climate for Moghan region.

Keywords: AquaCrop model, Climate, Drought stress, Water crisis



تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید بر کارایی مصرف آب در جو در شرایط قطع آبیاری

عباس ابهری^۱، اسماعیل قلی نژاد^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۴

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید بر کارایی مصرف آب و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی جو در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزارع کینور واقع در شهرستان سبزوار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در دو سطح قطع آبیاری (قطع آبیاری از مرحله آبستنی (کد ۴۹ زادوکس) تا برداشت) و آبیاری کامل و تیمار محلول پاشی سالیسیلیک اسید در چهار سطح صفر (شاهد)، دو، چهار و شش میلی مولار در مرحله ساقه‌دهی (کد ۳۹ زادوکس) روی جو اجرا شد. نتایج نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری بیشترین تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در متر مربع به ترتیب در تیمار محلول پاشی دو تا شش میلی مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد بود. کمترین کارایی مصرف آب (۰/۳۸) در شرایط قطع آبیاری و بدون مصرف سالیسیلیک اسید حاصل شد و با مصرف سالیسیلیک اسید تا شش میلی مولار کارایی مصرف آب افزایش یافت. همچنین با افزایش مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، کارایی مصرف آب افزایش بیشتری یافت. کمبود آب از یک طرف با تأثیر بر ساختار غشای سلول سبب افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌ها و ماکرو مولکول‌ها شد (نشت الکترولیت برگ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۵۸ بود) و از طرف دیگر، با افت شاخص کلروفیل، فتوسنتز را کاهش داد که در نهایت کاهش عملکرد و اجزای آن را به همراه داشت. از طرفی، اسید سالیسیلیک موجب تعدیل تنش خشکی از طریق کاهش نشت یونی (عدم مصرف و مصرف سالیسیلیک اسید شش میلی مولار در شرایط قطع آبیاری به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۸ بود)، افزایش غلظت پروتئین و شاخص کلروفیل در نتیجه بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل گردید.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، قطع آبیاری، نشت الکترولیت

مقدمه

کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2016). تنش خشکی اثرات اسمزی و فیزیولوژیکی بر گیاهان دارد که نتیجه آن کاهش رشد، اختلالات متابولیکی و تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان است. گیاهان مختلف راهکارهای متعددی برای مقابله با تنش خشکی به کار می‌برند. کاربرد خارجی ترکیبات متفاوت مانند محلول‌های آلی و مواد معدنی یک راهکار برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان است (Ashraf et al., 2011). سالیسیلیک اسید یک تنظیم‌کننده درونی رشد گیاه است که بر واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی گسترده‌ای در رشد و توسعه گیاه تأثیرگذار است (Hayat et al., 2010).

سالیسیلیک اسید به عنوان یک شبه‌هورمون گیاهی شناخته شده و نقش آن در ارتباط با سازوکارهای دفاعی در برابر عوامل تنش‌زای زیستی و غیر زیستی به خوبی مشخص شده است (Hayat, 2005). همچنین بازدارنده فعالیت آنزیم کاتالاز که آنزیم پاکسازی‌کننده پراکسید هیدروژن است بوده و در نتیجه با کاهش فعالیت این آنزیم سبب افزایش پراکسید هیدروژن در گیاه می‌شود

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و بیشترین سازگاری و تحمل به خشکی را نسبت به سایر غلات دارد همچنین مانند دیگر غلات تأمین‌کننده نیاز غذایی بشر و حیوانات است و استفاده از آن به عنوان یک منبع سرشار از نشاسته مورد نظر بوده است (Yousefirad et al., 2015). جو با دامنه وسیع اکولوژیکی و با سطح زیر کشت ۴۶/۹۲ میلیون هکتار و تولید ۱۴۱/۲۷ میلیون تن با میانگین عملکرد دانه ۳۰۱۰ کیلوگرم در هکتار، چهارمین غله مهم بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، ذرت (*Zea mays*) و برنج (*Oryza sativa*) در جهان است. میانگین سطح زیر کشت و میزان تولید سال‌های اخیر در ایران به ترتیب ۱/۶۱ میلیون هکتار و ۲/۹ میلیون تن با میانگین عملکرد دانه ۱۸۰۴

۱- استادیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(Email: gholinezhad1358@yahoo.com)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.73912

راهبرد کم آبیاری و آبیاری کامل روی ارقام سویا (*Glycine max*) نشان داده است که اگر تولیدکننده از روش کم آبیاری استفاده کند، در مصرف آب صرفه جویی شده و با افزایش سطح زیر کشت، تولید کل افزایش می یابد (Kiani, 2010). تنش خشکی بر فعالیت های فیزیولوژیکی گیاه تاثیر گذاشته و از رشد و تقسیم سلولی ممانعت می کند و سبب کاهش عملکرد در گیاهان می شود. بنابراین استفاده از موادی مثل سالیسیلیک اسید که بتواند اثرات تنش خشکی را کاهش دهد دارای اهمیت است. هدف از این آزمایش تاثیر سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی جو می باشد. بنابراین در این مطالعه با مصرف سالیسیلیک اسید و تاثیر برخی ویژگی ها و خصوصیات فیزیولوژیکی و بهبود این شاخص ها در شرایط قطع آبیاری و تاثیر آن بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، شناخت بهترین تیمار موثر در زمینه کارایی مصرف آب مورد نظر بود.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزارع کینور واقع در شهرستان سبزوار انجام شد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۱۹۵ متر بوده و در ۳۶ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. تیمارها شامل آبیاری در دو سطح قطع آبیاری (قطع آبیاری از مرحله آبستنی^۱ (کد ۴۹: زادوکس) تا برداشت) و آبیاری کامل و تیمار محلول پاشی سالیسیلیک اسید در چهار سطح صفر، دو، چهار و شش میلی مولار در مرحله ساقه دهی (کد ۳۹: زادوکس) روی جو رقم ریحان اجرا شد. این رقم خاص مناطق معتدل و با عملکرد متوسط ۲ الی ۴ تن در هکتار می باشد. قبل از کاشت نمونه گیری از خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر انجام و کودپاشی بر اساس نتایج آزمون خاک (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۷۵ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 و ۷۰ کیلوگرم در هکتار پتاس) انجام گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است. کاشت در ۲۷ آبان ماه سال ۱۳۹۶ صورت گرفت طول هر کرت سه متر و عرض هر کرت دو متر و دارای ۱۰ خط کاشت بود. کاشت در خطوطی با فاصله ۱۵ سانتی متر انجام شد. متوسط فاصله بذر ها در هر خط کاشت دو تا سه سانتی متر و بین کرت های مختلف ۳۰ سانتی متر فاصله بود. در ۲۵ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ پس از حذف حاشیه از خطوط وسط هر کرت به مساحت یک متر مربع برای محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد دانه برداشت گردید سپس نمونه ها در آون به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه

(Horvath et al., 2007). سالیسیلیک اسید یکی از مولکول های سیگنال دهنده مهم است که باعث عکس العمل گیاه در برابر تنش های محیطی می شود. این ماده همانند یک آنتی اکسیدانت غیر آنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاه ایفا می کند (Arfan et al., 2007). ترکیب شبه هورمونی سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی است که در گیاهان به وسیله سلول های ریشه تولید می شود. این ماده در گیاهان در مقادیر کم (میلی گرم بر گرم وزن تر یا کمتر) وجود دارد (Raskin, 1992). در تحقیقی پاک مهر و همکاران (Pak Mehr et al., 2015) بیان کردند که پرایمینگ با سالیسیلیک اسید، میزان کلروفیل را افزایش داد. ولی در بالاترین سطح غلظت به کار رفته و به خصوص در شرایط تنش میزان کلروفیل برگ در مقایسه با تیمار ۲۷۰۰ میکرو مولار کاهش یافت. نتایج این آزمایش نشان داد که گیاهان حاصل از بذر های پرایم شده با سالیسیلیک اسید از طریق افزایش محتوای نسبی آب، شدت تعرق، هدایت روزنه ای و شاخص کلروفیل برگ گیاه، توانستند سرعت فتوسنتز را در شرایط عادی و تنش بهبود بخشند. زرگریان و همکاران (Zargherian et al., 2016) در نتایج خود عنوان کردند یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی پاسخ دهنده به کم آبی محتوای نسبی آب برگ است. مطابق با نتایج حاصل از این تحقیق با افزایش شدت کم آبی در ریحان محتوای رطوبت نسبی برگ کاسته شد و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. نتایج به دست آمده از تحقیق خیرخواه و همکاران (Kheirkhah et al., 2016) نشان داد تمام تیمارهای محلول پاشی مواد ضد تنش اعم از سالیسیلیک اسید، تیوفول و گلیسین در غلظت های مختلف باعث افزایش در میزان صفات کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris*) اعم از عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد شکر سفید شد. رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2010) نشان دادند که افزایش قندهای محلول و نامحلول و کاهش آنزیم های اکسیدازی توسط اسید سالیسیلیک در شرایط تنش نشان دهنده تاثیر این ترکیب در آسیب های اکسایشی می باشد. تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش کمی و کیفی در گیاهان است. در تحقیقی مشاهده شده است که تیمار سالیسیلیک اسید، آنزیم های هیدرولیز کننده پلی ساکارید را مهار کرده و تشکیل پلی ساکاریدها از قندهای محلول را سرعت می بخشند. با این فرض، سالیسیلیک اسید میزان قندهای غیر محلول را نسبت به قندهای محلول افزایش می دهد (Borsanio and Botella, 2001). با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب گندم بر حسب عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش کاهش یافت (Ezzat Ahmadi et al., 2010). به طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می شود؛ به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط رطوبتی مطلوب، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می کند (Shabiri et al., 2006). مقایسه دو

نشت الکترولیت مواد از برگ‌ها به روش والتوویک و همکاران (Valentovic et al., 2006) و در مرحله رسیدگی عملکرد و اجزای عملکرد در آزمایشگاه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور سبزوار اندازه‌گیری شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها تجزیه آماری با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

سانتی‌گراد خشک شدند و عملکرد و اجزای عملکرد دانه تعیین شد. کارایی مصرف آب با محاسبه نسبت عملکرد دانه بر میزان آب مصرفی در طول فصل رشد محاسبه شد. به این صورت که میزان آب مصرفی در هر مدار براساس مقدار دبی آب در زمان بر مساحت زمین محاسبه گردید. در مرحله گرده‌افشانی میزان کلروفیل برگ، اسید آمینه پرولین به روش بیتس (Bates, 1973)، محتوای نسبی آب برگ به روش اسمارت و بینگهام (Smart and Bingham, 1974) و

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Some physical and chemical properties of soil

بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	N (%)	K mg kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	کربن آلی Organic Carbon (%)	EC dS m ⁻¹	pH
Clay loam	27	45	28	1.07	190	9.58	0.97	0.624	7

افزایش یافته است (Fahadi et al., 2016). در گزارشی در مورد سورگوم (*Sorghum bicolor*) آمده است که در شرایط تنش خشکی، رشد بخش هوای، ریشه و ارتفاع گیاه تحت تأثیر اسید سالیسیلیک، افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان داده است (Gill, 2003).

در شرایط آبیاری کامل، مصرف سالیسیلیک اسید نتوانست میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد (جدول ۳). در شرایط قطع آبیاری، مصرف سالیسیلیک اسید نتوانسته است میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد (جدول ۳) به طوری که محلول‌پاشی با غلظت شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) میزان نشت الکترولیت را به میزان ۳۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). کاهش خسارت غشاه در اثر کاربرد سالیسیلیک اسید با تولید آنتی‌اکسیدان در ارتباط می‌باشد و از این روش سالیسیلیک اسید سبب افزایش پایداری غشا در برابر تنش‌های اکسایشی می‌گردد (Ghoulam et al., 2001). قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، میزان نشت الکترولیت برگ را به میزان ۲۳ درصد افزایش داد (جدول ۳). نقی زاده و غلامی توران پشته (Naghizadeh and Gholami Toran Poshti, 2015) در نتایج خود بیان کردند تنش خشکی در دوره پرشدن دانه تأثیر منفی بارزی بر عملکرد و اجزای آن و همچنین محتوای نسبی آب برگ پرچم گذاشت و در مقابل، افزایش نشت یونی را به همراه داشت. افزایش در نشت الکترولیت در گیاهان تحت تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Borsani et al., 2001; Ghoulam et al., 2001).

در این مطالعه مشخص شد که قطع آبیاری نسبت به آبیاری کامل باعث افزایش مقدار اسید آمینه پرولین شد به طوری که اعمال تنش خشکی موجب ۱۱ درصد افزایش در غلظت پرولین برگ گندم در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). سایر محققان نیز گزارش کردند

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده آبیاری، سالیسیلیک اسید و برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد مطالعه در این تحقیق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P < 0.01$ ، جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید نشان داد در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین وزن خشک ساقه به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۳). دلیل بهبود رشد و افزایش ماده خشک در اثر مصرف سالیسیلیک اسید در انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مخزن ارتباط داده شده است همچنین سالیسیلیک اسید باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات رداکتاز و کربنیک آنهیدراز، مانع اکسیداسیون اکسین شده و از این طریق بر رشد تأثیر مثبت می‌گذارد (Fariduddin et al., 2003).

مقایسه میانگین نشان داد در شرایط آبیاری کامل، بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به‌ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به‌دست آمد (جدول ۳). در صورتی که با قطع آبیاری در مرحله آبستنی (کد ۴۹ زادوکس) وزن خشک برگ در تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید از روند خاصی پیروی نکرد و مصرف دو میلی‌مولار سالیسیلیک با ۱۴۵/۵۵ گرم بر مترمربع بیشترین وزن خشک برگ را تولید کرد (جدول ۳). سالیسیلیک اسید در دوره تنش خشکی از طریق تأثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدان باعث تأخیر در لوله شدن برگ گیاهان می‌شود (Kadioglu et al., 2011). در شرایط تنش خشکی، سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر بیوسنتز اتیلن پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و از این طریق مدت زمان حفظ سطح برگ افزایش و به دنبال آن فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن

مربع را به میزان ۱۵ درصد کاهش داد (جدول ۳). در همین راستا، سایر محققان گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد سنبله در مترمربع به میزان ۱۰ درصد شد (Naghizadeh and Gholami Tooran Poshti, 2014).

در شرایط آبیاری کامل، بیشترین تعداد دانه در سنبله (۳۴ دانه در سنبله) در تیمار شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳). با قطع آبیاری در مرحله آبستنی، در تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید تعداد دانه در سنبله از روند خاصی پیروی نکرد (جدول ۳). قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، تعداد دانه در سنبله را به میزان ۱۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). تاثیر تنش خشکی بر کاهش تعداد دانه در سنبله از طریق افزایش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه دانست همچنین از دیگر دلایل آن می‌توان به مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده‌افشانی و پر شدن دانه در اثر تنش خشکی اشاره کرد (Flower and Ludlow, 1986). گزارش شده است اعمال تنش رطوبتی و افزایش شدت آن، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و بیولوژیک را در گندم کاهش داد در حالی که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد مانند سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید سبب بهبود همه اجزای عملکرد دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید (Vahabi et al., 2017). افزایش تعداد دانه در سنبله در اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در گندم توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Pirasteh-Anosheh et al., 2012; Amin et al., 2008).

مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و سالیسیلیک اسید نشان داد در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین تعداد دانه در متر مربع به ترتیب از تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به دست آمد (جدول ۳).

در شرایط آبیاری کامل، بیشترین وزن هزار دانه در تیمار دو و چهار میلی‌مولار (بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر) مشاهده شد (جدول ۳). در تیمار قطع آبیاری، بیشترین (۳۷/۶۰ گرم) و کمترین (۲۱/۱۴ گرم) وزن هزار دانه به ترتیب از تیمار شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) به دست آمد در شرایط قطع آبیاری، محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید مقدار وزن ۱۰۰۰ دانه را حدود ۴۴ درصد افزایش داد (جدول ۳). مقایسه میانگین شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری نشان داد که تیمار قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، وزن ۱۰۰۰ دانه را به میزان ۹ درصد کاهش داد (جدول ۳). قطع آبیاری به دلیل اختلال در انتقال مواد فتوسنتزی به دانه، سبب کوچک و ضعیف شدن دانه‌ها می‌شود (Dalvandi et al., 2013).

که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار پرولین به میزان ۶۰ درصد گردید (Naghizadeh and Gholami Tooran Poshti, 2014; Pireivatlou et al., 2010). در شرایط آبیاری کامل، بیشترین (۱۵۵/۸ میلی‌مولار بر کیلوگرم) و کمترین (۱۰۶/۸ میلی‌مولار بر کیلوگرم) مقدار اسید آمینه پرولین به ترتیب از تیمار چهار میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به دست آمد (جدول ۳). در شرایط قطع آبیاری، بیشترین (۱۶۱/۹۳ میلی‌مولار بر کیلوگرم) و کمترین (۱۰۸/۷۷ میلی‌مولار بر کیلوگرم) مقدار اسید آمینه پرولین به ترتیب در تیمار دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد غلظت بالای محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید (۶ میلی‌مولار) در شرایط قطع آبیاری توانسته است وضعیت آبی گیاه را بهبود بخشیده و گیاه برای مقابله با کمبود آب، اسید آمینه پرولین کمتری را تولید کرده است.

در شرایط آبیاری کامل، مصرف دو میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توانست شاخص کلروفیل را افزایش دهد (جدول ۳). در شرایط قطع آبیاری، مصرف شش و چهار میلی‌مولار سالیسیلیک اسید توانست شاخص کلروفیل را افزایش دهد اما با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). این نتایج در خصوص تاثیر مثبت سالیسیلیک اسید بر افزایش شاخص کلروفیل با نتایج پاک مهر و همکاران (Pak mehr et al., 2015) مطابقت داشت. سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که در تیمارهای تیمار شده با سالیسیلیک اسید، میزان کلروفیل و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو افزایش یافت (Singh and Usha, 2016; Farajzadeh et al., 2003). مقایسه میانگین آبیاری کامل و قطع آبیاری نشان داد که شاخص کلروفیل با قطع آبیاری کاهش یافت (جدول ۳) به طوری که تیمار قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، شاخص کلروفیل را به میزان ۱۸ درصد کاهش داد (جدول ۳). نتایج مطالعه کایدنظامی و بلوچی (Kaid Nezami and Balochi, 2014) روی عدس (*Lens culinaris*) نشان داد که استفاده از اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار در شوری‌های با غلظت بالا باعث افزایش مقدار کلروفیل و کارتنوئید شد. این نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک سبب افزایش بردباری به تنش شوری و کاهش اثرهای زیان‌بار کلرید سدیم در گیاه عدس شد.

در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار محلول‌پاشی شش میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید)، تعداد سنبله در متر مربع را به ترتیب به میزان ۲۴ و ۲۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تاثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری موثرتر از شرایط آبیاری کامل بوده است. قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، تعداد سنبله در متر

جدول ۲ - نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

Table 2- Analysis of variance analysis of studied traits

منابع تغییر	df	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	نشت الکترولیت	پروکلین	شاخص کلروفیل	تعداد سنبه در مترمربع	تعداد دانه در سنبه	Seed number per spike	Seeds per square meter	وزن هزار دانه	عسلکرد بیولوژیک	عسلکرد دانه	شاخص برداشت	کارایی مصرف آب
Source of variation		Stem dry weight	Leaf dry weight	Electrolyte leakage	Proline	Chlorophyll index	Spike number per square meter	seed number per spike			seed weight	Biological yield	seed yield	Harvest index	Water use efficiency
تکرار	2	0.36 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.0014 [*]	25.23 ^{ns}	0.88 ^{ns}	1.98 ^{ns}	0.59 ^{**}	1.85 ^{ns}	0.60 ^{**}	260.70 ^{ns}	52.43 ^{ns}	0.22 ^{ns}		0.000054 ^{ns}
آبیاری	1	6232.95 ^{**}	18393.91 ^{**}	0.109 ^{**}	111.84 ^{ns}	610.04 ^{**}	17115.76 ^{**}	165.21 ^{**}	20205845.68 ^{**}	56.15 ^{**}	1041891.68 ^{**}	1177361.10 ^{**}	84.11 ^{**}	0.011 ^{**}	
سالیسیلیک اسید	3	187.05 ^{**}	692.70 ^{**}	0.011 ^{**}	1582.51 ^{**}	51.30 ^{**}	13006.12 ^{**}	30.22 ^{**}	13444296.59 ^{**}	163.62 ^{**}	3535011.64 ^{**}	3323238.23 ^{**}	161.71 ^{**}	0.116 ^{**}	
آبیاری × سالیسیلیک اسید	3	31.08 ^{**}	845.67 ^{**}	0.104 ^{**}	1995.00 ^{**}	73.68 ^{**}	114.76 ^{**}	19.23 ^{**}	6686965.28 ^{**}	72.07 ^{**}	48542.83 ^{**}	159814.32 ^{**}	151.71 ^{**}	0.0062 ^{**}	
خطا	14	0.14	1.12	0.00031	31.83	2.10	1.78	0.087	2.27	0.107	415.29	531.05	0.49		0.000020
Error	-	5.02	7.98	3.39	4.30	2.75	6.39	5.05	8.51	4.99	10.48	7.74	5.01		6.78
ضریب تغییرات (%)															
CV %															

***, ** و * به ترتیب اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی دار
***, ** and ns significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively

جدول ۳ - مقایسه میانگین سطوح سالیسیلیک اسید در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری برای صفات مختلف
Table 3- Comparison of salicylic acid levels increase full and cut-off irrigation conditions for different traits

آبیاری	سالیسیلیک اسید (میلی مولار)	وزن خشک	وزن خشک برگ (گرم بر مترمربع)	وزن خشک ریشه (گرم بر مترمربع)	نسبت الکترولیت (درصد)	پروترین (میلی مولار بر کیلوگرم)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	مترمربع Spike number per square meter	سنبه seed number per spike	تعداد دانه در متر مربع Seeds per square meter	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	کیلوگرم در هکتار Biological yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه seed yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) Harvest index (%)	آب مصرف (کیلوگرم بر مترمربع) Water use efficiency (kg m ⁻³)
آبیاری کامل Full irrigation	0	48.98	57.70	0.48	126.3	57.23	319.41	8754.22	29.47	3511.10	2427.5	69.14	0.40		
	2	51.13	73.14	0.53	126.8	61.7	333.18	8771.33	38.45	4709.10	3116.9	66.19	0.52		
	4	57.4	81.53	0.80	155.8	52.56	399.94	10128.0	39.00	4943.00	3453.2	69.90	0.58		
	6	58.19	105.36	0.53	106.8	58.83	415.38	14148.1	30.96	5445.70	4324.9	79.42	0.72		
قطع آبیاری Cut-off irrigation	0	16.10	125.22	0.61	152.72	52.33	259.70	8169.72	21.14	3327.0	1829.2	54.98	0.38		
	2	17.98	145.55	0.50	161.93	41.26	292.66	8531.09	35.67	4095.4	3005.3	73.38	0.63		
	4	20.13	142.65	0.31	109.70	45.20	342.24	8485.46	31.23	4463.9	3214.0	72.00	0.67		
	6	32.21	125.79	0.38	108.77	54.20	359.68	9275.06	37.60	5053.0	3502.2	69.30	0.73		
LSD		0.67	1.85	0.03	9.81	2.53	2.63	0.51	0.57	41.71	47.81	1.23	0.008		

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.
Mean in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

سالیسیلیک اسید و کمترین درصد شاخص برداشت از تیمار شاهد به دست آمد مقایسه تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری نشان داد که آبیاری کامل باعث افزایش شاخص برداشت شد (جدول ۳).

در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به ترتیب از تیمار محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید) به دست آمد (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید)، کارایی مصرف آب را به ترتیب به میزان ۴۳ و ۴۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می رسد تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، در بهبود کارایی مصرف آب موثرتر بوده است. بیشترین (0.60 کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین (0.55 کیلوگرم بر مترمکعب) کارایی مصرف آب به ترتیب از تیمار قطع آبیاری و آبیاری کامل حاصل شد (جدول ۳). سایر پژوهش گران نیز گزارش کردند تنش خشکی و محلول پاشی با سالیسیلیک اسید باعث افزایش کارایی مصرف آب در گیاه ذرت گردید (Bayat and Sepehri, 2014). علت بیشتر بودن کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل، هدر رفت زیاد آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در تیمار آبیاری کامل گزارش شده است (Allen and Musik, 1993). محلول پاشی با سالیسیلیک اسید با تحریک رشد ریشه های نابه جا نقش موثری در افزایش کارایی مصرف آب ایفا می کند (Fletcher and Hofstra, 1988). کیانی (Kiani, 2010) در آزمایشی روی سویا نشان داد که در شرایط خشکی کارایی مصرف آب افزایش یافت. به طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می شود؛ به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط رطوبتی مطلوب، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می کند (Shabiri et al., 2006).

نتیجه گیری

کمترین وزن خشک ساقه از تیمار شاهد (بدون مصرف سالیسیلیک اسید) و بیشترین آن از محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری به وجود آمد. در صورتی که در شرایط تنش مصرف دو میلی مولار سالیسیلیک با $145/55$ گرم در مترمربع بیشترین وزن خشک برگ را تولید کرد. در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین تعداد سنبله، تعداد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به ترتیب از تیمار محلول پاشی دو تا شش میلی مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن از تیمار شاهد حاصل شد.

در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، تیمار محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید)، عملکرد بیولوژیک را به ترتیب به میزان ۳۶ و ۳۵ درصد افزایش داد (جدول ۳). افزایش عملکرد بیولوژیک با مصرف سالیسیلیک اسید توسط سایر پژوهش گران نیز گزارش شده است (Vahabi et al., 2017; Anjum et al., 2011; Yun-Xia et al., 2010). ساجدی و قلی نژاد (Sajedi and Gholinezhad, 2012) گزارش کردند که با مصرف سالیسیلیک اسید در شرایط دیم، عملکرد بیولوژیک ارقام گندم نسبت به شاهد ۱۰ درصد افزایش یافت. قطع آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، عملکرد بیولوژیک را به میزان ۹ درصد کاهش داد (جدول ۳). تنش خشکی از طریق تأثیر بر بسته شدن روزنه ها، کاهش تورژسانس، کاهش سطح فتوسنتز کننده و کاهش میزان فتوسنتز باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاه می شود (Simanne et al., 1993).

در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری، بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب از تیمار محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید و تیمار شاهد (بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید) به دست آمد (جدول ۳). در شرایط آبیاری کامل و عدم قطع آبیاری، تیمار محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد (بدون محلول پاشی سالیسیلیک اسید)، عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۴۴ و ۴۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می رسد تأثیر محلول پاشی سالیسیلیک اسید در شرایط قطع آبیاری در بهبود عملکرد دانه موثرتر از شرایط آبیاری کامل بوده است. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2016) بیان کردند که دمای نهایی سایه انداز گیاه نیز تحت اثر سالیسیلیک اسید کاهش یافت که نشان دهنده این است که استفاده از سالیسیلیک اسید در شرایط تنش، می تواند از طریق خنک تر نگه داشتن سایه انداز گیاه رهیافتی برای حفظ و پایداری فتوسنتز و عملکرد در شرایط تنش خشکی باشد. سایر پژوهش گران نیز گزارش کردند که سالیسیلیک اسید باعث افزایش عملکرد دانه شده است (Anjum et al., 2011; Yun-Xia et al., 2010). آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل، عملکرد دانه را به میزان ۱۴ درصد کاهش داد (جدول ۳). به نظر می رسد قطع آبیاری از طریق کاهش اجزای عملکرد دانه مانند تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه باعث کاهش عملکرد دانه گندم شده است پژوهش گران دیگر نیز معتقدند که تنش خشکی از تأثیرات منفی بر اجزای عملکرد دانه گندم داشته و عملکرد دانه را کاهش داده است (Gooding et al., 2003; Ozturk and Aydin, 2004).

در شرایط آبیاری کامل بیشترین شاخص برداشت از تیمار محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید به دست آمد. با قطع آبیاری بیشترین شاخص برداشت از تیمارهای محلول پاشی

الکترولیت برگ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۵۸ (بود) و از طرف دیگر، با افت محتوی رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ زمینه کاهش شاخص کلروفیل و فتوسنتز را فراهم آورد (شاخص کلروفیل برگ در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به ترتیب ۵۷/۵ و ۴۷/۵ (بود) و در نهایت باعث کاهش عملکرد و اجزای آن شد (عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری به ترتیب ۳۳۳ و ۲۸۸/۲ گرم در متر مربع بود). از طرفی، اسید سالیسیلیک موجب تعدیل تنش خشکی از طریق کاهش نشت یونی (عدم مصرف و مصرف سالیسیلیک اسید شش میلی مولار در شرایط قطع آبیاری به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۸)، کاهش غلظت پرولین (عدم مصرف و مصرف سالیسیلیک اسید شش میلی مولار در شرایط قطع آبیاری به ترتیب ۱۵۲/۷ و ۱۰۸/۷۷) و شاخص کلروفیل (عدم مصرف و مصرف سالیسیلیک اسید شش میلی مولار در شرایط قطع آبیاری به ترتیب ۵۲/۳۳ و ۵۴/۲۰) شد و در نتیجه باعث بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط تنش گردید. در نهایت مشخص شد که مصرف شش میلی مولار نسبت به سایر تیمارها در هر دو شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شد.

قطع آبیاری باعث شد که وزن هزار دانه در تیمار شش میلی مولار سالیسیلیک اسید بیشترین مقدار را داشته باشد. در شرایط آبیاری کامل، مقایسه میانگین تیمارهای سالیسیلیک اسید نشان داد که کمترین کارایی مصرف آب در تیمار شاهد و بیشترین آن به محلول پاشی شش میلی مولار سالیسیلیک اسید مربوط بود. همچنین در شرایط قطع آبیاری، تیمارهای مختلف سالیسیلیک اسید، کارایی مصرف آب را افزایش داد. در شرایط آبیاری کامل مصرف چهار میلی مولار سالیسیلیک اسید توانست بیشترین میزان اسید آمینه پرولین را تولید کند. در شرایط قطع آبیاری مصرف دو میلی مولار سالیسیلیک اسید توانست میزان ۱۶۱/۹۳ میلی مولار بر کیلوگرم اسید آمینه پرولین تولید کند که با تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت. در شرایط آبیاری کامل مصرف سالیسیلیک اسید نتوانست میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد اما در شرایط قطع آبیاری مصرف سالیسیلیک اسید نتوانست میزان نشت الکترولیت را کاهش دهد. تنش خشکی ایجاد شده در دوره گرده افشانی تا آخر فصل رشد تأثیر منفی بارزی بر عملکرد و اجزای آن و همچنین نشت الکترولیت برگ گذاشت و در مقابل سالیسیلیک اسید باعث افزایش غلظت پرولین و نشت یونی شد. کمبود آب از یک طرف با تأثیر بر ساختار غشای سلول سبب افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون ها و ماکرو مولکول ها می گردد (نشت

References

- Allen, R. R., and Musik, J. T. 1993. Planting date, water management, and maturity length relations for irrigated grain sorghum. Trans. ASAE 36 (4): 1123-1129.
- Amin, A. A., Li, S., Rashad, M., Fatma, A., and Gharib, E. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 252-261.
- Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., and Xue, L. 2011. Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, ant oxidative defense system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 296-301.
- Arfan, M., Athar, H. R., and Ashraf, M. 2007. Does exogenous application of Salicylic Acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? Journal of Plant Physiology 164: 685-694.
- Ashraf, M., Akram, N. A., Al-Qurainy, F., and Flood, M. R. 2011. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth, regulators, and mineral nutrients. Advance in Agronomy 111: 249-296.
- Bates, L. S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and soil 39: 205-207.
- Bayat, S., and Sepehri, A. 2014. Effect of salicylic acid and paclobutrazol on yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) under moisture stress. 1th international and 13th Iranian crop science congress. Tehran, Iran.
- Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M. N. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedling. Plant Physiology 126: 1024-1030.
- Borsani, V., and Botella, M. A. 2001. Evidence for a role of Salicylic Acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis stress in (Arabidopsis) seedlings. Plant physiology 126: 1024-1030.
- Dalvandi, G., Ghanbari-Odivi, A., Farnia, A., Khalil-Tahmasebi, B., and Nabati, E. 2013. Effects of drought stress on the growth, yield and yield components of four wheat populations in different growth stages. Advances in Environmental Biology 7 (4): 619-624.
- Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, Gh., Ghodsi, M., and Kafi, M. 2010. Effect of water stress and spraying of potassium iodide on agronomic traits and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (2): 177-182. (in Persian with English abstract).
- FAOSTAT. 2012. FAO Statistical Data. [www.faostat.org.]

13. Farajzadeh, R., Sajedi, N. A., and Babaei, T. 2016. Effect of salicylic acid and post anthesis water deficit stress on some agronomic and physiological traits of different wheat genotypes. *Cereal Research* 6 (2): 173-184. (in Persian with English abstract).
14. Farhadi, N., Sayyahfar, M., and Shakarami, Gh. 2016. Effect of foliar applications of various levels of salicylic acid on yield and yield components of two barley cultivars under dry land farming conditions. *Agricultural Research Journal* 8 (5): 25-40. (in Persian with English abstract).
15. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41 (2): 281-284.
16. Fletcher, R., and Hofstra, G. 1988. Triazoles as potential plant protectants. In: *Sterol Synthesis Inhibitors in Plant Protection*. Eds D. Berg, M. Plempel, Cambridge, Ellis Horwood Ltd, 321-331.
17. Flower, D., and Ludlow, M. M. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water- stressed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. mill sp.) leaves. *Plant, Cell and Environment* 9: 3-44.
18. Ghoulam, C. F., Ahmed, F., and Khalid, F. 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experiment Botany* 47: 139-150.
19. Gill, P. K., Sharma, A. D., Singh, P., and Bnullar, S. S. 2003. Changes in germination, growth and soluble sugar contents of *Sorghum bicolor* L. Moench seeds under various a biotic stresses. *Plant Growth Regulation* 40: 154-162.
20. Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P., and Schofield, J. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Sciences* 37: 295-309.
21. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous Salicylic Acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68: 14-25.
22. Hayat, S., and Ahmad, A. 2005. Salicylic acid: A plant hormone. Springer. 97-99.
23. Heidari, A., Bijan Zadeh, A., Naderi, R., and Imam, Y. 2016. Effect of seasonal drought stress and Salicylic Acid on grain yield and plant shadow temperature in two canola cultivars. *Journal of Plant Physiology* 27: 37-53. (in Persian with English abstract).
24. Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T. 2007. Induction of A biotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Plant Growth Regulation* 26: 290-300.
25. Kadioglu, A., Saruhan, N., Saglam, A., Terzi, R., and Acet, T. E. 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. *Plant Growth Regul* 64: 27-37.
26. Kaid Nezami, R., and Balochi, H. 2014. Physiological reactions of lentil plant (*Lens culinaris Medik*) to salinity stress and Salicylic Acid solution. *Journal of Iranian Bean Studies* 5 (2): 98-83. (in Persian with English abstract).
27. Kheirkhah, M., Farazi, M., Dadkhah, A., and Khoshnood Yazdi, A. 2016. Use of glycine, thiophile and salicylic acid in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under irrigated conditions. *Eco-physiology of Crop Plants* 10 (37): 182-167. (in Persian with English abstract).
28. Kiani, A. R. 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in some soybean cultivars. *Journal of Agriculture Engineering Research* 11 (1): 85-102.
29. Naghizadeh, M., and Gholami Tooran Poshti, M. 2014. Evaluation the effect of seed priming by salicylic acid on yield and yield components of wheat under drought stress conditions. *Journal of Agroecology* 6 (1): 162-170. (in Persian with English abstract).
30. Naghizadeh, M., and Gholami Toran Poshti, M. 2014. Effect of seed pre-treatment with Salicylic Acid on wheat yield and yield components under drought stress. *Journal of Agricultural Ecology* 6 (1): 170-162. (in Persian with English abstract).
31. Ozturk, A., and Aydin, F. 2004. Effect of water stress at various stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 93-99.
32. Pak Mehr, A., Shakeri, F., and Rastgo, M. 2015. The effect of seed priming with Salicylic Acid on some photosynthetic traits of blubber beans under stress at flowering stage. *Journal of Iranian Pulses Research* 5 (2): 19-30. (in Persian with English abstract).
33. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2012. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. *Environmental Stress in Crop Sciences* 5: 1-17. (in Persian with English abstract).
34. Pireivatlou, A. S., Dehdar Masjedlou, B., and Ramiz, T. A. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *African Journal Agricultural Research* 5: 2829-2836.

35. Ranjbar, M., Larry Yazdi, H., and Bromandjazi, Sh. 2010. The effect of Salicylic Acid on antioxidant enzymes, photosynthetic pigments of sugar content in rape (*Brasica napus*) under Pb stress. *Journal of Plant Biology* 3 (9): 39-52. (in Persian with English abstract).
36. Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 43: 463-439.
37. Sajedi, N. A., and Gholinezhad, A. 2012. Response of yield and yield component of dry land wheat cultivars to salicylic acid and selenium. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (3): 614-621. (in Persian with English abstract).
38. Shabiri, S., Ghasemi Golazani, K., Golchin, A., and Saba, J. 2006. Effect of irrigation water on phenology and yield of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agricultural Knowledge* 16 (2): 137-147. (in Persian with English abstract).
39. Simanne, B. P. C., Peacock, J. M., and Struk, P. C. 1993. Differences in development plasticity and growth rate among drought resistance and susceptible cultivar of durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. durum). *Plant and Soil* 157: 155-166.
40. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation* 39: 137-141.
41. Smart, R. E., and Bingham, G. E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology* 53: 258-260.
42. Vahabi, N., Emam, Y., and Pirasteh-Anosheh, H. 2017. Improving wheat growth and yield using chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid under water stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15 (1): 124-135. (in Persian with English abstract).
43. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., and Gasparikova, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil Environment* 52 (4): 186-191.
44. Yun-Xia, G., Li-Jun, Z., Feng-Hai, L., Zhi-Bin, C., Che, W., Yun-Cong, Y., Zhen-Hai, H., Jie, Z., and Zhen-Sheng, S. 2010. Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought-stress. *African Journal of Agriculture Research* 5: 1978-1983.
45. Yousefirad, M., Asghari, M., Mohammadi, M., Masoumi Zavarian, A. 2015. Effect of drought stress on yield, yield components and some physiological characteristics of seven barley cultivars. *Journal of Agricultural Research* 7 (4): 297-309.
46. Zargerian, M., Tehranifar, A., Nemati, H., and Siavashpour, B. 2016. The effect of Salicylic Acid on some morphophysiological characteristics of sunflower seedlings in drought stress conditions. *Journal of Horticulture* 30 (1): 162-151. (in Persian with English abstract).



Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Barley Water use Efficiency in Cut-Off Condition

A. Abhari¹, E. Gholinezhad^{2*}

Received: 04-07-2018

Accepted: 06-10-2018

Introduction: Drought stress has osmotic and physiological effects on plants, resulting in reduced growth, metabolic disorders and oxidative stress in plants. Different plants use several strategies to cope with drought stress. External application of different compounds such as organic solvents and minerals is a solution to increase drought tolerance in plants. Salicylic acid is recognized as a plant hormone and its role in defense mechanisms against biological and non-biological stressors is well defined. The purpose of this experiment was to evaluate the effect of salicylic acid on reducing the effects of drought stress on yield, water use efficiency and some physiological characteristics of the barley.

Materials and Methods: This experiment was carried out as factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in the Kizor fields located in the city of Sabzevar in 2017. The altitude of this area is 1195 m above sea level and is 36° 5' N latitude and 44° 3' E longitude. The treatments included irrigation at two levels of cut-off irrigation (irrigation cut from booting to harvesting stage) (Z39) and non-cut-off irrigation and salicylic acid spraying treatment at four levels of zero (control), two, four and six mM at stage of shoots on barley. Data were analyzed with the SAS software ver 9.1 and the means were compared with LSD test.

Results and Discussion: The results showed that in both conditions of non-cut-off irrigation and cut-off irrigation, the highest number of spikes, number of seeds, seed yield and biological yield per m² were obtained in two to six mM of salicylic acid, respectively, and the lowest was related to control treatment. The lowest water use efficiency (0.38) was obtained under non-cut-off irrigation conditions without salicylic acid and with the consumption of salicylic acid up to six mM, water use efficiency increased. Also, salicylic acid spraying in cut-off irrigation conditions compared to non-cut-off irrigation led to increase water use efficiency. In both conditions, non-cut-off irrigation and cut-off irrigation, the highest and lowest grain yields were obtained from 6 mM salicylic acid and control treatments (without salicylic acid spraying), respectively. Under non-cut-off irrigation and cut-off irrigation, spraying with 6 mM of salicylic acid increased the grain yield by 44% and 48% compared to control (without salicylic acid spraying). It seems that the effect of salicylic acid spraying in cut-off irrigation conditions was more effective than non-cut-off irrigation conditions. The cause of higher water use efficiency in cut-off irrigation conditions in comparison with non-cut-off irrigation was high waste of water due to evapotranspiration and deep penetration in non-cut-off irrigation treatments. Spraying with salicylic acid by stimulating the growth of hair and sub-roots plays an effective role in increasing water use efficiency. In cut-off irrigation conditions, salicylic acid consumption has reduced the amount of electrolyte leakage so that the spray at a concentration of 6 mM of salicylic acid compared to the control (without salicylic acid spraying) decreased electrolyte leakage about 38 %. The reduction of membrane damage due to the use of salicylic acid is related to the production of antioxidants. Spraying with salicylic acid increases the stability of the membrane against oxidative stresses.

Conclusions: Water deficit at first affecting the structure of the cell membrane, increased the permeability of the membrane relative to the ions and macromolecules and at second stage decreased the photosynthesis by decreasing the chlorophyll index, which finally reduced the yield and its components. Also, salicylic acid alleviate drought stress by reducing ion leakage, increasing proline concentration and chlorophyll index resulting to improved wheat grain yield under cut-off irrigation conditions compared to non-cut-off irrigation.

Keywords: Chlorophyll index, Cut-off irrigation, Grain Yield, Ion leakage, Proline

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: gholinezhad1358@yahoo.com)



بررسی تاثیر تغییر اقلیم در آینده نزدیک بر تولید گندم آبی منطقه تربت جام: مطالعه موردی

سید فرهاد صابر علی^{۱*}، حسین نستری نصرآبادی^۲، محمد دوستخواه احمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷

چکیده

کشاورزی، که عامل تأمین نیاز غذایی و ثبات اقتصادی و امنیتی هر جامعه‌ای است، می‌تواند تحت تاثیر نوسانات اقلیمی هر منطقه قرار گیرد. بررسی تاثیر اقلیم بر تولید محصولات زراعی همچون گندم که یک محصول راهبردی در تأمین امنیت غذایی جامعه ایرانی است از اهمیت دوچندانی برخوردار است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم در آینده نزدیک بر عملکرد گندم آبی در منطقه تربت‌جام با بیشترین سطح زیر کشت در استان خراسان رضوی بود. در این تحقیق از برنامه MarkSim تحت چهار سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 برای تولید داده‌های اقلیمی در دوره آینده نزدیک (۲۰۱۸-۲۰۴۷) استفاده شد. در نهایت داده‌های اقلیمی خروجی از برنامه MarkSim به‌عنوان داده‌های آب و هوایی ورودی برای اجرای مدل شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی DSSAT مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی رشد گندم آبی در دوره پایه نشان داد که این گیاه کاهش دوره رشد و افزایش تولید ماده خشک و عملکرد را در دوره ۲۰ ساله اخیر تجربه کرده است. افزایش بارش‌های بهاری و همچنین افزایش دما در طول فصول سرد سال از جمله دلایل این افزایش بوده است. همچنین افزایش دما در طول فصل سرد سال و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در آینده نزدیک تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم افزایش حدود ۲۰ تا ۲۵ درصدی تولید دانه گندم را باعث خواهند شد. اگرچه میزان این افزایش تولید در خاک‌های سبک‌تر کمتر از خاک‌های سنگین‌تر منطقه بود. همچنین مشخص گردید، با وجود احتمال کاهش حداقل ۳۰۰ متر مکعب آب آبیاری در هر هکتار در طول دوره رشد گندم در ۳۰ سال آینده، در نهایت با به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری با راندمان بالاتر احتمالاً افزایش تولید با تغییرات چندانی روبه‌رو نخواهد شد.

واژه‌های کلیدی: افزایش دما، سناریوی انتشار، شبیه‌سازی، DSSAT، MarkSim

مقدمه

آب و هوایی در بحث تغییر اقلیم شامل افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، دما و نیز نوسان بارندگی است، که به‌طور مستقیم رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Landau *et al.*, 2000). از طرفی بیشتر گستره کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و نسبت به تغییرات اقلیمی به‌ویژه حرارت و رطوبت که به‌طور مستقیم بر نیاز آبی گیاهان اثرگذارند، آسیب‌پذیر هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که وقوع احتمالی تغییرات اقلیمی در این مناطق تأثیر قابل‌توجهی بر نظام‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Fischer *et al.*, 1994, Koocheki and Kamali, 2010). با توجه به بحران کم‌آبی در ایران و اهمیت نقش پدیده تغییر اقلیم در تشدید آن، مطالعات بیشتر و دقیق‌تر در مورد این پدیده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی پاسخ نظام‌های تولید محصولات کشاورزی به این تغییرات در هر منطقه وجود دارد.

تخمین زده شده است که بالاترین تغییرات دمایی ناشی از تغییرات آب و هوایی در کره زمین هم در دمای حداقل و هم حداکثر تا اواخر قرن بیست یک در آسیا روی دهد (IPCC, 2013). این امر باعث افزایش تقاضای آب محصولات زراعی شده و همچنین ممکن

افزایش جمعیت و توسعه صنایع و کارخانه‌ها و به تبع آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به‌منظور تأمین انرژی از یک طرف و جنگل‌زدایی و تخریب محیط‌زیست از طرف دیگر باعث افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین طی دهه‌های اخیر شده است. پس فعالیت‌های انسانی که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو زمین شوند، علت اصلی تغییرات آب و هوایی و افزایش دمای متوسط کره زمین هستند. کشاورزی از جمله بخش‌های تولیدی مهم هر کشور و تأمین‌کننده نیاز غذایی جامعه است که با تأثیرپذیری از شرایط اقلیمی می‌تواند موجب نوسانات شدید اجتماعی، اقتصادی و امنیتی در هر کشوری شود (Easterling, 2011). نوسانات عوامل

۱ و ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام،

خراسان رضوی، ایران

۳- کارشناس ارشد آبیخیزداری، بخش تولیدات گیاهی اداره جهاد کشاورزی تربت جام، خراسان رضوی، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: sf.saberali@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v17i1.74284

مدل‌های اقلیمی در بازه زمانی طولانی‌تر از ۳۰ سال برای شبیه‌سازی پاسخ نظام‌های زراعی، به‌نظر بیش از حد خوش‌بینانه خواهد بود (Moss et al., 2010). به‌علاوه ورود دقیق مشخصات خاکی، نظام زراعی و مشخصات ژنتیکی ارقام هر منطقه در مدل‌های شبیه‌سازی از جمله ضروریات تولید خروجی‌های دقیق توسط مدل خواهد بود. در نتیجه در این تحقیق با هدف افزایش دقت برآوردها، مدل در سطح یک شهرستان و در بازه زمانی ۳۰ ساله مورد استفاده قرار گرفت. شهرستان تربت جام با نزدیک ۱۲ درصد از کل کشت گندم آبی استان خراسان رضوی (۱۷۰۹۰ هکتار) و مجموع تولید ۸۷۰۰۰ تن در سال و با متوسط تولید دانه ۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار جایگاه اول تولید گندم استان رو به خود اختصاص داده است (سال‌نامه آماری خراسان رضوی، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت این شهرستان در تولید گندم در استان خراسان رضوی و عدم وجود اطلاعات کافی در مورد تأثیرات تغییر اقلیم در این شهرستان این مطالعه با هدف کمی کردن اثرات احتمالی تغییر اقلیم در ۳۰ سال آینده بر عملکرد گندم آبی منطقه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، اطلاعات سیستم‌های زراعی منطقه و داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای بررسی اثرات تغییر اقلیم جمع‌آوری شده و در نهایت با استفاده از مدل CERES-Wheat، رشد و عملکرد گندم آبی در پاسخ به این تغییرات تخمین زده شد. بدین منظور از چهارچوب استاندارد که توسط محققین AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) ارائه شده است، استفاده گردید. AgMIP یک برنامه تحقیقاتی بین‌المللی گسترده در زمینه تغییرات اقلیمی است که بر کشاورزی تمرکز دارد و هدف آن ارائه اطلاعات دقیق در مورد تکنیک‌های شبیه‌سازی جدید و روش‌های صحیح ارزیابی‌هایی اقلیمی است. این برنامه که بیش از ۷۰۰ محقق در بیش از ۴۰ کشور دنیا عضو دارد، به‌منظور کمی کردن و ارزیابی مدل‌های کشاورزی، مقایسه کارایی آنها، بهبود توانایی مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی و ارزیابی تأثیرات واقعی و پیش‌بینی شده آن در مقیاس منطقه‌ای و جهانی توسعه داده شده است (Rosenzweig et al., 2013). در این برنامه بین‌المللی توصیه شده در تحقیقات مربوط به تغییر اقلیم به سه سوال اصلی پاسخ داده شود (Thorburn et al., 2015)، که شامل: ۱- پاسخ یا حساسیت در سیستم‌های تولید کشاورزی به تغییرات آب و هوای تا به امروز چگونه بوده است؟، ۲- تأثیر تغییرات آب و هوایی بر تولید محصولات کشاورزی در آینده چگونه خواهد بود؟، ۳- سودمندی مدیریت‌های احتمالی که به‌منظور سازگاری به تغییرات اقلیمی اعمال خواهد شد چه میزان خواهد بود؟ برای پاسخ دادن به این سوالات نیازمند

است خطر استرس گرما را در طول گلدهی محصولات زمستانه و بهاره، همچون گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.)، موجود در این منطقه را افزایش دهد. مدل‌ها ابزار کارآمد و مناسبی برای پیش‌بینی خروجی حاصل از سیستم‌های واقعی هستند. مدل‌های شبیه‌سازی رشد نمو و عملکرد گیاهان زراعی، ازجمله ابزار مناسب برای کمی کردن و پیش‌بینی پاسخ رشدی گیاهان زراعی به نوسانات عوامل اقلیمی است. مدل‌های رشد گیاهی در مقایسه با آزمایش‌های انجام شده در محیط‌های کنترل‌شده برای کمی کردن پاسخ رشد گیاهان به افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن، با صرف زمان و هزینه کم‌تر نتایج قابل قبولی فراهم آورده است (Koocheki and Kamali, 2010). به‌طور مثال کوچکی و نصیری (Koocheki and Nassiri, 2008) با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی رشد گیاهی و بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی تغییرات عملکرد گندم دیم را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که به‌طور متوسط عملکرد گندم دیم در کشور بین ۱۴ تا ۲۲ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری در شمال شرق ایران با استفاده از دو مدل اقلیمی نشان داده شد که تحت شرایط تغییر اقلیم بین عملکرد دانه گندم دیم و بارندگی ارتباط مثبت و قابل‌توجهی وجود دارد و با افزایش بارندگی عملکرد دانه گندم افزایش می‌یابد (Eyshi-Rezaie and Bannayan, 2012). بررسی مهم‌ترین عوامل اقلیمی موثر بر تولید گندم، جو و یولاف در منطقه‌ی آلاسکا نیز نشان داد که نحوه توزیع بارش، کاهش بارندگی و افزایش دما می‌توانند ۷۰ درصد تغییرات محصول سالیانه را در تمام رقم‌های مورد مطالعه توضیح دهد (Sharatt et al., 2003). بررسی تأثیر بارندگی و درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان رضوی نشان داد که بارندگی بیش از درجه حرارت بر عملکرد محصول گندم دیم موثر است و بارندگی طی ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش از نیمی از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید (Tallie and Bahramy, 2003). نتایج یک تحقیق در استان فارس نشان داد که تحت همه سناریوهای تغییر اقلیم در آینده با افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن عملکرد دانه گندم آبی در شرایط پتانسیل روند افزایشی خواهد داشت (Einy-Narghese et al., 2015). آنها عنوان کردند که به‌طور متوسط تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میانگین عملکرد دانه در مقایسه با دوره پایه ۱۲ درصد افزایش خواهد داشت. بررسی‌های دقیق تغییرات اقلیمی در هر منطقه و تجمیع این اطلاعات برای هر استان، کشور و نهایتاً در سطح جهانی، چشم‌اندازی دقیق و کارآمد در جهت تبیین استراتژی‌های بلند مدت مدیریتی برای محققین و سیاست‌گذارهای بخش کشاورزی فراهم خواهد کرد (Thorburn et al., 2015).

با توجه به عدم قطعیت موجود در مدل‌ها اقلیمی و پیچیدگی‌های سیستم‌های زنده، استفاده از داده‌های هواشناسی تولیدشده توسط

کشاورزان منطقه است. داده‌های گزارش شده متوسط داده‌های ۲۰ مزرعه متفاوت در طی سه سال بوده که سطحی معادل ۵۰۰ هکتار از اراضی زیر کشت گندم شهرستان تربت‌جام را شامل می‌شود. لازم به ذکر است که مساحت تقریبی این شهرستان حدود ۸۱۰۰ کیلومتر مربع و سطح زیر کشت گندم آن حدود ۱۷۰۰۰ هکتار است. هرچه اطلاعات مورد نیاز به واقعیت نزدیک تر باشد، به دنبال آن نتایج شبیه‌سازی نیز معتبرتر خواهد بود (Thorburn et al., 2015)، که بدین‌منظور اطلاعات مورد نیاز از طریق روش توصیه شده گروه AgMIP یعنی پایش منطقه و مشاوره با کارشناسان جهاد کشاورزی منطقه به‌دست آمد. بعد از وارد کردن اطلاعات آب و هوایی، خاکی و مدیریتی مورد نیاز به یک مدل کالیبره شده، از نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل برای پاسخگویی به سوالات مورد نظر استفاده گردید. در این مطالعه از مدل CERES-Wheat کالیبره شده در منطقه استفاده گردید، که ضرایب ژنتیکی آن در جدول ۳ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است برای کالیبراسون آن از روش گام به گام و با استفاده از داده‌برداری از سه مزرعه در شرایط عدم تنش در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ استفاده گردید. در روش گام به گام ابتدا ضرایب مربوط به فنولوژی و سپس ضرایب مربوط به سطح برگ و ماده خشک و نهایتاً ضرایب مربوط به عملکرد برآورد شد (Wolf et al., 1996). بدین منظور از نرم‌افزار کمکی GLUE که در DSSAT به‌منظور تخمین ضرایب ژنتیکی گنجانده شده است نیز کمک گرفته شد. برای پاسخ به سوال اول، از نتایج شبیه‌سازی سیستم زراعی رایج منطقه با استفاده از داده‌های بلند مدت روزانه ایستگاه هواشناسی منطقه بهره برده شد (Thorburn et al., 2015)، که در تحقیق حاضر با توجه به قدمت ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی منطقه داده‌های روزانه ثبتی از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۹۶ استفاده گردید. برای پیش‌بینی عملکرد گندم ناشی از تغییرات اقلیمی در سال‌های آینده نیز، مدل با استفاده از داده‌های آب و هوایی روزانه تولید شده بر اساس چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 توسط MarkSim برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۴۷-۲۰۱۸) اجرا شد. غلظت دی‌اکسید کربن در میانه این دوره ۳۰ ساله نیز از پایگاه داده CMIP5 (Meinshausen et al., 2011) استخراج و در مدل CERES-Wheat به‌عنوان ورودی استفاده شد. سپس برای درک اثرات ناشی از تغییر اقلیم و پاسخ به سوال دوم، نتایج رشد و عملکرد شبیه‌سازی شده گندم با داده‌های آب و هوایی آینده با نتایج رشد و عملکرد شبیه‌سازی شده گندم توسط داده‌های آب و هوایی دوره پایه (۱۳۷۷-۱۳۹۶) مقایسه شد. در نهایت نیز تاثیر تغییرات احتمالی که در سیستم زراعی شبیه‌سازی شده در آینده ممکن است در پاسخ به شرایط تغییر اقلیم رخ دهد، توسط مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه در گذشته بیش از حد از منابع آب زیرزمینی برداشت شده است، لذا کاهش میزان آب قابل دسترس برای آبیاری و از طرف

مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی هستیم که به‌خوبی ارزیابی و تنظیم شده باشند تا نماینگر سیستم‌های واقعی کشت منطقه مورد مطالعه باشند. برای رسیدن به این هدف نیاز به اطلاعات آب و هوای موثر بر فرآیندهای رشد گیاه و داده‌ها یا اطلاعات مدیریتی دقیقی از مزارع منطقه داریم (Thorburn et al., 2015). داده‌های بلندمدت اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق برای اجرای مدل شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تعداد ساعات آفتابی بود، که داده‌های مربوط به زمان گذشته از ایستگاه هواشناسی تربت‌جام و داده‌های مربوط به آینده از یک برنامه تولید داده‌های اقلیمی به‌نام MarkSim به‌دست آمدند. این داده‌ها، به‌عنوان حداقل داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای اجرای مدل CERES-Wheat که در غالب یک بسته شبیه‌سازی جامعی به‌نام DSSAT ارائه می‌شود، توسط یک نرم‌افزار رابطی به‌نام WeatherMan به مدل رشد گیاهی معرفی شد.

برآوردها وضعیت اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار گازها و توسط مدل‌های اقلیمی و بیش از همه به‌وسیله مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) انجام می‌گیرد. داده‌های آب و هوای روزانه مورد نیاز با استفاده از یک نرم‌افزار تولید داده‌های اقلیمی به‌نام MarkSim با دقت تقریبی یک کیلومتر تولید شد (Jones and Thornton, 2000). این نرم‌افزار داده‌های آب و هوا را براساس موقعیت جغرافیایی برای سناریوهای مختلف تغییرات آب و هوایی در فرمت قابل استفاده برای DSSAT عرضه می‌کند. در این مطالعه از آخرین سناریوهای ارائه شده در پنجمین گزارش ارزیابی (Fifth Assessment Report, AR5) هیأت بین دول تغییرات اقلیمی (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) در سال ۲۰۱۳ استفاده شد (IPCC, 2013). سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5، سناریوهای توصیه شده برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در مطالعات کشاورزی برای تولید داده‌های اقلیمی هستند (Thorburn et al., 2015). با توجه به اینکه کارایی مدل اقلیمی MarkSim در تولید داده‌های اقلیمی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران به اثبات رسیده است (Nouri et al., 2016)، نیازی به ارزیابی مجدد این مدل و تایید مجدد دقت یک مدل کارآمد دیده نشد.

اطلاعات اصلی که مبنای شبیه‌سازی سیستم‌های زراعی است بایستی از پایش سیستم‌های مرسوم کشاورزی منطقه استخراج شده باشد، که در این صورت است که عملکرد خروجی حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی برای یک شرایط خاص آب و هوا، خاکی و مدیریتی قابل مقایسه با عملکردهای واقعی آن منطقه خواهد بود (Thorburn et al., 2015). برخی از مهمترین اطلاعات مورد استفاده برای شبیه‌سازی سیستم زراعی منطقه در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۲ حاصل جمع‌آوری داده‌های آزمون‌های خاک انجام شده توسط آزمایشگاه‌های تخصصی برای

میلی متر از مقدار کل آب آبیاری مصرفی (۳۰۰ متر مکعب در هکتار) در طول دوره رشد از آب ورودی مدل کسر گردید. محاسبه ضریب تغییرات پارامترهای اقلیمی توسط فرمول زیر انجام شد:

$$CV\% = \frac{\sigma}{LTM} \times 100 \quad (1)$$

σ انحراف معیار صفت مورد نظر در هر سناریوی اقلیمی و LTM نیز میانگین دراز مدت صفت مورد نظر است.

دیگر افزایش راندمان آب آبیاری با گسترش بیشتر سیستم‌های آبیاری تحت فشار از جمله سناریوهای حتمی است که سیستم‌های زراعی در آینده نزدیک با آن روبه‌رو خواهند بود. بدین منظور فرض شد که مجموع رطوبت حاصل از افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل و کاهش میزان بارش در طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه، در آینده قابل تأمین از طریق منابع آب زیرزمینی نخواهد بود. در نتیجه حدود یک میلی‌متر در هر آبیاری و در مجموع ۳۰

جدول ۱- جزئیات سیستم زراعی در مدل CERES-Wheat در دوره‌های زمانی مختلف

Table 1- Details of the cropping system inputs for CERES-Wheat model during the different time periods

مشخصات Features	دوره پایه Baseline period	آینده Future period			
		RCP2.6	RCP4.5	RCP6	RCP8.5
تاریخ کشت Planting date		16 October			
تراکم کشت Plant density		350 plant m ⁻²			
عمق کاشت Planting depth		5cm			
مقدار آبیاری Irrigation amount		6500 (m ³ ha)			
کارایی آبیاری Irrigation efficiency	55%	55-70%			
بیشینه مجاز تخلیه رطوبتی Maximum soil water depletion		65%			
مقدار کود نیتروژنی Nitrogen fertilizer rate		150 kg ha ⁻¹			
غلظت دی‌اکسید کربن CO ₂ concentration	384 ppm	434 ppm	446 ppm	437 ppm	464 ppm
عمق موثر ریشه Effective root depth		60 cm			
بافت خاک Soil texture		Clay loam, Loam and Sandy clay loam			

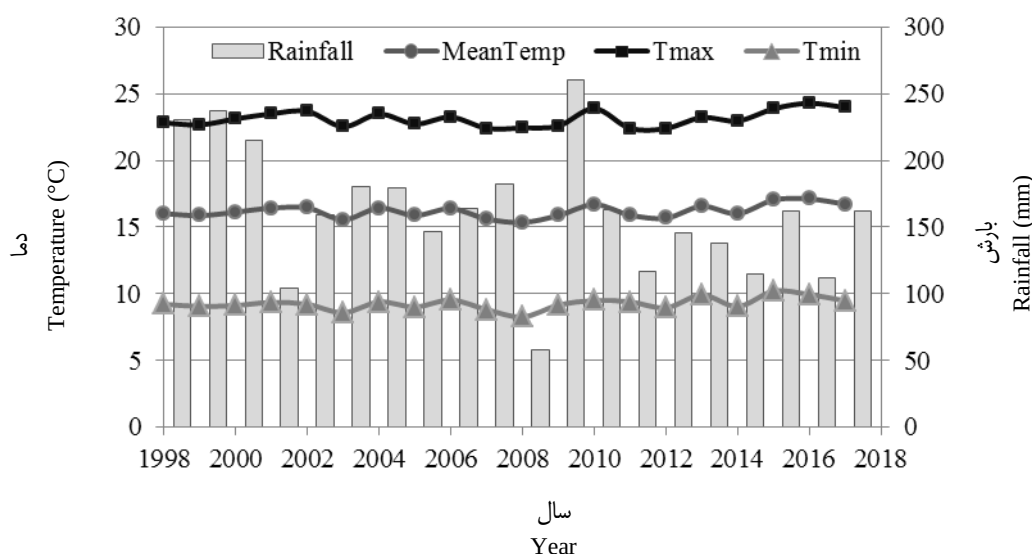
جدول ۲- متوسط خصوصیات خاک‌های منطقه تربت‌جام در عمق ۰-۳۰

Table 2- Average characteristics of the Torbat-e Jam soils at depth of 0-30

بافت خاک Soil texture	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic C (%)	شوری EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH
Clay loam	280	9	0.06	0.5	4.3	7.7
Sandy clay loam	180	6	0.03	0.35	3.6	7.5
Loam	260	10	0.05	0.45	4.1	7.3

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی گندم در مدل CERES-Wheat
Table 3- Genetic coefficients of wheat in the CERES-Wheat model.

ضرایب Coefficients	توصیف Definition
P1V	Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization
P1D	Percentage reduction in development rate in a photoperiod shorter than the threshold (10 hour)
P5	Duration of the grain filling phase (°C d)
G1	Kernel number per unit canopy weight at anthesis (kernels g ⁻¹)
G2	Standard kernel size under optimum conditions (mg)
G3	Standard, non-stressed dry weight of a single tiller at maturity (g)
PHINT	Interval between successive leaf tip appearances (°C d)



شکل ۱- متوسط بارش و درجه حرارت‌های سالانه حداکثر، حداقل و میانگین آنها در یک دوره ۲۰ ساله در منطقه تربت جام
Figure 1- Yearly maximum, minimum and mean temperature and precipitation during 20 years period for Torbat-e Jam, Iran

نتایج و بحث

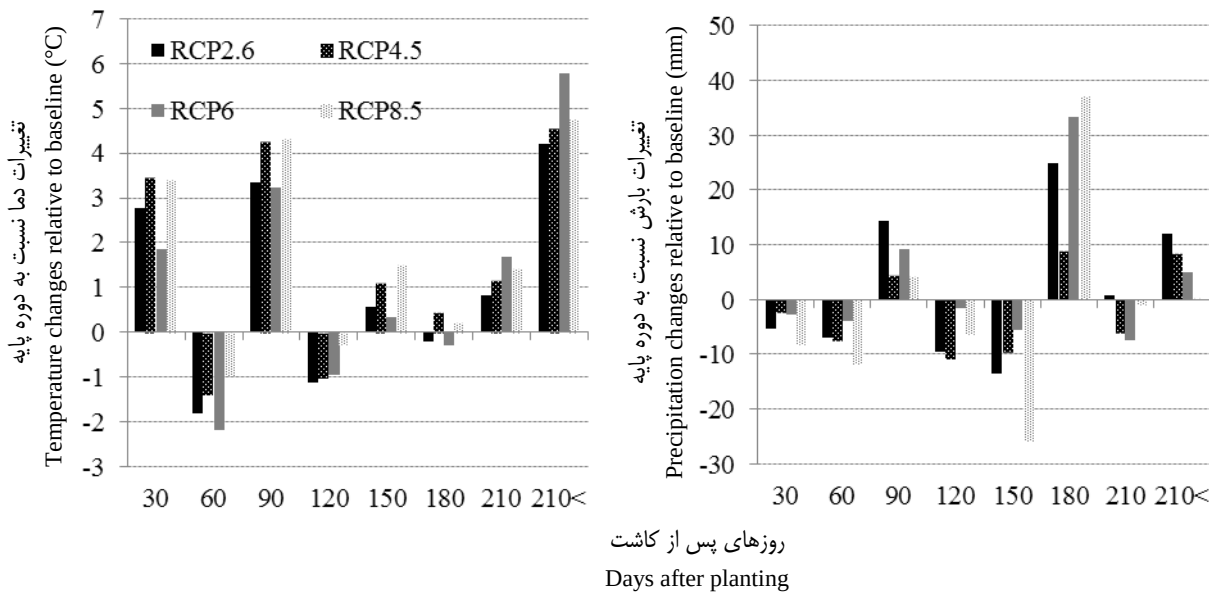
تغییرات عوامل آب و هوایی

۲۰ ساله ۵۱ میلی‌متر کمتر از پنج ساله ابتدایی این دوره بوده است (شکل ۱). تغییرات احتمالی متغیرهای آب و هوایی در ۳۰ سال آینده نسبت به دوره پایه در طول دوره رشد گندم نیز نشان داد که تغییرات دما در طول فصل رشد بین ۲/۲- تا ۵/۷ خواهد بود. همچنین به‌طور متوسط گندم در طول دوره رشد خود افزایش ۱/۱، ۱/۶، ۱/۲ و ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی را به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP6 تا ۳۰ سال آینده تجربه خواهد کرد (شکل ۲). ضریب تغییرات سالیانه دما نیز در دوره پایه حدود ۶ درصد و در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP6 به RCP8.5 به‌ترتیب ۳/۳، ۲/۹، ۳/۴ و ۳ درصد بود. نکته قابل توجه این است که گندم افزایش ۴/۲ تا ۵/۷ درجه سانتی‌گرادی را در مراحل پایانی دوره پر شدن دانه خود (۲۱۰ تا ۲۲۶ روز بعد از کاشت)، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیمی نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد. نتایج همچنین نشان داد میزان بارش در طول دوره رشد

با توجه به اینکه داده‌های هواشناسی در شهرستان تربت‌جام از سال ۱۳۷۷ تاکنون ثبت شده است، لذا تغییرات آب و هوایی در این بازه زمانی به‌عنوان دوره پایه بررسی شد. بررسی متوسط دما و بارش در پنج ساله ابتدایی و انتهایی این دوره پایه ۲۰ ساله نشان داد که میانگین دمای حداقل به میزان ۵۲/۰ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ۵۰/۰ درجه سانتی‌گراد و به‌طور متوسط ۵۱/۰ درجه سانتی‌گراد در طول این ۲۰ سال افزایش داشته است (شکل ۱). همچنین بررسی میانگین دما در طول دوره رشد گندم (۲۰ مهر تا اواسط خرداد) نشان داد که دما در طول این دوره ۲۰ ساله حدود ۱/۶ درصد در پنج ساله انتهایی دوره نسبت به پنج ساله اول دوره بیشتر بود (جدول ۴). از طرفی متوسط میزان بارش سالیانه نیز در پنج سال انتهایی این دوره

تغییرات سالیانه بارش نیز نشان داد که ضریب تغییرات در دوره پایه حدود ۳۰ درصد بود و در شرایط تغییر اقلیم نیز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به ترتیب ۱۸/۴، ۱۳، ۲۸/۷ و ۲۱/۵ درصد بود.

گندم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۹ و ۸ درصد کاهش و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP6 به ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد افزایش خواهد داشت (شکل ۲). پراکنش بارش نیز نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم، میزان بارش در زمان قبل از گل دهی تا دوره پر شدن دانه در گندم بیشتر از دوره پایه خواهد بود (شکل ۲). ضریب



شکل ۲- میانگین تغییرات بلندمدت بارش و دما در آینده در طول دوره رشد گندم تحت چهار سناریو مختلف اقلیمی نسبت به دوره پایه در منطقه تربت جام

Figure 2- Mean of long-term variations in precipitation and temperature for the near future during wheat growth period under four different climate scenarios compared to precipitation and temperature of Torbat-e Jam in baseline

هر دهه بوده است (Dong et al., 2018).

تغییرات عملکرد و ماده خشک تولیدی در ۲۰ سال گذشته

بررسی تغییرات عملکرد دانه گندم شبیه سازی شده توسط مدل CEREC-Wheat در دوره پایه (۱۳۷۷ تا ۱۳۹۶) نشان داد که متوسط عملکرد دانه گندم در پنج سال ابتدایی این دوره ۴۶۳۱ کیلوگرم در هکتار بود و در پنج سال انتهایی این دوره به ۴۸۸۴ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۴). بدین ترتیب یک افزایش ۵ درصدی در میزان عملکرد گندم در این دوره ۱۹ ساله کشت گندم مشاهده می شود. بررسی انحراف معیار عملکرد گندم در خاک های متفاوت نیز نشان داد که میزان تغییرات عملکرد گندم از سال های ابتدایی این دوره به سمت سال های پایانی آن کاهش یافته است (شکل ۳). دلیل کاهش انحراف معیار عملکرد در سال های اخیر می تواند ناشی از تغییر پراکنش بارش و افزایش سهم بارش های بهاری از کل بارش ها باشد (شکل ۴). در واقع تغییر پراکنش بارش ها به سمت بهار، باعث شده است که تاثیر تفاوت ظرفیت ذخیره رطوبتی

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی شاخص های مربوط به دما در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ گزارش کردند که به طور کلی در استان خراسان رضوی تعداد روزهای یخبندان و روزهای یخی کاهش یافته، و بالعکس تعداد روزهای آفتابی و نهایتاً دما روند افزایشی داشته است. همچنین افزایش ۳ درجه سانتی گراد در میانگین دمای سالانه مشهود در دوره ۵۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) گزارش شده است (Ahmadi and Radmanesh, 2014). باباییان و نجفی نیک (Babaeyan and Najafi-Nik, 2011) افزایش ۱/۵ درجه سانتی گراد دما در استان خراسان رضوی را تا سال ۲۰۳۹ پیش بینی کردند. آنها همچنین گزارش کردند که به طور متوسط میزان بارش با کاهش متوسط ده درصدی در استان خراسان رضوی در یک دوره ۱۷ ساله (۱۹۹۸-۲۰۰۵) روبه رو بوده است، با این وجود توزیع بارش ها نشان داد که میزان بارش های اواخر زمستان و بهار در این دوره افزایش داشته است. مطالعه تغییرات اقلیمی در آسیا نیز نشان داد که بین سال های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۲، منطقه مغولستان چین شاهد افزایش ۰/۳ درجه سانتی گراد در دما و کاهش ۴/۳ میلی متری بارش ها در

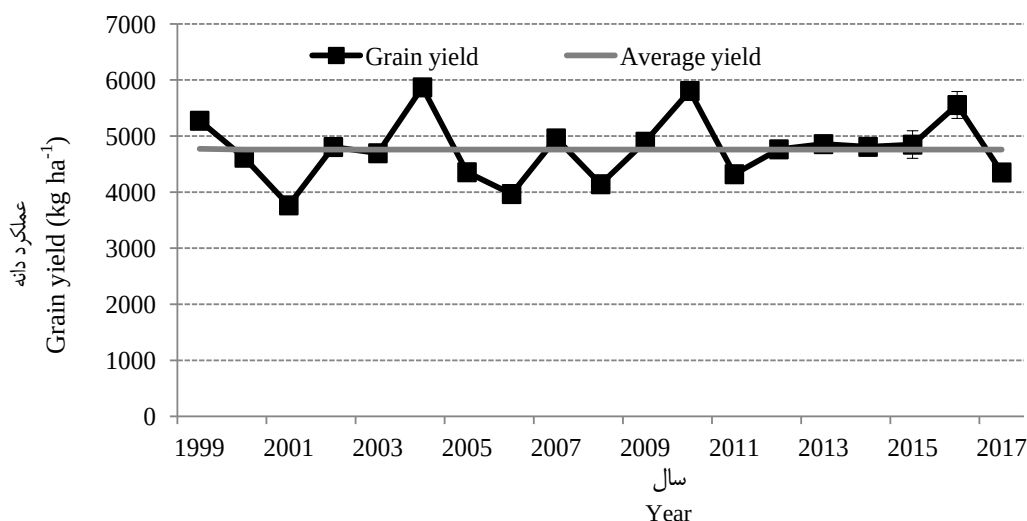
بافت‌های متفاوت خاکی بر عملکرد گندم کمتر شده باشد. به علاوه بررسی تغییرات ماده خشک تولیدی گندم در دوره پایه نیز نشان داد که متوسط ماده خشک تولیدی گندم در پنج ساله ابتدایی این دوره نسبت به پنج ساله انتهایی دوره حدود ۲/۳ درصد افزایش یافته است (جدول ۴). با توجه به کاهش میزان بارندگی سالانه و عدم تغییر میزان تشعشع خورشیدی و همچنین ثابت در نظر گرفتن غلظت دی‌اکسید کربن و مدیریت کودی در طول دوره پایه، مهمترین دلیل افزایش ماده خشک تولیدی می‌تواند ناشی از تغییرات دما و پراکنش بارش در طول فصل رشد زراعی باشد. بررسی‌ها نشان داد که باوجود کاهش میزان کل بارش‌ها در سال‌های پایانی دوره مورد مطالعه نسبت به سال‌های ابتدایی آن، توزیع بارش‌ها در زمان رشد زایشی گندم در سال‌های انتهایی دوره مورد مطالعه ۵۰ درصد بیشتر از سال‌های ابتدایی آن بوده است (شکل ۴). همچنین افزایش دما در طول دوره رشد به‌خصوص در طی فصل سرد می‌تواند موجب تسریع سرعت رشد و نمو برگ و نهایتاً افزایش کسر نور جذبی توسط گندم شود. بررسی کسر نور جذبی گندم حاکی از افزایش ۲/۴ درصدی افزایش کسر نور جذبی در پنج ساله پایانی دوره پایه نسبت به ۵ ساله ابتدایی آن دارد (جدول ۴). به علاوه بررسی شاخص برداشت نیز نشان داد که میزان شاخص برداشت در گندم از ۳۸ درصد در پنج سال ابتدای دوره پایه به ۳۹ درصد در انتهای دوره پایه افزایش یافت (جدول ۲). دلیل افزایش شاخص برداشت گندم را نیز می‌توان به تغییر توزیع بارش‌ها در طی این دوره ۲۰ ساله نسبت داد، به‌طوری‌که با

وجود کاهش بارش‌ها در زمان رشد رویشی گندم میزان بارش‌ها بعد از مرحله گرده‌افشانی گندم (تقریباً اواخر فروردین) در طی ۲۰ سال گذشته از حدود ۱۰ میلی‌متر به ۲۰ میلی‌متر افزایش یافته است (شکل ۴). لازم به ذکر است با شروع فصل بهار و کشت محصولات با ارزش اقتصادی بیشتر به‌ویژه کشت خربزه در منطقه، اولویت کشاورزان منطقه تأمین آب برای محصولات با ارزش‌تر می‌باشد و بدین ترتیب دور آبیاری گندم به‌منظور تأمین آب مورد نیاز برای کشت صیفی‌جات مورد اشاره افزایش می‌یابد. بنابراین به‌دلیل عدم دسترسی به میزان آب کافی در منطقه، وجود بارندگی‌های بهاره حکم آبیاری‌های تکمیلی در کشت گندم آبی را داشته و باعث افزایش شاخص برداشت شده است. در واقع افزایش کسر نور جذبی توسط گندم و دسترسی به رطوبت بیشتر در طول رشد زایشی گندم در سال‌های پایانی دوره پایه، منجر به افزایش تولید ماده خشک و همچنین تخصیص بیشتر ماده خشک به بخش عملکرد شده و نهایتاً افزایش عملکرد دانه گندم را در سال‌های پایانی دوره مورد مطالعه نسبت به سال‌های ابتدایی آن باعث شده است. همچنین بررسی نیاز آبی گندم (مجموع تبخیر و ترقق در طول فصل رشد) نشان داد که نیاز آبی گندم در ۵ ساله انتهای دوره پایه نسبت به پنج سال ابتدای آن در حدود ۵ میلی‌متر (۱ درصد) افزایش یافته است (جدول ۴)، که دلیل این افزایش اندک باوجود افزایش یک درصدی دما می‌تواند ناشی از کاهش سه روزه طول فصل رشد گندم در انتهای دوره مورد مطالعه باشد.

جدول ۴- میانگین متغیرهای آب و هوایی در طول دوره رشد گندم و صفات رشدی شبیه‌سازی شده گندم در پنج سال ابتدایی و انتهایی دوره پایه

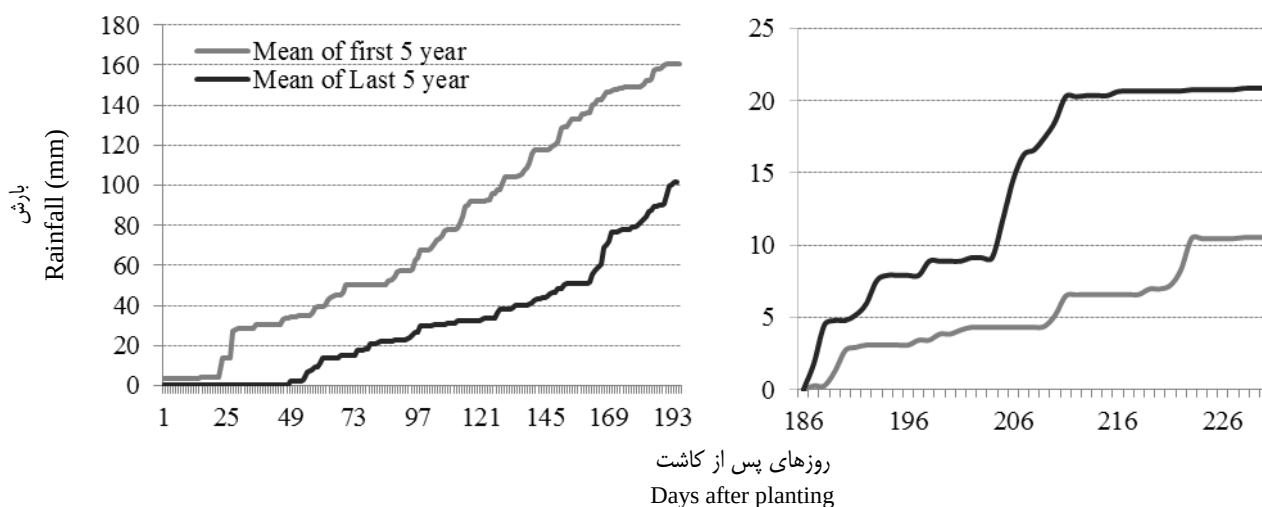
Table 4- Mean weather variables during wheat growth period and simulated growth parameters of wheat in the first and last 5 years of the baseline period

شاخص برداشت	کل ماده خشک تولیدی	عملکرد دانه	نیاز آبی	متوسط کسر نور جذبی در کل دوره رشد	متوسط میزان تشعشع خورشیدی	طول دوره رشد	میانگین درجه حرارت بعد از گرده‌افشانی	میانگین درجه حرارت قبل از گرده‌افشانی	دوره پایه (۲۰ ساله)
Harvest index (%)	Total biomass production (kg ha ⁻¹)	Grain yield (kg ha ⁻¹)	water needs (mm)	Average Light interception ration during growth period (%)	Average solar radiation (MJ m ⁻² day ⁻¹)	Total growth period (days)	Average temperature before anthesis (°C)	Average temperature before anthesis (°C)	Baseline period (20 years)
38	12912	4631	465	45.7	16.24	226	18.44	9.67	۵ سال ابتدایی First 5 years
39	13210	4884	470	46.8	16.25	223	18.53	9.82	۵ سال انتهایی Last 5 years
+1	+2.3	+5.0	+1.0	+2.4	+0.09	-1.3	+0.5	+1.5	میزان تغییرات Variation (%)



شکل ۳- تغییرات سالانه عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده در سه خاک لومی رسی، رسی و لوم رسی شنی در منطقه تربت جام بین سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۷۷

Figure 3- Annual variations of simulated wheat grain yield in clay loam, loam and sandy clay loam soils during 1998-2017 in Torbat-e Jam



شکل ۴- متوسط بارش در فصل کشت در زمان قبل (سمت چپ) و بعد از گرده‌افشانی (سمت راست) گندم. داده‌ها متوسط ۵ سال ابتدایی و ۵ سال انتهایی دوره مورد مطالعه (۱۳۹۶-۱۳۷۷) است

Figure 4- Mean of precipitation before (left) and after (right) wheat anthesis during growth season. Data are the average of first and last 5 years in the period of baseline (1999-2017)

در حالی است که افزایش دما طی ماه‌های پایانی دوره رشد (اردیبهشت و خرداد) از طریق افزایش تبخیر و تعرق و ایجاد تنش‌های گرمایی سبب کاهش عملکرد می‌گردد. گزارش شده است که بارندگی در ماه‌های فروردین و آبان رابطه بیشتری با عملکرد گندم در منطقه خراسان دارد، به طوری که می‌توان با مقدار

نتایج تحقیقات نشان داده است که افزایش دما طی ماه‌های آبان، آذر، بهمن، اسفند و فروردین تاثیر مثبتی بر عملکرد گندم و جو دارد (Mosaedi et al., 2015). این محققین همچنین بیان کردند که با توجه به یخبندان‌های زمستانه در منطقه، افزایش دما در این ماه‌ها برای شروع فتوسنتز و رشد مجدد مفید می‌باشد. این

بارندگی در این دو ماه عملکرد را با دقت قابل قبولی برآورد کرد (Tatari, 2008). نتایج یک مطالعه در استرالیا نشان داد که افزایش دما مسئول ۳۰ تا ۵۰ درصد از عملکرد تولیدی گندم بوده است، زیرا روند افزایشی دما از طریق بالا بردن دمای کمینه و کاهش تعداد وقوع یخبندان بر عملکرد تأثیر مثبت داشته است (Nicholls, 1997). در چین نیز گزارش شد که عملکرد گندم آبی در صورت تأمین آب کافی افزایش و عملکرد گندم دیم با توجه به کاهش بارندگی‌ها کاهش خواهد یافت (Lv et al., 2013). کاهش طول دوره رشد و افزایش تبخیر تعرق در طول دوره رشد گندم آبی نیز در شرایط تغییر اقلیم در کشور چین گزارش شده است (Lv et al., 2013). محققین گزارش کردند که افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم باعث تجمع سریع‌تر درجه روزهای رشد گندم و در نتیجه باعث افزایش سرعت توسعه کانوپی می‌شود (Kirby et al., 1990)، که این افزایش سرعت توسعه برگ و کانوپی در شرایط عدم تنش رطوبتی و عناصر غذایی می‌تواند منجر به افزایش راندمان مصرف نور جذبی گردد (Ludwig and Asseng, 2006).

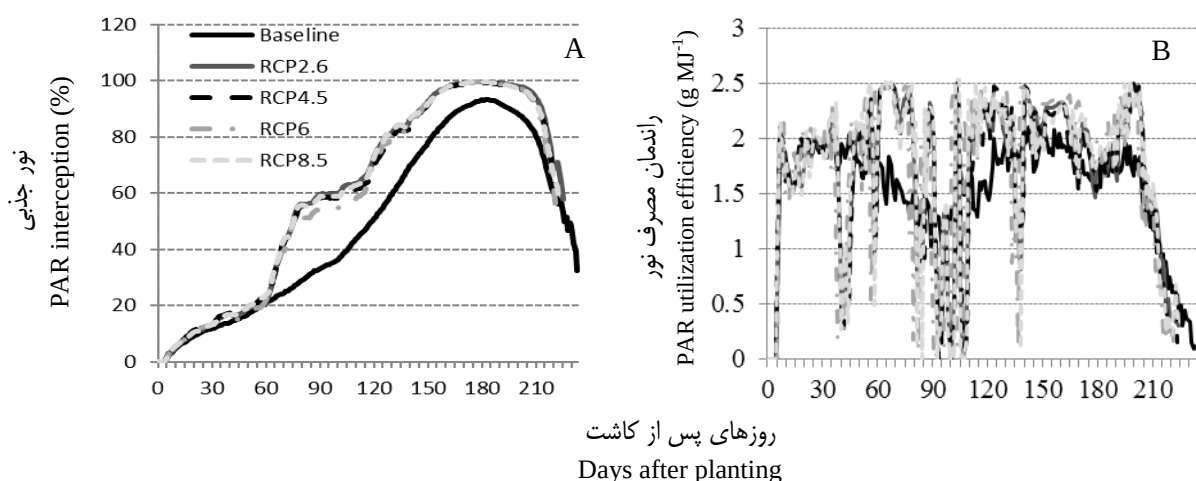
تغییرات عملکرد در آینده نزدیک با فرض ثابت بودن مدیریت های زراعی

بررسی طول دوره رشد گندم برای یک دوره ۳۰ ساله در آینده نزدیک (۲۰۴۷-۲۰۱۸) به وسیله مدل شبیه سازی رشد گندم نشان داد که طول دوره رشد تا گرده افشانی از حدود ۱۹۶/۶ روز در دوره پایه به ۱۹۳/۸، ۱۹۳/۷، ۱۹۳ و ۱۹۲/۶ روز به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 کاهش خواهد یافت (جدول ۵). طول دوره پر شدن دانه (فاصله بین گرده افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک) نیز از ۲۹ روز در دوره پایه به حدود ۲۷/۲، ۲۶/۹، ۲۶ و ۲۶/۹ روز، به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 کاهش خواهد یافت (جدول ۵). همانطور که مشاهده می‌شود نسبت کاهش طول دوره پر شدن دانه در مقایسه به طول دوره رشد رویشی گندم بیشتر است (جدول ۵)، که با توجه به افزایش شدیدتر دما در اواسط طول دوره پر شدن (شکل ۲) در مقایسه با دوره رشد رویشی گندم قابل توجیه است. بررسی تغییرات عملکرد نیز نشان داد که عملکرد دانه در خاک لومی رسی از مقدار ۵۰۷۴ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه به ۶۵۹۸، ۶۲۵۱، ۶۳۹۴ و ۶۶۷۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 و همچنین در خاکی با بافت لومی عملکرد دانه از ۴۹۹۲ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه به ۵۹۷۷، ۶۲۳۵ و ۶۱۸۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت. در خاک لومی رسی شنی نیز مقدار عملکرد از ۴۲۱۲ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه به ۵۰۹۵، ۴۸۹۷، ۵۲۰۰ و ۵۰۲۳ کیلوگرم در هکتار

به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت (جدول ۵). بدین ترتیب بررسی پاسخ عملکرد گندم به تغییر اقلیم نشان داد که افزایش عملکرد گندم آبی در خاک‌های با بافت رسی بیشترین و در خاک‌های لومی رسی شنی کمترین مقدار بود. به طور میانگین عملکرد دانه گندم با در طی روند تغییر اقلیم در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به ترتیب شاهد افزایش ۲۴/۸، ۱۹/۹، ۲۴/۹ و ۲۵/۲ درصدی در منطقه تربت جام خواهد بود. به منظور فهم چرایی افزایش عملکرد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه، کسر نور جذبی و راندمان مصرف نور گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین کسر نور جذبی در طول دوره رشد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به ترتیب حدود ۲۴/۶، ۲۲/۹، ۲۰/۸ و ۲۳/۸ درصد بیشتر از کسر نور جذبی در دوره پایه خواهد بود (شکل ۵). کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش تعداد روزهای آفتابی و نهایتاً دما در طول دوره رشد می‌تواند منجر به استقرار سریع‌تر سطح برگ و نهایتاً افزایش پتانسیل جذب نور در شرایط تغییر اقلیم شود. بررسی راندمان مصرف نور نیز نشان داد که راندمان مصرف نور گندم در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه افزایش یافته بود (شکل ۵). به طوری که میانگین راندمان مصرف نور در طول دوره رشد گندم تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 حدود ۷/۳، ۵/۵ و ۸/۳ درصد بیشتر از راندمان مصرف نور در دوره پایه خواهد بود. با وجود افزایش ۱۳ تا ۲۱ درصدی غلظت دی اکسید کربن و افزایش حدود ۲۱ تا ۲۵ درصدی کسر نور جذبی تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط پایه، به دلیل تنش‌های خشکی و دمایی اتفاق افتاده در طول دوره رشد کارایی مصرف نور متناسب با آنها افزایش نیافته است. تنش سرمایی (درجه حرارت‌های -۱۴ تا ۰/۴۴) در طول ۸۵ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پنجه زنی) مهمترین عامل کاهش راندمان مصرف نور در طول دوره رشد رویشی و تنش‌های حرارتی و خشکی در طول دوره پر شده دانه مهمترین عوامل کاهش راندمان مصرف نور در طول دوره پر شدن دانه در شرایط تغییر اقلیم بودند (شکل‌های ۲ و ۵). با وجود تنش‌های مقطعی و کاهش طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم، نتایج نشان داد که افزایش راندمان مصرف نور در کل دوره رشد گندم و همچنین افزایش شاخص برداشت ناشی از بارش‌های بهاری بیشتر (شکل ۲)، منجر به افزایش عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم خواهد شد. در تحقیقات متعدد افزایش دما به علت افزایش سرعت رشد و نمو مهمترین عامل گل‌دهی زودتر و کاهش طول دوره رشد گندم عنوان شده است (Einy-Narghese et al., 2013; Lv et al., 2015). کاهش طول دوره رشد غلاتی همچون ذرت (*Zea mays* L.) (Jones and Thornton, 2003) و برنج (*Oriza sativa* L.) (Prasad et al., 2006) نیز در پاسخ به افزایش

مختلف چین نیز تغییرات اقلیمی در مناطق مختلف چین تا سال ۲۰۸۰ میلادی عمدتاً باعث کاهش عملکرد دانه گندم در زراعت دیم و افزایش عملکرد آن در گندم آبی خواهد شد (Lv et al., 2013)، آنها همچنین مهمترین دلیل افزایش عملکرد دانه گندم در چین را افزایش پتانسیل جذب نور خورشید در شرایط تغییر اقلیم عنوان کردند. افزایش دما در ماه‌های سرد سال، افزایش سرعت اسیمیلایون دی‌اکسید کربن و کاهش اندک سرعت تعرق از جمله عوامل موثر بر افزایش پتانسیل تولید در گندم زمستانه عنوان شده است (Kang et al., 2009). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در محصولات زراعی مختلف باعث کاهش آب مصرفی در حدود ۳ تا ۸ درصد و افزایش عملکرد به اندازه ۸ تا ۳۱ درصد شده است (Kimball et al., 2002; Tao and Zhang, 2013). تاثیر همزمان افزایش دما و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در هر منطقه‌ای تعیین کننده پاسخ منطقه‌ای گیاهان به تغییر اقلیم خواهد بود، در صورتی که اثرات مثبت افزایش دی‌اکسید کربن بر اثرات منفی حاصل از تنش حرارتی پیشی بگیرد به شرط عدم تنش رطوبتی می‌تواند منجر به افزایش عملکرد شود (Cammarano et al., 2006). گزارش شده است که افزایش اندک دما همراه با افزایش دی‌اکسید کربن در محصولا سه کرانه همچون گندم منجر به افزایش عملکرد در شرایط تغییر اقلیم در کشور ایتالیا خواهد شد (Ventrella et al., 2012). همچنین بیان شد که کاهش طول دوره پر شدن دانه غلات در مناطق مدیترانه‌ای ایتالیا در شرایط تنش خشکی و دمای بالا از راهکار گریز از تنش و موجب بهبود عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم است.

دما گزارش شده است. لال و همکاران (Lal et al., 1998) گزارش کردند که یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما منجر به کاهش حدود ۵ روزه در زمان گلدهی گندم خواهد شد. بررسی پاسخ عملکرد گندم به تغییرات اقلیمی نشان داد که عملکرد دانه گندم دیم به دلیل افزایش تنش‌های آبی و گرمایی کاهش و عملکرد دانه گندم آبی به شرط تأمین نیاز آبی آن افزایش خواهد داشت (Lv et al., 2013; Koocheki and Nassiri, 2008). به‌طور مثال (Koocheki and Nassiri, 2008) با استفاده از نتایج شبیه‌سازی و بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به این نتیجه رسیدند که به طور متوسط عملکرد گندم دیم در کشور بین ۱۴ تا ۲۲ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی با مدل APSIM در استان فارس نیز نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار دی‌اکسید کربن عملکرد دانه گندم آبی در آینده روند افزایشی نسبت به دوره پایه خواهد داشت (Einy-Narghese et al., 2015). عملکرد دانه گندم دیم و آبی در بسیاری از مناطق آسیای مرکزی (قزاقستان) در شرایط تأمین نیاز آبی گندم با وجود تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰ میلادی ۱۲ درصد افزایش خواهد داشت (Sommer et al., 2013). نتایج این پژوهش نشان داد که دمای بالاتر که منجر به استقرار سریع‌تر بوته‌ها و حفظ رشد در ماه‌های سرد سال می‌شود، مهمترین عامل افزایش جذب نور و پتانسیل تولید ماده خشک و عملکرد در شرایط تغییر اقلیم خواهد بود. بررسی تغییر اقلیم در مناطق مختلف هند نیز نشان داد که پتانسیل تولید گندم آبی تا سال ۲۰۵۰ با وجود گرم‌تر شدن هوا در شرایط تأمین نیاز آبی گندم به میزان ۱۴ تا ۳۱ درصد افزایش خواهد یافت (Abeyasingha et al., 2016). در مناطق



شکل ۵- کسر نور جذبی (الف) و راندمان مصرف نور (ب) در گندم در طی دوره رشد تحت شرایط پایه و سناریوهای مختلف اقلیمی در منطقه تربت‌جام

Figure 5- The ratio of light interception (A) and light use efficiency (B) in wheat during the growth period under the baseline conditions and different climate scenarios in the Torbat-e Jam

جدول ۵- میانگین متغیرهای رشدی و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در گندم آبی تحت چهار سناریوی تغییر اقلیم و دوره پایه
 Table 5- Mean simulated variables of growth and yield in the irrigated wheat under the four scenarios of climate change and baseline period

سناریوها Scenarios	نوع خاک Soil type	طول دوره رشد رویشی تا گرده‌افشانی Growth period till anthesis (days)	طول دوره پر شدن دانه Length of grain fill period (days)	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)
دوره پایه baseline period	Clay loam	196.5 (4.01)	29.0 (1.8)	5074 (725)
	Loam	197.1 (4.1)	29.0 (1.6)	4992 (624)
	Sandy clay loam	196.3 (4.2)	29.0 (1.9)	4212 (853)
	میانگین Mean	196.6	29.0	4759
	Variation compare to the baseline period (%)	-1.4	-6.2	+24.8
CPR2.6	Clay loam	193.7 (2.4)	27.2 (0.57)	6598 (281)
	Loam	193.8 (2.3)	27.2 (0.56)	6131 (366)
	Sandy clay loam	193.8 (2.3)	27.2 (0.56)	5095 (534)
	میانگین Mean	193.8	27.2	5941
	Variation compare to the baseline period (%)	-1.5	-7.2	+19.9
CPR4.5	Clay loam	193.7 (1.88)	27.0 (0.66)	6251 (316)
	Loam	193.6 (1.89)	26.9 (0.64)	5977 (225)
	Sandy clay loam	193.7 (1.87)	26.9 (0.69)	4897 (396)
	میانگین Mean	193.7	26.9	5708
	Variation compare to the baseline period (%)	-1.8	-10.3	+24.9
CPR6	Clay loam	193 (1.4)	26(0.26)	6394 (301)
	Loam	193 (1.5)	26(0.18)	6235 (350)
	Sandy clay loam	193 (1.5)	26(0.18)	5200 (516)
	میانگین Mean	193	26	5943
	Variation compare to the baseline period (%)	-2.0	-7.2	+25.2
CPR8.5	Clay loam	192.6 (2.10)	26.9 (0.41)	6673 (434)
	Loam	192.6 (2.10)	26.9 (0.41)	6185 (475)
	Sandy clay loam	192.6 (2.10)	26.9 (0.41)	5023 (523)
	میانگین Mean	192.6	26.9	5960
	Variation compare to the baseline period (%)	-2.0	-7.2	+25.2

اعداد داخل پرانتز بیاگر انحراف معیارها است.

Values in parentheses are standard deviations.

تغییرات عملکرد در آینده نزدیک با فرض تغییر

مدیریت‌های زراعی

در سال‌های آتی، احتمال رخداد تنش خشکی ناشی از کاهش دسترسی به آب آبیاری به‌خاطر کاهش بارش‌ها و افزایش بی‌رویه استفاده از منابع آبی زیرزمینی در گذشته، بیشتر خواهد بود. در این شرایط، افزایش راندمان مصرف آب آبیاری از جمله راهکارهای سازگاری به بحران کمبود آب در بخش کشاورزی خواهد بود. بنابراین اثر کاهش آب آبیاری قابل دسترس و از طرفی افزایش راندمان مصرف آب آبیاری نیز در فرآیند شبیه‌سازی تولید گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور فرض شد که مجموع رطوبت حاصل از افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل و کاهش میزان بارش در طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه، در آینده قابل تأمین از طریق منابع آبی زیرزمینی نیست. در نتیجه حدود یک میلی‌متر در هر آبیاری و در مجموع ۳۰ میلی‌متر از مقدار کل آب آبیاری مصرفی در مدل کسر گردید. بدین صورت نتایج نشان داد که در شرایط کاهش میزان آب آبیاری به میزان حدود ۳۰ میلی‌متر در طول دوره رشد گندم (معادل ۳۰۰ مترمکعب در هکتار) بدون افزایش راندمان آبیاری، میزان متوسط افزایش عملکرد گندم در خاک‌های منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب حدود ۰/۸، ۲/۲، ۰/۱ و ۰/۴ درصد کمتر از سناریوی قبلی بود، که در آن میزان آب مصرفی ۳۰۰ متر مکعب بیشتر مصرف می‌شد (جدول ۶). با فرض کاهش میزان آب آبیاری و همزمان افزایش ۱۵ درصدی راندمان مصرف آب آبیاری (از ۵۵ به ۷۰ درصد) میزان متوسط عملکرد گندم در خاک‌های منطقه تربت‌جام در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 حدود ۲/۳، ۲/۳، ۲/۲ و ۰/۸ درصد بیشتر از سناریوی بود که در آن ۳۰۰ متر مکعب آب بیشتر ولی با راندمان آبیاری ۵۵ درصد استفاده شده بود (جدول ۶). پس در دامنه افزایش دمای ۱/۱ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی در طول دوره رشد گندم تا ۳۰ سال آینده و متوسط افزایش ۱۳ تا ۲۱ درصدی غلظت دی‌اکسید کربن تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیمی و با وجود کاهش آب قابل دسترس آبیاری به‌طور متوسط ۳۰۰ متر مکعب در هر هکتار در طول دوره رشد گندم، افزایش متوسط حدود ۲۰ تا ۲۷ درصدی عملکرد دانه گندم در آینده نزدیک محتمل خواهد بود. با توجه به اینکه نیاز آبی گندم منطقه حدود ۴۷۰۰ مترمکعب در طول دوره رشد توسط مدل برآورد شده (جدول ۴) و مجموع آبیاری و بارندگی احتمالی تا ۳۰ سال آینده نیز نیاز آبی گندم را پوشش داده است، در نتیجه افت عملکرد چندانی ناشی از کاهش مصرف آب آبیاری در هکتار مشاهده نشده است. نیاز آبی گندم در مشهد با استفاده از لایسمتر حدود ۵۴۰۰ متر مکعب تخمین زده شده است (Ghaemi et al., 2013). نیاز آبی گندم در مناطق مختلف

گندم‌کاری دنیا نیز در حدود ۴۵۰۰ تا ۶۵۰۰ (به‌طور متوسط ۵۵۰۰) متر مکعب گزارش شده است (Brouwer and Heibloem, 1986). بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیاز آبی گیاهان و کاهش بارندگی‌ها، در دراز مدت منجر به عدم تعادل بین ورودی و خروجی منابع آبی زیرزمینی و در نهایت کاهش این منابع آبی خواهد شد (Zhang et al., 2013). از طرفی افزایش جمعیت و کاهش کیفیت آب در دراز مدت نیز باعث کاهش سهم آب قابل دسترس برای کشاورزی خواهد شد (Mo et al., 2012). اگرچه کل آب مصرفی به دلیل کاهش طول دوره رشد گیاهان ممکن است در شرایط تغییر اقلیم کاهش پیدا کند، ولی سرعت تبخیر و تعرق روزانه با توجه به افزایش نیاز بخار اتمسفری با افزایش دما افزایش خواهد یافت. افزایش سرعت تبخیر و تعرق روزانه می‌تواند میزان وقوع تنش‌های کوتاه مدت در طی ساعات گرم روز و همچنین شدت تاثیرگذاری تنش‌ها بر رشد گیاهان را در شرایط کم آبی افزایش دهد (Mo et al., 2012; Mo et al., 2017). مو و همکاران (Mo et al., 2017) گزارش کردند که میزان آب مورد نیاز در طول سال زراعی برای کشت تناوب گندم و ذرت در شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت. آنها همچنین گزارش کردند به‌خاطر افزایش میزان تبخیر و تعرق سالانه ناشی از تغییر اقلیم، میزان ۴ تا ۲۴ درصد از آب مازاد بر تبخیر و تعرق که صرف پر شدن منابع آبی می‌شد کاسته خواهد شد. لازم به ذکر است که افزایش تبخیر و تعرق و کاهش میزان آب مصرفی ناشی از کمبود آب و آب‌شویی کمتر خاک ناشی از سیستم‌های آبیاری با راندمان بالاتر نهایتاً می‌تواند موجب شوری خاک نیز شود. افزایش شوری خاک نیز باعث کاهش ذخیره آب در خاک و کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد (Ashour and Al-Najar, 2012). آشور و النجار (Ashour and Al-Najar, 2012) با مطالعه میزان شوری در نوار غزه گزارش کردند که تاثیر تغییرات اقلیمی بر نیاز آبی گیاهان در خاک‌های با شوری بالا بسیار بیشتر از خاک‌های با شوری کمتر است. به‌علاوه افزایش جمعیت، تعداد نسل و تغییر عادات غذایی و توزیع جمعیت آفات گیاهی در مناطق زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نیز گزارش شده است (Castex et al., 2018). در مطالعه حاضر اثر تغییر اقلیم بر شوری خاک و پویایی آفات گیاهی در نظر گرفته نشده است که دلیل آن به‌خاطر عدم وجود مطالعات مرتبط و همچنین عدم توانایی مدل موجود برای شبیه‌سازی عوامل ذکر شده است. در نتیجه افزایش احتمالی پتانسیل تولید دانه گندم آبی در شرایط تغییر اقلیم با مد نظر قرار دادن پارامترهای تاثیرگذاری همچون شوری خاک و افزایش احتمالی خسارت آفات حتماً کمتر از مقدار برآورد شده توسط مدل‌های رشد گیاهان زراعی خواهد بود.

جدول ۶- میانگین عملکرد گندم شبیه سازی شده تحت چهار سناریوی تغییر اقلیم در شرایط کاهش آب آبیاری با وجود افزایش و عدم افزایش در کارایی سیستم آبیاری

Table 6- Mean of simulated yield of the irrigated wheat under the four scenarios of climate change in terms of reducing irrigation water with increasing and no increase in the irrigation efficiency

	نوع خاک	کارایی آبیاری ۵۵ درصد	کارایی آبیاری ۷۰ درصد
		Irrigation efficiency of 50%	Irrigation efficiency of 70%
CPR2.6	Clay loam	6585(392)	6720(366)
	Loam	5982(395)	6041(354)
	Sandy clay loam	5133(553)	5270(516)
	میانگین	5900	6010
	Mean		
	تغییرات نسبت به دوره پایه		
	Variation compare to the baseline period (%)	+ 24.0	+ 26.3
CPR4.5	Clay loam	6203 (307)	6320 (331)
	Loam	5830 (238)	5858 (203)
	Sandy clay loam	4774 (370)	4901 (363)
	میانگین	5602	5693
	Mean		
	تغییرات نسبت به دوره پایه		
	Variation compare to the baseline period (%)	+17.7	+19.6
CPR6	Clay loam	6391(319)	6458(315)
	Loam	6206(383)	6352(350)
	Sandy clay loam	5246(488)	5345(547)
	میانگین	5948	6052
	Mean		
	تغییرات نسبت به دوره پایه		
	Variation compare to the baseline period (%)	+ 25.0	+27.2
CPR8.5	Clay loam	6652 (434)	6677 (407)
	Loam	6173 (534)	6188 (480)
	Sandy clay loam	4998 (545)	5067 (522)
	میانگین	5941	5977
	Mean		
	تغییرات نسبت به دوره پایه		
	Variation compare to the baseline period (%)	+24.8	+25.6

اعداد داخل پرانتز بیاگر انحراف معیارها است.

Values in parentheses are standard deviations.

نتیجه گیری

بررسی اثر تغییر اقلیم در منطقه تربت جام با استفاده از مدل رشد گیاهی نشان داد که در ۲۰ سال گذشته افزایش ۵ درصدی در عملکرد دانه گندم با فرض ثابت بودن غلظت دی اکسید کربن روی داده است. نتایج همچنین نشان داد که در ۳۰ سال آینده (۲۰۴۷-۲۰۱۸)، تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار گازها، افزایش ۲۰ تا ۲۵ درصدی عملکرد دانه در گندم آبی را باعث خواهد شد. دمای بالاتر در شرایط تغییر اقلیم، که منجر به استقرار سریع تر بوته ها و حفظ رشد در ماه های سرد سال می شود و افزایش غلظت دی اکسید کربن به ترتیب مهمترین عوامل در افزایش جذب نور و راندمان مصرف نور و نهایتاً

افزایش پتانسیل تولید ماده خشک گندم خواهند بود. بررسی اثر تغییر اقلیم با فرض کاهش دسترسی به آب آبیاری به میزان ۳۰۰ متر مکعب در هکتار در طول دوره رشد گندم نیز نشان داد که افزایش راندمان مصرف آب آبیاری به میزان ۷۰ درصد باعث جبران اثر کمبود آب و حفظ افزایش پتانسیل تولید گندم به میزان ۲۰ تا ۲۷ درصد در آینده خواهد شد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه تربت جام می باشد.

References

1. Abeysingha, N. S., Singh, M., Islam, A., and Sehgal, V. K. 2016. Climate Change Impacts on Irrigated Rice and Wheat Production in Gomti River Basin of India: a case study. Springer Plus 5 (2): 1250-1270.
2. Ahmadi, F., and Radmanesh, F. 2014. Trend Analysis of Monthly and Annual Mean Temperature of the Northern Half of Iran Over the Last 50 Years. Journal of Water and Soil 28 (4): 855-865. (in Persian).
3. Ashour, E. K., and Al-Najar H. 2012. The Impact of Climate Change and Soil Salinity in Irrigation Water Demand in the Gaza Strip. Journal of Earth Science & Climatic Change 3 (2): 120-127.
4. Babaeyan, E., and Najafi-Nik, Z. 2011. Climate change analysis of Khorasan Razavi province using downscaling of GCM outflow during the period 2089-2020. Journal of Geography and Regional Development 15 (3): 24-32 (in Persian).
5. Brouwer, M., and Heibloem, A. E. 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. FAO Training manual no. 3. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
6. Cammarano, D., Rötter, R. P., Asseng, S., Ewert, F., Wallach, D., Martre, P., Hatfield, J. L., Jones, J. W., Rosenzweig, C., and Wolf, J. 2016. Uncertainty of Wheat Water Use: Simulated Patterns and Sensitivity to Temperature and CO₂. Field Crops Research 198 (11): 80-92.
7. Castex, V., Beniston, M., Calanca, P., Fleury, D., and Moreau, J. 2018. Pest Management under Climate Change: The Importance of Understanding Tritrophic Relations. Science of the Total Environment 616 (3): 397-407.
8. Dong, Z., Pan, Z., He, Q., Wang, J., Huang, L., Pan, Y., Han, G., Xue, X., and Chen, Y. 2018. Vulnerability assessment of spring wheat production to climate change in the Inner Mongolia region of China. Ecological Indicators 85 (2): 67-78.
9. Easterling, W. E. 2011. Guidelines for adapting agriculture to climate change. PP 282-321 in Hillel, D., Rosenzweig, C. (Eds.), Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation and Mitigation. Imperial College Press, London, United Kingdom.
10. Einy-Narghese, H., Deihimfar, R., Sofizade, S., Hagheghat, M., and Noori, O. 2015. Prediction of climate change on yield of wheat in Fars province using APSIM model. Journal of Crop production 8 (4): 203-224. (in Persian with English abstract).
11. Eyshi Rezaie, E., and Bannayan, M. 2012. Rainfed wheat yields under climate change in north eastern Iran. Meteorological Applications 19 (4): 346-354.
12. Fischer, G., Froberg, K., Parry, M. L., and Rosenzweig, C. 1994. Climate change and world food supply, demand and trade: who benefits, who loses? Global Environmental Change 4 (1): 7-23
13. Frisch, M. 2015. Predictivism and old evidence: a critical look at climate model tuning. European Journal for Philosophy of Science 5 (2): 171-190.
14. Ghaemi, M., Raeini Sarjaz, M., and Mosavi, M. 2013. Estimating the crop coefficient and the water requirement of the Gascogne wheat by using energy balance method in Mashhad. Journal of Irrigation and Water Engineering 11 (10): 58-68
15. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V.,

- Midgley, P. M. (Eds.), Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
16. Jones, P. G., and Thornton, P. K. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environment Change* 13 (1): 51-59.
17. Kang, Y., Khan Sh., and Ma, X. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science* 19 (12): 1665-1674.
18. Kimball, B. A., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy* 77 (1) 293-368.
19. Kirby, E. J. M. 1990. Number of main shoot leaves in wheat as affected by temperature. *Journal of Agricultural Science* 45 (2): 270-279.
20. Knutti, R. 2016. Climate model confirmation: from philosophy to predicting climate in the real world. In: Lloyd L, Winsberg E., eds. *Philosophical and Conceptual Issues in Climate Modelling*. Chicago: University of Chicago Press.
21. Koocheki, A., and Kamali, G. A., 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (3): 508-520. (in Persian with English abstract).
22. Koocheki, A., and Nassiri, M. 2008. Impacts of climate change and CO₂ concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Field Crops Research* 6 (2): 139-153 (in Persian with English abstract).
23. Lal, M., Singh, K. K., Rathore, L. S., Srinivasan, G., and Saseendran, S. A. 1998. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 89 (2): 101-114.
24. Landau, S., Mitchell, R. A. C., Barnett, V., Colls, J. J., Craigon, J., Moore, K. L., and Payne, R. W. 2000. A parsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 101 (2): 151-166.
25. Ludwig, F., and Asseng, S. 2006. Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems. *Agricultural Systems* 90 (1): 159-179.
26. Lv, Z., Liu, X., Cao, W., and Zhu, Y. 2013. Climate Change Impacts on Regional Winter Wheat Production in Main Wheat Production Regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology* 172 (4): 234-248.
27. Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Timothy, R., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., and Wilbanks, T. W. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463 (7282): 747-756.
28. Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., and van Vuuren, D. P. P. 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109 (1): 213-241.
29. Mo, X., Mo, Liu, S., and Lin, Z. 2012. Evaluation of an ecosystem model for a wheat-maize double cropping system over the North China Plain. *Environmental Modelling & Software* 32 (2): 61-73.
30. Mo, X. G., Hu, S. L., Lin, Z. H., Liu, S. X., and Xia, J. 2017. Impacts of Climate Change on Agricultural Water Resources and Adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research* 8 (2): 93-98.
31. Mosaedi, A., Mohammadi-Moghaddam, S., and Ghabaei-Sough, M. 2015. Modelling Rain-fed Wheat and Barley based on Meteorological Features and Drought Indices. *Journal of Water and Soil* 29 (3): 730-749. (in Persian with English abstract).
32. Nicholls, N. 1997. Increased Australian wheat yields due to recent climate trends. *Nature*. 387 (7311): 484-485.
33. Nouri, M., Homae, M., Bannayan, M., and Hoogenboom, G. 2016. Towards Modelling Soil Texture-Specific Sensitivity of Wheat Yield and Water Balance to Climatic Changes. *Agricultural Water Management* 177 (2): 248-63.
34. Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen, Jr., L. H., Sheehy, J. E., and Thomas, J. M. G. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research* 95 (2/3), 398-411.
35. Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J., Thorburn, P., Antle, J. M., Nelson, G. C., Porter, C., Janssen, S., Asseng, S., Basso, B., Ewert, F., Wallach, D., Baigorria, G., and Winter, J. M. 2013. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural Forest Meteorology* 170 (4): 166-182.
36. Sharatt, B. S., Knight, C. W., and Wooding, F. 2003. Climatic impact on small grain production in the Subarctic, in Region of the United States. *Arctic* 56 (3): 219-226.
37. Sommer, R., Glazirina, M., Yuldashev, T., Otarov, A., Ibraeva, M., Martynova, L., Bekenov, M., Kholov, B., Ibragimov, N., Kobilov, R., Karaev, S., M. Sultonov, F., Khasanova, M., Esanbekov, D., Mavlyanov, S., Isaev, S.,

- Abdurahimov, S., Ikramov, R., Shezdyukova, L., and Pauw E. de. 2013. Impact of Climate Change on Wheat Productivity in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 178 (1): 78-99.
38. Subash, N., and Ram Mohan, H. S. 2012. Evaluation of the Impact of Climatic Trends and Variability in Rice–Wheat System Productivity Using Cropping System Model DSSAT over the Indo-Gangetic Plains of India. *Agricultural and Forest Meteorology* 164 (1): 71-81.
39. Talliee, A., and Bahramy, N. 2003. The effects of rainfall and temperature on the yield of dryland wheat in Kermanshah province. *Iranian Journal of Soil and Waters Sciences* 17 (1): 9-18.
40. Tao, F. L., and Zhang, Z. 2013. Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: a new super-ensemble-based probabilistic projection. *Agric. Forest Mete Agricultural and Forest Meteorolog* 170 (1): 146-165.
41. Tatari, M. 2008. Dryland wheat yield prediction in Khorasan using climate and edaphic data by applying neural networks. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
42. Thorburn, P. J., Boote, K. J., Hargreaves, J. N. G., Poulton, P. L., and Jones, J. W. 2015. Cropping Systems Modelling in AgMIP: A New Protocol-Driven Approach for Regional Integrated Assessments. *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Integrated Crop and Economic Assessments*. Imperial College Press, London, United Kingdom 80-99 pp.
43. Ventrella, D., Charfeddine, M., Moriondo, M., Rinaldi, M., and Bindi, M. 2012. Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. *Regional Environmental Change* 12 (2): 407-419.
44. Wolf, J., Evans, L. G., Semenov, M. A., Eckersten, H., and Iglesias, A. 1996. Comparison of wheat simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses. *Climate Research* 7 (2): 253-270.
45. Zhang, G., Fei, Y., Liu, C., Feng, H., Yan, M., and Wang, J. 2013. Relationship between decline of shallow groundwater levels and irrigated agriculture on Hufu Plain of North China. *Advances Water Science* 24 (2): 228-234. (in Chinese).



Investigating the Impact of Climate Change on Irrigated Wheat Production under Torbat-e Jam Region for the Near Future

S. F. Saberali^{1*}, H. Nastari-Nasrabadi², M. Dostkhah -Ahmadi³

Received: 21-07-2018

Accepted: 18-09-2018

Introduction: Wheat production is an important component for national food security. Studying the impact of future climate change on crop production is crucial to manage crop productivity. Improving our understanding of potential responses of the wheat plant to these changes while taking into consideration agricultural management is required for identifying best adaptation strategies. In Khorasan Razavi province, over 12% of the total cultivated wheat area is belong to Torbat-e Jam region. The current study aimed to quantify the potential impacts of climate change on irrigated wheat yield in the next 30 years for this region.

Materials and Methods: In this study, information on regional cropping systems and meteorological data to study the effects of climate change were collected and finally, the impact of climate change on irrigated wheat yield was studied using simulation approaches under different climatic scenarios. Long-term daily weather data for future was generated using MarkSim weather generator software and the past meteorological data was gathered from regional weather station. Daily weather data generated by four scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 for a 30-year period. The generated and measured daily weather data was used for running CERES-Wheat model. Finally, crop model outputs were used to interpret climate change impacts on wheat growth and production.

Results and Discussion: The average air temperature during the wheat growth period showed that temperature increased about 1.6% in the last five years compared to the first five years of the baseline 30-years period. Furthermore, the average annual precipitation for the last 5 years was 51 mm less than the first 5 years of the baseline period. The air temperature will increase about 1.1, 1.6, 1.2 and 1.8 °C during the wheat growth period for the near future (30 years) under the RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 scenarios, respectively. The precipitation over the wheat growth period will reduce by 9 and 8% under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. Furthermore, the precipitation over the growth period would increase by 11 and 17% under RCP2.6 and RCP6 scenarios, respectively. The simulated wheat yield by the CEREC-Wheat model showed that the grain yield increased by 5% in the first 5 years compared to the last 5 years of the baseline period (1998-2017). The biomass production and harvest index (HI) also increased by 2.3 and 1%, respectively. The increased dry matter production and HI can be due to temperature increase during the cold seasons, and more amount of precipitation during the reproductive growth. The simulated wheat growth during the near future period (2018-2047) showed that wheat growth cycle will reduce from 5 to 7 days under different emission scenarios. In the different soil textures, wheat yield under RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 scenarios will increase by 24.4, 19.9, 24.9 and 25.2%, respectively. Furthermore, the highest and the lowest yield were obtained from clay and sandy clay loam soils, respectively. Under the different emission scenarios, the mean incident light and light use efficiency during the growth period would be increased by 20.8-24.6% and 5.5-8.3%, respectively, in projected climate change as compare to baseline period. Reducing irrigation water as amount of 300 m³ ha⁻¹ and simultaneous increase in irrigation water use efficiency are possible incident scenarios for the near future. Based on these scenarios, simulations showed that grain yield increased 26.3, 19.6, 27.2 and 25.6 % under RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 emission scenarios, respectively.

Conclusions: The increased temperature and atmospheric CO₂ concentration during the next 30 years will decrease wheat growth cycle, but increase the potential biomass and grain wheat yield under the different

1 and 2- Assistant Professor, Department of horticulture science and engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

3- Plant Production, Department of Agricultural Jihad, Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

(*- Corresponding Author Email: sf.saberali@yahoo.com)

emission scenarios. The results showed that the increased yield production will occur under climate change conditions, even if the available irrigation water would decrease by $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Keywords: Diffusion scenario, DSSAT, MarkSim, Simulation, Temperature rise

Contents

Effects of Deficit Irrigation and Wild Oat (<i>Avena ludoviciana</i>) Density on Yield and Yield Components of Wheat	13
A. R. Barjasteh- A. Nezami- H. R. Khazaei- E. Zand	
Yield Monitoring for Wheat and Sugar beet in Khorasan Province: 2- Estimation of Yield Gap	38
A. Koocheki- M. Nassiri Mahallati	
Effects of Biochar on Soil Fertility and Water Use Efficiency of Black Seed (<i>Nigella sativa</i> L.) under Water Stress Conditions	51
F. Abbaspour- H. R. Asghari- P. Rezvani Moghaddam- H. Abbasdokht- J. Shabahang- A. Baig Babaei	
Investigation the Physiological Traits Associated with Canola (<i>Brassica napus</i> L.) Genotypes Yield Improvement	72
A. Foroughi- A. Biabani- A. Rahemi Karizaki- Gh. A. Rassam	
Selectivity of Cold Tolerant Chickpea Genotypes under Controlled Condition (Cold room)	81
D. Sadeghzadeh-Ahari	
Evaluation of Root and Grain Yield of Wheat Cultivars Affected by Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Dry land Conditions	97
R. Naseri- M. Barary- M. J. Zarea- K. Khavazi- Z. Tahmasebi	
An Evaluation of the Relationship between Seed Yield and Oil Percentage with Some Important Agronomic Traits in Sesame by Using Path Analysis and Principal Component Analysis	110
B. Masoudi	
Assessment of Tolerance to Drought Stress at Reproductive Phase in Some Wheat Genotypes (<i>Triticum aestivum</i> L.) Using Drought Tolerance and Susceptibility Indices	121
V. Bahraini Vijuyeh- M. R. Dadashi- S. M. Nazeri	
The Effect of Combined Application of PGPR and Mycorrhizal Fungi in Intercropping of Linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.) and Faba bean (<i>Vicia faba</i> L.) on Growth Characteristics and Seed Yield	139
Kh. Alizadeh- E. Rezaei-Chiyaneh- R. Amirnia- M. Barin	
Simulation the Effect of Climate Change on Growth Period and Yield of three Hybrids of Maize (<i>Zea mays</i>) under Low Irrigation Conditions (Case study: Moghan Plain)	154
A. A. Rostami Ajirloo- M. R. Asgharipour- A. Ganbari- M. Joudi- M. Khoramivafa	
Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Barley Water use Efficiency in Cut-Off Condition	167
A. Abhari- E. Gholinezhad	
Investigating the Impact of Climate Change on Irrigated Wheat Production under Torbat-e Jam Region for the Near Future	185
S. F. Saberali- H. Nastari-Nasrabadi- M. Dostkhah-Ahmadi	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 17

No. 1

2019

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Mazaheri, D.	Crop Ecology	Prof., Tehran University
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@ferdowsi.um.ac.ir

Web Site: <https://jcsc.um.ac.ir>

Contents

Effects of Deficit Irrigation and Wild Oat (<i>Avena ludoviciana</i>) Density on Yield and Yield Components of Wheat	13
A. R. Barjasteh- A. Nezami- H. R. Khazaei- E. Zand	
Yield Monitoring for Wheat and Sugar beet in Khorasan Province: 2- Estimation of Yield Gap	38
A. Koocheki- M. Nassiri Mahallati	
Effects of Biochar on Soil Fertility and Water Use Efficiency of Black Seed (<i>Nigella sativa</i> L.) under Water Stress Conditions	51
F. Abbaspour- H. R. Asghari- P. Rezvani Moghaddam- H. Abbasdokht- J. Shabahang- A. Baig Bahaci	
Investigation the Physiological Traits Associated with Canola (<i>Brassica napus</i> L.) Genotypes Yield Improvement	72
A. Foroughi- A. Biabani- A. Rahemi Karizaki- G. A. Rassam	
Selectivity of Cold Tolerant Chickpea Genotypes under Controlled Condition (Cold room)	81
D. Sadeghzadeh-Ahari	
Evaluation of Root and Grain Yield of Wheat Cultivars Affected by Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Dry land Conditions	97
R. Naseri- M. Barary- M. J. Zarea- K. Khavazi- Z. Tahmasebi	
An Evaluation of the Relationship between Seed Yield and Oil Percentage with Some Important Agronomic Traits in Sesame by Using Path Analysis and Principal Component Analysis	110
B. Masoudi	
Assessment of Tolerance to Drought Stress at Reproductive Phase in Some Wheat Genotypes (<i>Triticum aestivum</i> L.) Using Drought Tolerance and Susceptibility Indices	121
V. Bahraini Vijayach- M. R. Dadashi- S. M. Nazeri	
The Effect of Combined Application of PGPR and Mycorrhizal Fungi in Intercropping of Linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.) and Faba bean (<i>Vicia faba</i> L.) on Growth Characteristics and Seed Yield ...	139
Kh. Alizadeh- E. Rezaei-Chiyaneh- R. Amirnia- M. Barin	
Simulation the Effect of Climate Change on Growth Period and Yield of three Hybrids of Maize (<i>Zea mays</i>) under Low Irrigation Conditions (Case study: Moghan Plain)	154
A. A. Rostami Ajiloe- M. R. Asgharipour- A. Ganbari- M. Joudi- M. Khoramivafa	
Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Barley Water use Efficiency in Cut-Off Condition	167
A. Abhari- E. Gholinezhad	
Investigating the Impact of Climate Change on Irrigated Wheat Production under Torbat-e Jam Region for the Near Future	185
S. F. Saberali- H. Nastari-Nasrabadi- M. Dostkhan-Ahmadi	