



جلد ۱۸ شماره ۴

سال ۱۳۹۹

(شماره پیاپی: ۶۰)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات علمی-پژوهشی

۳۷۳..... بررسی عملکرد و راندمان مصرف آب در گیاه دارویی جای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در منطقه مشهد
پرویز رضوانی مقدم، قربانعلی اسدی، مهسا اقحوانی شجری، فاطمه رنجبر

۳۸۵..... اثر کشت مخلوط سه تیپ رشدی لوبیا در سری های جایگزینی بر شاخص های رشدی آن ها
یونس رامش جان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سرور خرم دل

۴۰۱..... ارزیابی مدل های گیاهی AquaCrop و ORYZA2000 در شبیه سازی عملکرد برنج تحت مدیریت های زراعی در شهر رشت
پویا اعلایی بازکیایی، بهنام کامکار، ابراهیم امیری، حسین کاظمی، مجتبی رضایی

۴۱۳..... ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی ژنوتیپ های کنجد (*Sesamum indicum* L.) بر اساس شاخص های تحمل به تنش
حسین اسدی، رضا پرادران، محمدجواد نقه الاسلامی، سید غلامرضا موسوی

۴۳۵..... عملکرد و اجزای عملکرد تریتیگاله تحت تاثیر کاربرد برگی سیلیکون، کود نیتروژن و تنش آبی در مرحله ی زایشی
وحید براتی، احسان بیژن زاده

۴۵۱..... اثر کنترل علف های هرز بر رشد و عملکرد محصول در کشت مخلوط افزایشی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)
محمد جلالی، سید وحید اسلامی، سهراب محمودی، احمد آتین

۴۶۵..... ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ های جدید کینوا در کشت بهاره در منطقه کرج
محمود باقری، زینب عنایچه، ساسان کشاورز، بیژن فولادی

۴۷۷..... واکنش عملکرد ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) به کاربرد فسفر و شاخص های کارایی آن
کامران میرزاشاهی، منصور معیری، فریدون نورقلی پور

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی 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

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

سال ۱۳۹۹

شماره ۴

جلد ۱۸

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سردبیر:

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)

عبدالرضا 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 شهبازی 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)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

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

مقالات پژوهشی

- 373 بررسی عملکرد و راندمان مصرف آب در گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در منطقه مشهد
پرویز رضوانی مقدم، قربانعلی اسدی، مهسا افحوانی شجری، فاطمه رنجبر
- 385 اثر کشت مخلوط سه تیپ رشدی لوبیا در سری‌های جایگزینی بر شاخص‌های رشدی آن‌ها
یونس رامش جان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سرور خرم دل
- 401 ارزیابی مدل‌های گیاهی AquaCrop و ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد برنج تحت مدیریت‌های زراعی در شهر رشت
پویا اعلایی بازکیایی، بهنام کامکار، ابراهیم امیری، حسین کاظمی، مجتبی رضایی
- 413 ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش
حسین اسدی، رضا برادران، محمدجواد ثقه الاسلامی، سید غلامرضا موسوی
- 435 عملکرد و اجزای عملکرد تریتیگاله تحت تاثیر کاربرد برگی سیلیکون، کود نیتروژن و تنش آبی در مرحله‌ی زایشی
وحید براتی، احسان بیژن‌زاده
- 451 اثر کنترل علف‌های هرز بر رشد و عملکرد محصول در کشت مخلوط افزایشی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) و سیب‌زمینی
(*Solanum tuberosum* L.)
محمد جلالی، سید وحید اسلامی، سهراب محمودی، احمد آئین
- 465 ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های جدید کینوا در کشت بهاره در منطقه کرج
محمود باقری، زینب عنافجه، ساسان کشاورز، بیژن فولادی
- 477 واکنش عملکرد ارقام گلرنک (*Carthamus tinctorius* L.) به کاربرد فسفر و شاخص‌های کارایی آن
کامران میرزاشاهی، منصور معیری، فریدون نورقلی پور



مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد و راندمان مصرف آب در گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در منطقه مشهد

پرویز رضوانی مقدم^{۱*}، قربانعلی اسدی^۲، مهسا اقحوانی شجری^۳، فاطمه رنجبر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۰

چکیده

به منظور بررسی عملکرد و راندمان مصرف آب در گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت کرت‌های نوری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: مدیریت تغذیه به عنوان فاکتور افقی (کود شیمیایی، کود گاوی، کود گاوی+کود شیمیایی و شاهد) و مدیریت آبیاری به عنوان فاکتور عمودی (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه چای ترش). نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۸۴/۷ سانتی‌متر)، تعداد شاخه جانبی (۶/۶ عدد)، عملکرد خشک غوزه (۸۶۰/۱ کیلوگرم در هکتار)، زیست توده (۷۱۹۷ کیلوگرم در هکتار)، شاخص برداشت و حداکثر راندمان مصرف آب به ازای عملکرد غوزه و زیست توده (به ترتیب ۰/۱ و ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب) گیاه در شرایط کاربرد تلفیقی کود گاوی+کود شیمیایی مشاهده شد. تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه باعث حصول حداکثر ارتفاع گیاه (۹۱/۵)، تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی و جانبی (به ترتیب ۲۰/۱ و ۴۷/۵ عدد)، عملکرد غوزه (۶۷۲/۷ کیلوگرم در هکتار) و زیست توده (۶۹۴۴ کیلوگرم در هکتار) شد. نتایج اثرات متقابل حاکی از آن بود که مصرف هم‌زمان کود گاوی و شیمیایی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه توانست تعداد شاخه جانبی، عملکرد غوزه خشک و زیست توده را به بالاترین مقدار افزایش دهد. حداکثر راندمان مصرف آب به ازای عملکرد غوزه و زیست توده (۰/۲ و ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب) با مصرف تلفیقی کود گاوی+شیمیایی به همراه تأمین ۳۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. به طور کلی، نتایج حاکی از آن بود که مصرف تلفیقی منابع تغذیه‌ای و تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز آبی گیاه اکثر صفات گیاه چای ترش را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، شاخص برداشت، عملکرد غوزه، کود گاوی

مقدمه

(Linares et al., 2015). چای ترش بومی آفریقا بوده و در تمام مناطق استوایی و گرم کشت می‌شود و در ایران به نام‌های چای مکی، چای قرمز و چای ترش شناخته می‌شود (Torabi, 2004). چای ترش گیاهی روزکوتاه و خودگشن است و به سرما و یخبندان حساس می‌باشد (Duke, 2006). این گیاه به عنوان یک محصول جدید مطرح بوده و از حیث کاربرد، چند منظوره می‌باشد و جهت استفاده خوراکی (غوزه) و یا استفاده از الیاف، مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Abid Askari, 1995).

گیاه چای ترش به عنوان یک گیاه چند منظوره و غنی از مواد غذایی می‌تواند در سیستم‌های زراعی برخی از مناطق کشور توسعه یابد. با این وجود، کاشت گیاهان دارویی جدید در مناطقی مانند ایران از یک طرف نیازمند ارزیابی میزان مقاومت آن‌ها به تنش خشکی بوده و از سویی دیگر بایستی موضوع تولید این گیاهان بر اساس اصول اکولوژیک مورد توجه باشد (Fallahi et al., 2017).

بهره‌گیری از اصول کشاورزی فشرده به خصوص استفاده بیش از حد از کودها و سموم شیمیایی موجب شده است تا میزان مواد آلی و فعالیت جوامع میکروبی در خاک‌های زراعی کشور روز به روز کمتر شود. مطالعات نشان داده است که مصرف بیش از حد و نامتعادل

گیاهان دارویی یکی از منابع غنی کشور ایران می‌باشند که بسیاری از این گیاهان پتانسیل خوبی جهت مقاومت در برابر تنش‌های محیطی دارند و دارای مصارف چندمنظوره می‌باشند و از این رو لازم است به عنوان گیاه جدید به سیستم‌های زراعی معرفی شوند (Rezvani Moghaddam, 2008). یکی از گونه‌های گیاهی که می‌تواند به عنوان گیاهی جدید در برخی از مناطق کشور به سیستم‌های زراعی معرفی شود، چای ترش است (Fallahi et al., 2017).

گیاه دارویی چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. گیاهی یک‌ساله و علفی است که به خانواده مالواسه^۴ تعلق دارد و در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کند (Borras

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب استاد، دانشیار، پژوهشگر پس‌دکتری و دکتری اگرواکولوژی،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: rezvani@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v18i4.74509

4- Malvaceae

نیازهای اکولوژیکی و زراعی این گیاه در مناطق جدید، دارای اهمیت است (Fallahiet *et al.*, 2017).

کم آبیاری یکی از روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در زمین‌های زراعی است که در آن گیاه زراعی به مقداری کمتر از نیاز آبی آبیاری می‌شود (Akbari Nodehi, 2014). کم آبیاری از طریق روش‌هایی مانند کاهش حجم آب مصرفی در هر نوبت آبیاری، افزایش فواصل آبیاری، قطع آبیاری در زمان مشخصی از رشد و حذف آبیاری‌هایی که کمترین بازدهی را دارند، قابل اجرا می‌باشد (Feres and Soriani, 2007; Ghorbani Nasrabad and Hezargaribi, 2010). برخی از پژوهش‌های علمی موضوع مدیریت آبیاری (Rahbarian *et al.*, 2011) بر رشد، عملکرد و برخی شاخص‌های کیفی میوه چای ترش مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به ضرورت استفاده بهینه از منابع محدود آب و منابع تغذیه‌ای در بخش کشاورزی و به دلیل اهمیت معرفی گیاهان سازگار به تنش، در این پژوهش امکان کشت گیاه دارویی چای ترش در شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی بررسی شده است. علاوه بر این، به دلیل نقش مدیریت صحیح منابع غذایی در کاهش تلفات آب استفاده از این نهاده‌ها نیز در این تحقیق بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. به منظور بررسی ارتباط راندمان مصرف عناصر و آب در گیاه دارویی چای ترش در منطقه مشهد، آزمایشی به صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل مدیریت تغذیه (فاکتور افقی) و آبیاری (فاکتور عمودی) با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل مدیریت تغذیه در چهار سطح (کود شیمیایی، کود گاوی، کود گاوی+ کود شیمیایی و شاهد) و مدیریت آبیاری در سه سطح (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه چای ترش) بود که اثر تلفیقی این تیمارها در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. قبل از اجرای آزمایش، نمونه‌گیری از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر صورت گرفت و همراه با کود گاوی مورد استفاده، مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت (جدول ۱ و ۲).

کودهای شیمیایی در بلند مدت، باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی، فعالیت‌های بیولوژیکی و خصوصیات فیزیکی خاک، افزایش تجمع نیترات و عناصر سنگین، اسیدی شدن خاک و در نهایت منجر به افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد (Ghost and Bhat, 1998; Adediran *et al.*, 2004; Aseri *et al.*, 2008). باید از نهاده‌هایی استفاده کرد که علاوه بر تأمین نیازهای فعلی گیاه، پایداری سیستم‌های کشاورزی در درازمدت را نیز به همراه داشته باشد (Murty and Ladha, 1988). بنابراین، کشاورزی پایدار از طریق جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی و افزایش راندمان نهاده‌ها مانند آب، درصد افزایش حاصلخیزی و سلامت خاک، حفظ محیط زیست، افزایش کیفیت محصولات و حفاظت از منابع می‌باشد (Aghhavan Shajari, 2012; Ebhin *et al.*, 2006). در همین راستا، بررسی‌های مختلف نشان داده است که کاربرد منابع تغذیه‌ای آلی باعث بهبود رشد و نمو گیاه دارویی چای ترش گردید (Nabila and Aly, 2002; Gendy *et al.*, 2012).

کاهش کیفیت خاک‌های زراعی به دلیل استفاده گسترده از روش‌ها و نهاده‌های کشاورزی رایج، در کنار کاهش منابع آب و افزایش شدت تنش خشکی در کشور، به کارگیری روش‌هایی که موجب کاهش شدت این مشکلات شوند را ضروری می‌نماید. در این راستا، استفاده از کودهای دامی و حجم کافی آب می‌تواند ضمن تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه، موجب کاهش اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی شود. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد (Yang *et al.*, 2006). محدودیت شدید منابع آب و هزینه بالای تأمین و انتقال آب در برخی مناطق سبب می‌شود که سطح بهینه آبیاری را کمتر از مقدار آب مورد نیاز برای تولید حداکثر عملکرد گیاه در نظر گیرند (Fallahi *et al.*, 2017). اعمال مدیریت صحیح تغذیه‌ای و آبیاری و نیز کاشت گیاهان مقاوم به خشکی از جمله اقدامات مؤثر برای افزایش بازدهی مصرف آب و در نتیجه بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد (Fuladivanda *et al.*, 2010; Safari *et al.*, 2013). چای ترش یکی از گیاهان کم‌نیاز به آب و عناصر غذایی و نسبتاً مقاوم به خشکی است، به طوری که کشت این گیاه در مناطق خشک ایران از جمله استان سیستان و بلوچستان، رایج می‌باشد (Akbarinia, 2003). بنابراین، مطالعه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of experimental location

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته خاک pH	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	بافت خاک Soil texture
3.21	7.24	135	13.2	0.063	0.59	لومی Loam

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کود گاوی
Table 2- Chemical properties of cow manure

نوع کود Fertilizer type	نیتروژن Total Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
کود گاوی Cow manure	0.57	0.09	1.1	6.1	6.8

جدول ۳- داده‌های هواشناسی منطقه آزمایش سال ۱۳۹۳-۹۴
Table 3- Meteorological data for the area tested in the years 2014-15

فاکتورهای هواشناسی Meteorology data	سال Year	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March
مشهد Mashhad													
حداقل دما Minimum temperature (°C)	2014	1.3	8.8	15	18.4	11.6	12.5	1.8	-3.5	-8.2	-8.6	-0.2	-8.8
	2015	8.2	14.1	19.0	22.7	20.1	15.59	11.34	5.37	0.43	0.83	-0.8	7.07
حداکثر دما Maximum temperature (°C)	2014	29.3	36.3	39.8	39.5	39.6	39	35.9	22.7	19.9	19.6	19.8	27
	2015	21.6	28.7	34.7	36.8	35.5	26.46	25.8	17.01	11.58	13.76	11.22	17.12
میانگین دما Mean temperature (°C)	2014	14.5	21.2	26.9	29.1	26	24.8	15.1	9.7	3.3	4.4	7.3	10.9
	2015	14.9	21.4	26.9	29.7	27.8	21.88	18.57	11.19	6.01	7.29	5.21	12.09
مجموع بارش Total monthly precipitation (mm)	2014	28.2	26.6	0.4	0	2.8	0.4	13.8	17.6	16	12.7	13.7	58.4
	2015	26.1	23.8	0.3	0	0	0	16.9	42.4	10.5	5	2.9	73.7

کودی بر اساس نمونه خاک ارسالی به آزمایشگاه ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم اوره برای این گیاه ارایه گردید.

سپس مقدار نیتروژن توصیه شده به عنوان معیار تعیین مقادیر تیمار کود گاوی قرار داده شد. بر این اساس مقدار نیتروژن تیمار کود شیمیایی، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و مقدار تیمار کود گاوی ۱۶ تن در هکتار محاسبه گردید. لازم به توضیح است که بر اساس منابع موجود عناصر غذایی کود گاوی تماما در سال اول آزاد نمی‌شود و تنها به میزان ۴۰ تا ۵۰ درصد آن در سال اول کاربرد، برای گیاه قابل استفاده است (Pimentel, 1993). لذا مقدار کود گاوی به میزان دو برابر معادل نیتروژن کود شیمیایی لحاظ شد (۳۲ تن در هکتار). تمامی کودهای فسفر و پتاسیم و یک سوم از نیتروژن (کود شیمیایی) هم‌زمان با کشت به کرت‌های مربوط به تیمار کود شیمیایی اضافه شد و باقیمانده کود نیتروژن ۹۰ روز پس از کشت بعد از اولین وجین همراه با آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. وجین علف‌های هرز در یک نوبت ۹۰ روز پس از کشت به صورت دستی توسط کارگر انجام شد.

به منظور اجرای این آزمایش بذریه‌های تهیه شده از توده بومی استان سیستان و بلوچستان در ابتدای بهمن ماه ۱۳۹۳، بذور در داخل سینی‌های نشا حاوی کوکوپیت و ماسه در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد کشت شدند و پس از آن هر هفته سه مرتبه آبیاری صورت گرفت. بعد از ۵-۳ روز جوانه‌زنی به طور کامل صورت گرفت. یک هفته قبل از کاشت در زمین اصلی، در انتهای فروردین ماه ۱۳۹۴ کاشت نشاها در مزرعه صورت گرفت. نشاها در زمان کاشت در مرحله سه برگی بودند.

به منظور اجرای این آزمایش در مزرعه زمینی که طی دو سال گذشته آیش بود انتخاب و مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه و دیسک‌زنی در اوایل فروردین ۱۳۹۴ انجام شد. کود گاوی مورد استفاده در کرت‌های مورد نظر به طور یکنواخت پخش و بلافاصله توسط بیل با خاک مخلوط شد. سپس با استفاده از شیارساز، جوی و پشته‌هایی به عمق ۳۰ سانتی‌متر و فاصله ۷۵ سانتی‌متر ایجاد گردید. فاصله دو کرت اصلی و فاصله بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. همچنین نشاها به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف کشت شدند؛ به طوری که هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف بود. توصیه

برداشت این گیاه قبل از فرا رسیدن اولین سرمای پاییزه در مشهد در تاریخ ۲۰ مهرماه ۱۳۹۳ صورت گرفت. قبل از برداشت تعداد سه بوته از هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی و جانبی در بوته محاسبه شد. پس از حذف دو ردیف کناری هر کرت به عنوان اثر حاشیه، زیست توده گیاهی کل برداشت و سپس عملکرد غوزه، زیست توده و شاخص برداشت تعیین گردید.

به منظور تعیین تقریبی نیاز آبی گیاه ترش و نبود اطلاعات کافی در مورد ضرایب گیاهی (Kc) این گیاه، از نیاز آبی گیاه پنبه (*Gossypium herbaceum*) که با این گیاه هم خانواده و از لحاظ مورفولوژیکی و دوره رشدی مشابهت‌های زیادی دارد استفاده شد. نیاز آبی گیاه پنبه توسط نرم افزار OPTIWAT (Alizadeh and Kamali, 2007) در شرایط اقلیمی مشهد ۱۵۰۰۰ مترمکعب در سال برآورد شد. سپس تیمارهای ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب ۴۵۰۰، ۱۰۵۰۰ و ۱۵۰۰۰ متر مکعب) تعیین و آب آبیاری در هر دور آبیاری توسط کنتور (WPI-SDC DN50(2)) ثبت خواهد شد. همین طور میزان آب وارده از طریق بارندگی با توجه به داده‌های ایستگاه هواشناسی محاسبه خواهد شد.

داده‌های به دست آمده از آزمایش، در رابطه (۱) قرار گرفته و میزان کارایی مصرف آب برای گیاه محاسبه شد.

$$WUE = D / Wp + Wi \quad (1)$$

که در آن: D: عملکرد اقتصادی، WP: آب بارندگی، Wi: آب آبیاری می‌باشد.

راندمان مصرف آب بر حسب کیلوگرم ماده خشک بر کیلوگرم آب مصرفی (آب آبیاری + بارندگی) محاسبه شد. اعمال و تیمارهای آبیاری دو هفته پس از نشا کردن گیاه انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم افزار Minitab Ver. 16 صورت گرفت. میانگین‌ها نیز به کمک آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار تیمارهای تغذیه‌ای، آبیاری و اثر متقابل تیمارها بر ارتفاع بوته بود (جدول ۴). حداکثر ارتفاع بوته چای ترش در صورت کاربرد تلفیقی کود شیمیایی + کود گاوی (۸۹/۲۸ سانتی‌متر) و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (۹۱/۴۶ سانتی‌متر) به دست آمد؛ به طوری که با افزایش آبیاری از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، میزان این شاخص ۲۶ درصد بهبود یافت. کاربرد هم‌زمان تیمارهای کودی در مقایسه با مصرف منفرد آن‌ها توانست ارتفاع بوته را ۱۶ درصد افزایش دهد (جدول ۵). نتایج اثرات متقابل

نشان داد که کاربرد کود گاوی و تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز آبی گیاه (۱۰۰/۵ سانتی‌متر) و سپس مصرف تلفیقی کود گاوی + کود شیمیایی به همراه تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز آبی گیاه (۱۰۰/۳ سانتی‌متر) باعث حصول حداکثر ارتفاع گیاه و مصرف کود شیمیایی به همراه تأمین ۳۰ درصدی نیاز آبی گیاه (۵۹/۵۰ سانتی‌متر) باعث حصول حداقل مقدار این شاخص در گیاه چای ترش گردید (جدول ۶).

رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2017) در آزمایشی روی چای ترش دریافتند که حداکثر ارتفاع بوته در شرایط مصرف هم‌زمان کود گاوی و کود شیمیایی به دست آمد. در پژوهش دیگری، مشاهده شد که حداکثر مقدار این شاخص (۱۸۹ سانتی‌متر) با کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی حاصل شد (Aknabi et al., 2009). به علاوه، گد (Gad, 2011) در مطالعه‌ای بر گیاه چای ترش دریافت که مصرف ۲۰ تن در هکتار کود مرغی، ارتفاع بوته را به حداکثر رساند. با توجه به مطالعات انجام شده، می‌توان بیان کرد که کاربرد کودهای حیوانی، از طریق بهبود فراهمی عناصر غذایی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث بهبود شاخص‌های رشدی گیاه از جمله ارتفاع بوته می‌شود (Darzi et al., 2009). مطالعه فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2017) نیز حاکی از افزایش ارتفاع بوته چای ترش در شرایط فراهمی رطوبت نسبت به شرایط کم آبیاری بود. به نظر می‌رسد، تلفیق استفاده از منابع تغذیه‌ای و آبیاری سبب شده است که از یک طرف گیاه در طول فصل رشد با کمبود منابع غذایی مواجه نشود و از طرفی از شرایط موجود به نفع تولید اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد استفاده کرده باشد.

تعداد شاخه جانبی

نتایج بیانگر اثر معنی‌دار اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر تعداد شاخه جانبی بود (جدول ۴). تیمار تلفیقی کود گاوی + کود شیمیایی و تیمار شاهد به ترتیب باعث حصول حداکثر و حداقل تعداد شاخه جانبی در گیاه چای ترش گردید. نتایج اثرات متقابل حاکی از آن بود که مصرف تلفیقی کود شیمیایی و دامی و نیز تأمین ۱۰۰ نیاز آبی گیاه چای ترش توانست شاخص مذکور را به بالاترین تعداد خود برساند (جدول ۵).

در طی پژوهشی روی گیاه چای ترش گزارش شد که استفاده تلفیقی از منابع کودی تعداد شاخه‌های جانبی گیاه را افزایش داد (Aknabi et al., 2009). در مطالعه دیگری حداکثر تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه چای ترش در شرایط استفاده تلفیقی از کود مرغی و دامی گزارش شده است (Nabila and Aly, 2002). در پژوهشی دیگر، کاربرد ۲۰ تن کود مرغی در هکتار باعث حصول حداکثر شاخه‌های جانبی گیاه چای ترش گردید (Gad, 2011). نتایج آزمایشی حاکی از کاهش تعداد شاخه جانبی تحت تأثیر کم آبیاری (آبیاری پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) (Fallahi et al.,

بود؛ به طوری که آبیاری مناسب گیاه باعث بهبود ۳۵ درصدی این شاخص نسبت به شرایط اعمال تنش خشکی بود. به نظر می‌رسد اعمال تنش خشکی، رطوبت قابل دسترس خاک را در محیط ریشه

گیاه کاهش داده و به دنبال آن جذب آب و عناصر غذایی با مشکل مواجه می‌شود و بر صفات رشدی گیاه اثر منفی می‌گذارد.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد گیاه دارویی چای ترش تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 4- Results of analysis variance (mean square) for yield components of Roselle affected by different treatments

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Numbers of lateral branch	تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی Bolls number of the main branch	تعداد غوزه‌ی شاخه جانبی Bolls number of the lateral branch
تکرار Replicate	2	145.5*	5.333*	36.75**	4.69ns
تغذیه‌ای Nutrient	3	770.0**	9.657**	45.82**	1654**
تکرار×تغذیه‌ای Replicate×Nutrient	6	96.36*	0.074ns	1.880ns	231.8**
آبیاری Irrigation	2	1771**	6.812**	393/8**	710.0**
تکرار×آبیاری Replicate×Irrigation	4	95.72*	0.020ns	1.312ns	36.19ns
تغذیه‌ای×آبیاری Nutrient×Irrigation	6	90.19*	4.969**	32.97**	192.4*
خطا Error	12	23.13	0.9282	3.025	47.55
C.V (%) ضریب تغییرات	-	6	17.8	10.2	19.5

***, ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اثر معنی‌دار
 **, * and ns significant difference over control at $p < 0.01$ and $p < 0.05$ and not significantly respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اجزای عملکرد گیاه دارویی چای ترش تحت تاثیر اثرات متقابل تیمارهای مختلف

Table 5- Results of mean comparisons of yield components of Roselle affected by different treatments

تغذیه‌ای Nutrient	آبیاری Irrigation	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Numbers of lateral branch/plant	تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی Bolls number of the main branch	تعداد غوزه‌ی شاخه جانبی Bolls number of the lateral branch
شاهد Control	۳۰٪ نیاز آبی	68.00cd	4.50bc	8.50d	10.00d
	30% of Water requirements				
	۷۰٪ نیاز آبی	93.50ab	3.50c	16.00bc	20.50cd
	70% of Water requirements				
کود گاوی Cow manure	۱۰۰٪ نیاز آبی	92.50ab	5.00abc	24.50a	23.50bcd
	100% of Water requirements				
	۳۰٪ نیاز آبی	67.00cd	4.00c	15.00bc	29.00bcd
	30% of Water requirements				
کود شیمیایی Chemical fertilizer	۷۰٪ نیاز آبی	83.00abc	4.83bc	19.67ab	27.50bcd
	70% of Water requirements				
	۱۰۰٪ نیاز آبی	100.5a	5.50abc	25.50a	37.50bc
	100% of Water requirements				
کود گاوی+کود شیمیایی Cow manure + Chemical fertilizer	۳۰٪ نیاز آبی	59.50d	4.50bc	12.50cd	29.50bcd
	30% of Water requirements				
	۷۰٪ نیاز آبی	72.00cd	8.00ab	16.00bc	39.00bc
	70% of Water requirements				
	۱۰۰٪ نیاز آبی	72.50cd	5.50abc	15.50bc	65.50a
	100% of Water requirements				
	۳۰٪ نیاز آبی	77.00bcd	5.50abc	8.00d	46.00ab
	30% of Water requirements				
	۷۰٪ نیاز آبی	90.50ab	5.67abc	19.83ab	48.50ab
	70% of Water requirements				
	۱۰۰٪ نیاز آبی	100.3a	8.50a	24.00a	48.50ab
	100% of Water requirements				

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Similar letter in each column indicate no significant difference at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی و جانبی

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده اثرات معنی‌دار تیمارهای تغذیه‌ای، آبیاری و اثرات متقابل آن‌ها بر تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی و جانبی گیاه چای‌ترش بود (جدول ۴). مصرف کود گاوی و سپس تیمار کود گاوی+کود شیمیایی به‌ترتیب باعث حصول بیشترین تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی و جانبی گردید. به‌علاوه، بیشترین تعداد غوزه‌ی شاخه اصلی و جانبی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌دست آمد؛ به‌طوری‌که با کاهش آبیاری تا ۳۰ درصد نیاز آبی گیاه، تعداد این شاخه‌ها به‌ترتیب ۵۱ و ۳۵ درصد کاهش یافت. این موضوع حاکی از آن است که کاهش تأمین نیاز آبی گیاه، باعث اختلال در روند فتوسنتز و در نتیجه کاهش تعداد غوزه چای‌ترش گردید.

رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2017) گزارش نمودند که کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و گاوی باعث بهبود تعداد کل غوزه‌های گیاه چای‌ترش شد. محقق دیگری نیز در پژوهشی روی گیاه چای‌ترش دریافت که استفاده از ۲۰ تن کود مرغی باعث حصول حداکثر تعداد میوه گیاه چای‌ترش شد (Gad, 2011). نبیلا و آلی (Nabila and Aly, 2002) نیز افزایش تعداد میوه گیاه چای‌ترش را تحت تأثیر استفاده تلفیقی کود مرغی و دامی گزارش نمودند. به‌طورکلی، افزایش محتوای آب و قابل دسترس شدن عناصر غذایی به‌طور مناسب، می‌تواند در بهبود رشد گیاه اثرگذار باشد.

عملکرد غوزه خشک

نتایج بیانگر آن بود که اثرات ساده تیمارهای آزمایشی بر عملکرد غوزه چای‌ترش معنی‌دار بود (جدول ۶). حداکثر مقادیر عملکرد غوزه چای‌ترش با مصرف کود گاوی به همراه کود شیمیایی و همچنین با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. مصرف تلفیقی منابع تغذیه‌ای نسبت به مصرف منفرد آن‌ها باعث بهبود ۳۵ درصدی عملکرد غوزه گردید. نتایج نشان داد که افزایش تأمین نیاز آبی گیاه از ۳۰ به ۱۰۰ درصد موجب بهبود عملکرد غوزه شد (جدول ۷). علاوه بر این، بیشترین عملکرد خشک غوزه در شرایط استفاده توأم کود گاوی+کود شیمیایی و تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز آبی و کمترین مقدار آن در تیمار عدم استفاده از تیمار تغذیه‌ای به همراه تأمین ۳۰ درصد نیازآبی به‌دست آمد (جدول ۸).

صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2014) در پژوهشی بر گیاه ختمی (*Althaea officinalis*) مشاهده کردند که کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تأثیرات معنی‌داری را در افزایش سطح برگ و وزن گل در بوته به همراه داشت. اکنابی و همکاران (Aknabiet al., 2009) با بررسی تأثیر کودهای آلی و معدنی بر عملکرد غوزه گیاه چای‌ترش گزارش کردند که تیمار تلفیقی کمپوست و کود

شیمیایی باعث حصول حداکثر عملکرد غوزه گردید. علاوه براین، تیمار پنج تن کمپوست به‌همراه ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن باعث افزایش ۴۵ درصدی عملکرد غوزه نسبت به تیمار کود شیمیایی شد. به‌طورکلی، این محققان استفاده تلفیقی از منابع کودی را بهتر از کاربرد منفرد آن‌ها گزارش نمودند. آن‌ها بیان نمودند که استفاده تلفیقی از منابع کودی از طریق ایجاد اثر تحریک‌کنندگی عناصر معدنی بر آلی موجب تعادل بهتر عناصر موجود در خاک و در نتیجه استفاده مناسب‌تر گیاه و بهبود رشد آن‌ها می‌گردد؛ که این نتیجه با گزارش‌های اکنابی (Aknabi, 2002) بر بامیه (*Abelmoschus esculentus*) و ذرت (*Zea mays*) مطابقت داشت. نبیلا و آلی (Nabila and Aly, 2002) نیز بیان کردند که زیست‌توده، وزن تازه و عملکرد غوزه گیاه چای‌ترش تحت تأثیر استفاده توأم کود مرغی و دامی افزایش یافت. نعمتی و دهمرده (Nemati and Dehmarde, 2015) در پژوهشی دریافتند که تیمار مصرف ۱۰ تن در هکتار کود حیوانی × مصرف کود زیستی نیتروکسین باعث حصول بیشترین عملکرد اقتصادی چای‌ترش گردید. نتایج گندری و همکاران (Gendry et al., 2012) نیز نشان داد که مصرف منفرد یا تلفیقی کود گاوی با کودهای زیستی موجب بهبود عملکرد کمی غوزه در چای‌ترش شد. پارسامطلق (Parsa Motlagh, 2015) نیز اثرات مصرف کود گاوی و ورمی‌کمپوست را بر بهبود شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکرد غوزه چای‌ترش مفید گزارش نمودند. در پژوهش دیگری، فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2017) مقدار عملکرد غوزه تک‌بوته چای‌ترش را در تیمارهای تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۱۷/۴، ۱۶/۲ و ۱۳/۳ بیان نمود.

نتایج فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2017) بیانگر آن بود که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد غوزه چای‌ترش گردید؛ به‌طوری‌که عملکرد غوزه در تیمار فراهمی مطلوب، ۴۱ درصد بیشتر از گیاهان تحت تنش خشکی بود. تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و راندمان مصرف نور باعث کاهش عملکرد گیاهان دارویی می‌شود (Fallahi et al., 2017). در این ارتباط، در پژوهشی کاهش رشد و عملکرد غوزه چای‌ترش تحت تأثیر تنش خشکی گزارش شد (Khalil and Yousef, 2014). به‌طورکلی، کاربرد هم‌زمان کودهای دامی و شیمیایی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی توانست کارایی جذب مواد غذایی و در نتیجه عملکرد گیاهان مورد مطالعه را افزایش بخشد (Mallanagouda, 1995). از طرفی، تأمین رطوبت و منابع غذایی کافی برای گیاه، مانع از بروز تنش و افزایش رشد و توسعه ریشه و درنهایت بهبود عملکرد گیاه می‌گردد.

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد گیاه دارویی چای ترش تحت تاثیر تیمارهای مختلف
Table 6- Results of analysis variance (mean square) of Roselle yield affected by different treatments

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	عملکرد خشک غوزه Boll dry yield	عملکرد زیست توده Biomass yield	شاخص برداشت Harvest index	راندمان مصرف آب غوزه Boll water use efficiency	راندمان مصرف آب زیست توده Biomass water use efficiency
تکرار Replicate	2	109959**	1167180**	13.74**	0.0016**	0.0176**
تغذیه ای Nutrient	3	431775**	8238414**	41.27**	0.0072**	0.1416**
تکرار* تغذیه ای Replicate* Nutrient	6	3127ns	7607**	0.3738ns	0.00008ns	0.0001**
آبیاری Irrigation	2	93758**	9346317**	5.945**	0.0152**	2.084**
تکرار* آبیاری Replicate* Irrigation	4	1458ns	8360**	0.0794ns	0.0001*	0.0019**
تغذیه ای* آبیاری Nutrient* Irrigation	6	2738ns	161629**	0.9758ns	0.0011**	0.0224**
خطا Error	12	2301	149	0.5578	0.00005	0.000002
C.V. (%) ضریب تغییرات	-	8.3	20.0	9.2	10.15	16.0

***, ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اثر معنی دار
***, ** and ns significant difference over control at $p < 0.01$ and $p < 0.05$ and not significantly respectively.

عملکرد زیست توده و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی دار تیمارهای آزمایشی بر زیست توده و شاخص برداشت گیاه چای ترش بود (جدول ۶). مصرف توأم کود گاوی+کود شیمیایی باعث حصول بیشترین مقادیر زیست توده و شاخص برداشت شد. افزون بر این، مصرف تلفیقی کود گاوی و شیمیایی در مقایسه با مصرف منفرد آن ها باعث بهبود ۲۰ درصدی این صفات گردید. حداکثر مقادیر زیست توده و شاخص برداشت به ترتیب با تأمین ۱۰۰ و ۷۰ درصدی نیاز آبی گیاه به دست آمد. افزایش میزان رطوبت مورد نیاز گیاه تا ۱۰۰ درصد میزان زیست توده را ۸ درصد و شاخص برداشت چای ترش را ۲۳ درصد بهبود بخشید (جدول ۷). نتایج اثرات متقابل نیز حاکی از آن بود که مصرف هم زمان کود گاوی+شیمیایی و تأمین ۱۰۰ نیاز آبی گیاه زیست توده را به حداکثر مقدار خود رسانید (جدول ۸).

نتایج پژوهشی بیانگر آن بود که کاربرد تلفیقی کودهای دامی و شیمیایی در مقایسه با کاربرد جداگانه هر کدام از آن ها، عملکرد غوزه را ۱۳ درصد بهبود بخشید (Rezvani Moghaddam et al., 2017). محقق دیگر در طی پژوهش روی گیاه چای ترش دریافت که کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی در مقایسه با کاربرد منفرد آن ها تاثیرات به مراتب بهتری بر عملکرد کمی و کیفی این گیاه داشت (Aknabi et al., 2009). نتایج رضوانی مقدم و همکاران (Moghaddam et al., 2015) بیانگر همبستگی مثبت بین عملکرد گیاه چای ترش با ارتفاع بوته بود؛ لذا به نظر می رسد در تیمارهایی که ارتفاع گیاه بیشتر بوده، گیاه از توزیع برگ مناسب تری برخوردار بوده و از فضای موجود جهت تولید غوزه بیش تر استفاده خواهد کرد، لذا عملکرد گیاه نیز بیشتر شده است. به طور کلی، به نظر می رسد کاربرد

تلفیقی کودهای آلی، زیستی و شیمیایی باعث بهبود تمامی شاخص های رشدی گیاه چای ترش گردید که این موضوع باعث افزایش زیست توده این گیاه در تیمارهای تلفیقی گردید (جدول ۸). فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2017) افزایش ۵۰ درصدی زیست توده در شرایط فراهمی رطوبت را در مقایسه با شرایط اعمال تنش خشکی گزارش نمودند. در پژوهشی اثرات منفی تنش خشکی بر رشد چای ترش به عواملی مانند بسته شدن روزنه ها، کاهش جذب دی اکسید کربن، کاهش سطح فتوسنتز کننده، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت بالابردن غلظت شیره سلولی و تغییر در مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوزفسفات نسبت داده شد (Parsa Motlagh, 2015).

شاخص برداشت حاکی از توانایی گیاه برای اختصاص منابع بین ساختار رویشی و زایشی گیاه است. به نظر می رسد، تلفیق کود گاوی و شیمیایی موجب فراهمی مناسب تر عناصر غذایی و آب و ایجاد محیط بهتر جهت رشد گیاه شده و در نتیجه موجب تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به بخش زایشی نسبت به رویشی شده که این موضوع باعث حصول حداکثر شاخص برداشت در این تیمار گردید. فراهمی نیتروژن برای گیاه از طریق تاثیر بر تجمع کربوهیدرات ها بر مخازن میوه گیاهان مختلف نیز بسیار حائز اهمیت است (Gyllapsy et al., 1993). تهامی زرنندی و همکاران (Tahami Zarandi, 2000) نیز در تحقیقی بیان کردند که تاثیر کودهای آلی و زیست توده بر شاخص برداشت گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) مثبت بود. همچنین اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavan Shajari et al., 2012) حداکثر شاخص برداشت گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum*)

(*sativum*) را تحت تاثیر تیمار تلفیقی کود میکوریزا به همراه کود شیمیایی گزارش نمودند.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی چای ترش تحت تاثیر تیمارهای مختلف
Table 7- Results of mean comparisons of yield components of Roselle affected by different treatments

تیمارها Treatments	عملکرد غوزه خشک Boll dry yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	راندمان مصرف آب غوزه Boll water use efficiency (kg.m ⁻³)	راندمان مصرف آب زیست توده Biomass water use efficiency (kg.m ⁻³)
تغذیه‌ای Nutrient					
شاهد Control	325.5c	4875d	6.68c	0.04c	0.59c
کود گاوی Cow manure	572.2b	5839b	9.72b	0.07b	0.72b
کود شیمیایی Chemical fertilizer	555.2b	5789c	9.52b	0.07b	0.71b
کود گاوی+کود شیمیایی Cow manure + Chemical fertilizer	860.1a	7197a	11.91a	0.11a	0.89a
آبیاری Irrigation					
۳۰٪ نیاز آبی 30% of Water requirements	497.5c	5392c	8.76b	0.11a	1.21a
۷۰٪ نیاز آبی 70% of Water requirements	564.5b	5439b	10.16a	0.05b	0.51b
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% of Water requirements	672.7a	6944a	9.45ab	0.04c	0.46c

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Similar letter in each column indicate no significant difference at 5% probability level using Duncan's multiple range test

راندمان مصرف آب

نتایج نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر راندمان مصرف آب به‌ازای عملکرد غوزه و زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین مقادیر این صفات (به‌ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب) با کاربرد کود گاوی به‌همراه کود شیمیایی و کمترین آن‌ها در تیمار شاهد (به‌ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۵۹ کیلوگرم بر متر مکعب) حاصل گردید؛ به‌طوری‌که کاربرد تلفیقی منابع تغذیه‌ای در مقایسه با کاربرد منفرد آن‌ها باعث بهبود ۳۷ و ۲۰ درصدی به‌ترتیب راندمان مصرف آب به‌ازای عملکرد غوزه و زیست‌توده گردید. همچنین، تأمین ۳۰ درصد نیاز آبی باعث شد راندمان مصرف آب به‌ازای عملکرد غوزه و زیست‌توده به حداکثر مقدار خود برسد و با افزایش تأمین نیاز آبی این مقادیر روندی کاهشی در پیش گرفت (جدول ۷). همچنین، نتایج اثرات متقابل حاکی از آن بود که مصرف تلفیقی کود گاوی+کود شیمیایی به‌همراه تأمین ۳۰

درصدی نیاز آبی گیاه، راندمان مصرف آب به‌ازای عملکرد غوزه و زیست‌توده را بهبود بخشید (جدول ۸).

نتایج پژوهش فلاحی و همکاران (Fallahiet al., 2017) حاکی از اثر مثبت کم آبیاری بر راندمان مصرف آب در گیاه چای ترش بود که با مشاهدات ثقه‌الاسلامی و همکاران (Seghatol Islamiet al., 2013) مطابقت داشت. برخی محققان دریافته‌اند که تأمین ۷۰ تا ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه پنبه نسبت به آبیاری کامل، بدون این‌که کاهشی در عملکرد ایجاد نماید توانست راندمان مصرف آب را افزایش دهد (Ghorbani Nasrabad and Hezargaribi, 2010; Akbari, 2014). فرداد و ضیغمی‌گل (Fardad and Zeyghami, 2005) نیز بیان نمودند که در پنبه، سود حاصل از واحد حجم آب در شرایط تأمین ۵۰ درصدی نیاز آبی گیاه با سود حاصل از آبیاری کامل برابر بود. به‌نظر می‌رسد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، فراوانی آب باعث کاهش عمق توسعه ریشه و نیز آبشویی عناصر شده؛ بنابراین، عناصر سریع‌تر از دسترس گیاه خارج شده و عملکرد گیاه و درنتیجه راندمان مصرف آب، کاهش یافته است.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای مختلف بر عملکرد گیاه دارویی چای ترش
Table 8- Results of mean comparisons of interaction of different treatments on yield of Roselle

تغذیه‌ای Nutrient	آبیاری Irrigation	عملکرد خشک غوزه Boll dry yield (kg.ha ⁻¹)	زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	راندمان مصرف آب غوزه Boll water use efficiency (kg.m ⁻³)	راندمان مصرف آب زیست توده Biomass water use efficiency (kg.m ⁻³)
شاهد Control	۳۰٪ نیاز آبی 30% of Water requirements	259.4f	4311i	6.02e	0.06de	0.96c
	۷۰٪ نیاز آبی 70% of Water requirements	328.6ef	4253j	7.66cde	0.03fg	0.41i
	۱۰۰٪ نیاز آبی 100% of Water requirements	388.5def	6062e	6.36de	0.03g	0.40i
کود گاوی Cow manure	۳۰٪ نیاز آبی 30% of Water requirements	479.6de	5339g	8.92bcd	0.11b	1.19b
	۷۰٪ نیاز آبی 70% of Water requirements	555.2cd	5356fg	10.34abc	0.05ef	0.51f
	۱۰۰٪ نیاز آبی 100% of Water requirements	682.0bc	6824c	9.91abc	0.05efg	0.45h
کود شیمیایی Chemical fertilizer	۳۰٪ نیاز آبی 30% of Water requirements	443.8de	5397f	8.13bcd	0.10bc	1.20b
	۷۰٪ نیاز آبی 70% of Water requirements	535.4cd	4999h	10.68ab	0.05efg	0.48g
	۱۰۰٪ نیاز آبی 100% of Water requirements	686.5bc	6969b	9.74abc	0.05efg	0.46gh
کود گاوی+کود شیمیایی Cow manure + Chemical fertilizer	۳۰٪ نیاز آبی 30% of Water requirements	807.5ab	6710d	11.96a	0.18a	1.49a
	۷۰٪ نیاز آبی 70% of Water requirements	939.0ab	6961b	11.98a	0.08cd	0.66d
	۱۰۰٪ نیاز آبی 100% of Water requirements	934.0a	7920a	11.78a	0.06de	0.53e

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Similar letter in each column indicate no significant difference at 5% probability level using Duncan's multiple range test

نتیجه‌گیری

بازدارنده قابل توجهی بر خصوصیات کمی چای ترش داشت، به طوری که بهترین تیمار از نظر بهبود صفات گیاه چای ترش، تیمار تلفیقی کود گاوی+کود شیمیایی به همراه تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. در مجموع، با وجود کاهش نسبی عملکرد گیاه در شرایط کم آبیاری، این شیوه مدیریتی موجب افزایش راندمان مصرف آب خصوصاً در تیمار کود گاوی و شیمیایی شد.

نتایج کلی حاکی از اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه چای ترش بود. نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف تلفیقی منابع کودی در مقایسه با کاربرد منفرد آن‌ها باعث بهبود ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، عملکرد اقتصادی و زیست توده و راندمان مصرف آب شد. همچنین تأمین ۱۰۰ درصدی نیاز آبی گیاه موجب بهبود صفات رشدی گیاه گردید و وقوع تنش خشکی اثر

References

1. Abid Askari, M. S. 1995. Autecological studies of exotic plant *Hibiscus sabdariffa* L. (Roselle), a multipurpose plant, for its introduction and culture. *Scientific and Industrial Research* 38 (1): 17-21.
2. Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., and Idowu, O. J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Plant Nutrition* 27: 1163-1181.
3. Aghhavan Shajari, M. 2012. Effects of single and combined application of nutrients on quantitative and qualitative indices of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian).
4. Akanbi, W. B. 2002. Growth, Nutrient uptake and yield of maize and okra as influenced by compost and nitrogen fertilizer under different cropping systems. Ph.D. Dissertation, University of Ibadan, Nigeria. 228 p.
5. Akanbi, W. B., Olaniyan, A. B., Togun, A. O., Ilupeju, A. E. O., and Olaniran A. 2009. The Effect of organic and inorganic fertilizer on growth, calyx yield and quality of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *American Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 3: 652-657.
6. Akbarinia, A. 2003. Evaluation of yield and essential oil of Ajwain in conventional, organic and integrated agricultural systems. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. (in Persian).
7. Akbari Nodehi, D. 2014. The effect of flow irrigation and reduced irrigation methods on the yield and water use efficiency of maize in Mazandaran. *Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources* 70: 245-254. (in Persian).
8. Alizadeh, A., and Kamali, A. Gh. 2007. Water Requirement of Plants in Iran. Imam Reza University Press, First Edition, 223 p. (in Persian).
9. Aseri, G. K., Jain, N., Panwar, J., Rao, A. V., and Meghwal, P. R. 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Scientia Horticulturae* 117: 130-135.
10. Borrás Linares, I., Fernández Arroyo, S., Arraez Roman, D., Palmeros Suarez, P. A., Del Val Diaz, R., Andrade Gonzales, I., Fernandez Gutierrez, A., Gomez Leyva, J. F., and Segura Carretero, A. 2015. Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products* 69: 385-394.
11. Darzi, M. T., Ghalavand, A., and Rejali, F. 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Medicinal and Aromatic Plants* 25 (1): 1-19. (in Persian with English abstract).
12. Duke, J. A. 2006. Ecosystematic data on economic plants. *Journal of Crude Research* 17 (3): 91-110.
13. Ebhin Masto, R., Chhonkar, P. K., Singh, D., and Patra, A. K. 2006. Changes in soil biomass and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical incept soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1577-1582.
14. Fallahi, H. R., Aghhavan Shajari, M., Taherpour Kalantari, R., and Soltanzadeh, M. G. 2016. Evaluation of superabsorbent efficiency in response to dehydration frequencies, salinity and temperature and its effect on yield and quality of cotton under deficit irrigation. *Agroecology* 7 (4): 513-527. (in Persian with English abstract).
15. Fallahi, H. R., Ghorbani, M., Aghhavan Shajari, M., Asadian, A. M., and Samadzadeh, A. R. 2017. Effects of mycorrhizal inoculation and humic acid on growth and yield of Roselle and mycorrhizal symbiosis indices under drought stress condition. Final report of research project, University of Birjand. (in Persian with English abstract).
16. Fardad, H., and Zeyghami Gol, R. 2005. Optimization of water consumption for irrigation of cotton in Gorgan region. *Agriculture Science* 36 (5): 1197-1206. (in Persian).
17. Fereres, E., and Soriano, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Experimental Botany* 58 (2): 147-159.
18. Fuladivanda, S., Aeinehband, A., and Naraki, F. 2010. Evaluation of different tillage systems and seed amount on yield and yield components of canola under rainfed conditions. *Iranian Journal Field Crops Research* 8 (2): 213-224. (in Persian).
19. Gad, N. 2011. Productivity of Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) plant as affected by cobalt and organic fertilizers. *Applied Sciences Research* 7 (12): 1785-1792.
20. Gendy, A. S. H., Said-Al Ahl, H. A. H., and Abeer, M. 2012. Growth, productivity and chemical constituents of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plants as influenced by cattle manure and biofertilizers treatments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6: 1-12.
21. Ghorbani Nasrabad, Gh., and Hezarjaribi, A. 2010. Cotton respond to the irrigation at different stages of growth. *Journal of Plant Production* 17 (4): 129-141. (in Persian with English abstract).
22. Ghost, B. C., and Bhat, R. 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. *Environmental Pollution* 102: 123-126.
23. Gyllapsy, E., Bergervoel, C. K., and Jullien, D. 1993. Sink-source relation in fruit vegetables as affected by N fertilizer. *Scientia Horticulture* 58: 87-94.

24. Khalil, S. E., and Yousef, R. M. M. 2014. Study the effect of irrigation water regime and fertilizers on growth, yield and some fruit quality of *Hibiscus sabdariffa* L. *Advance Research* 2 (5): 738-750.
25. Mahfouz, S. A., and Sharaf Eldin, M. A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics* 21: 361-366.
26. Mallanagouda, B. 1995. Effects of N.P.K. and FYM on growth parameters of onion, garlic and coriander. *Medicinal and Aromatic Plant Science* 4: 916-918.
27. Murty, M. G., and Ladha, J. K. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. *Plant and Soil* 108: 281-285.
28. Nabila, Y. N., and Aly, M. S. 2002. Variations in productivity of (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to some agricultural supplementation. *Annals of Agricultural Science* 47 (3): 875-892.
29. Nemati, M., and Dehmarde, M. 2015. Effect of using of cow and biomass manure on yield and Morphological indexes of Sour Tea (*Hibiscus sabdariffa*). *Agroecology* 7 (1): 62-73. (in Persian).
30. Parsa Motlagh, B. 2015. Study of eco-physiological, morphological, phytochemical, nutritional of *Hibiscus sabdariffa* L. in Jiroft region. Ph.D. Dissertation of agroecology, Department of Agricultural, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
31. Pimentel, D. 1993. Economics and energies of organic and conventional farming. *Agriculture and Environment Ethics* 6: 53-60.
32. Rahbariyan, P., Afsharmanesh, Gh. R., and Modafee Behzadi, N. 2011. Effect of drought stress and plant density on sour tea (*Hibiscus sabdariffa*) yield in Jiroft Region. *New Agricultural Findings* 5 (3): 249-257. (in Persian).
33. Rezvani Moghaddam, P. 2008. Forgotten Plants. In: Koocheki, A. R., and Khajeh Hosseini, M. *Modern Farming*. Chapter 17. 446 p. (in Persian).
34. Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G. A., Ranjbar, F., Aghavani Shajari, M., and Shahriari, R. 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizer on growth indices of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) as a medicinal plant in Mashhad condition. *Agroecology* 96 (4): 971-960 (in Persian with English abstract).
35. Rezvani Moghadam, P., Asadi, Gh., Aghhavani Shajari, M., Ranjbar, F., and Shahriari, R. 2017. Evaluation of nutritional management on yield and yield components of Sour Tea (*Hibiscus sabdariffa*) in Mashhad. *Iranian Journal Field Crops Research* 15 (4): 776-785. (in Persian with English abstract).
36. Sadeghi, A. A., Akhsh Kelarestaghi, K., and Hajmohammadnia Ghalibaf, K. 2014. The effects of vermicompost and chemical fertilizers on yield and yield components of marshmallow (*Altheae officinalis* L.). *Agroecology* 6: 42-50. (in Persian with English abstract).
37. Safari, A., Asoudar, M. A., Ghasemi Nejad, M., and Ebdali Mashhadi, A. R. 2013. Effect of keeping of residues, different methods of conservation tillage and planting on physical properties of soil and wheat yield. *Knowledge of Agriculture and Sustainable Production* 23 (2): 59-49. (in Persian).
38. Seghatoleslami, M. J, Mosavi, Gh. R., and Barzegaran, T. 2013. Effect of irrigation levels and planting date on yield and water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* L. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants* 29 (1): 144-156. (in Persian with English abstract).
39. State Meteorological Organization. 2016. Statistics and information of Mashhad Meteorological Station.
40. Torabi, A. 2004. Effect of sowing date and row spacing on the yield of *Hibiscus sabdariffa* L. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Jiroft Branch. (in Persian with English abstract).
41. Tahami Zarandi, M. K., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M. 2000. Comparison of the effects of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil content of basil. *Agroecology* 2 (1): 63-74. (in Persian with English abstract).
42. Yang, Y., Watanabe, M., Zhang, X., Zhang, J., Wang, Q., and Hayashi, S. 2006. Optimizing irrigation management for wheat to reduce ground water depletion in the piedmont region of the Taihang mountains in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 82: 25-44.



Yield and Water Use Efficiency for Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a Medicinal Plant in Mashhad Condition

P. Rezvani Moghaddam^{1*}, Gh. A. Asadi², M. Aghavani Shajari³, F. Ranjbar⁴

Received: 31-07-2018

Accepted: 30-01-2019

Introduction: Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a member of Malvaceae family is a subtropical medicinal plant. This plant is self-pollinated and sensitive to cold. Bolls of Roselle are used in food and pharmaceutical industries. One of the most important purpose to achieve high quality and quantity yield is evaluation of nutritional systems and irrigation management for plants. The use of chemicals in the production of medicinal plants in addition to environmental pollution, decreases the quality of drug. Furthermore, sustainable agriculture, by replacing organic fertilizers with chemical fertilizers, increasing the efficiency of inputs such as water, and fertility and soil health, preserving the environment and increasing product quality and protect resources. Drought stress is one of the most important problems in crop production in arid and semi-arid regions of the world. Effective management of nutrition and irrigation and planting of drought resistant plants is one of the effective proceeding to increase water use efficiency in semi-arid regions. Roselle is relatively drought-tolerant plants, so that cultivation of this plant is common in Sistan and Baluchestan province of Iran. So, studying the ecological and agronomic needs of this plant in new areas is important. This experiment was conducted to evaluate the yield and yield components of this plant in response to application of nutritional resources and irrigation management.

Materials and Methods: In order to study the yield and water use efficiency for Roselle (*Hibiscus sabdariffa*), an experiment was conducted with 12 treatments as strip plot based on complete block design with three replications at Research Station, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in year 2014-2015. Experimental factors included: nutritional management in four levels (chemical fertilizer, cow manure, cow manure+ chemical fertilizer and control) and irrigation management in three level (30, 70 and 100% of water requirement of Roselle). Roselle seeds were planted in seedling trays at greenhouse in February 2014. Then seedlings transferred to field in last April 2015. The distance between rows and plants were 75 and 25 cm, respectively. Chemical fertilizer (150, 100 and 200 kg.ha⁻¹ Triple super phosphate, Potassium sulfate and Urea, respectively), and cow manure (32 ton.ha⁻¹) were used at depth of 30 cm. Then, different water requirement of Roselle is determined and the water volume of irrigation will be recorded in each irrigation cycle by the contour, furthermore, water use efficiency was calculated. Statistical analysis of the data was performed by using of Minitab Ver.16. Also, means comparison were compared by Duncan multiple range test at 5% level.

Results and Discussion: Results indicated significant effects of treatments on most of the traits of Roselle. The maximum plant height (89.3 cm), number of lateral branch (6. 6 number), dry sepal yield (860.1 kg.ha⁻¹), biomass yield (7197 kg.ha⁻¹), harvest index (11.9%) and water use efficiency based on bolls and biomass yield (0.11 and 0.89 kg.m³) of Roselle obtained in cow manure + chemical fertilizer treatment. Also, providing of 100% of the plant's water requirement induced the highest height (91.5 cm), number of bolls on main and lateral branch (20.0 and 47.5 number), sepal yield (672.7 kg.ha⁻¹) and biomass yield (6944 kg.ha⁻¹) of Roselle. Combined application compared to single application of nutritional sources increased 16, 18, 35, 20 and 20%, respectively, height, number of lateral branches, bolls yield, biomass yield and harvest index of Roselle. Furthermore, results of interaction effects showed that application of cow manure + chemical fertilizer with providing of 100% of the plant's water requirement obtained the maximum number of lateral branch (8.5 number), bolls yield (934 kg.ha⁻¹) and biomass yield (7920 kg.ha⁻¹) of Roselle. The highest amount of water use efficiency based on sepal and biomass yield (0.2 and 1.5 kg.m³) obtained by application of cow manure + chemical fertilizer and providing of 30% of the plant's water requirement.

Conclusions: Totally, results showed that combined application and providing of 100% of the plant's water requirement improved the most traits of Roselle. Also, combined application of nutritional sources decreased water consumption and increased water use efficiency.

Keywords: Boll yield, Cow manure, Harvest index, Irrigation

1, 2, 3 and 4- Professor, Assistant Professor, Postdoctoral researcher and Ph.D. in Agroecology, respectively, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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



مقاله پژوهشی

اثر کشت مخلوط سه تیپ رشدی لوبیا در سری‌های جایگزینی بر شاخص‌های رشدی آنها

یونس رامش جان^۱، علیرضا کوچکی^{۲*}، مهدی نصیری محلاتی^۳، سرور خرم دل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۰

چکیده

به منظور تولید محصولات سالم تحت شرایط عدم استفاده از نهاده‌های شیمیایی که تضمین کننده سلامت انسان باشد، کاشت این گیاهان به صورت مخلوط بسیار مفید می‌باشد. در این راستا آزمایشی با هدف بررسی اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر شاخص‌های رشدی، سه تیپ رشدی لوبیا شامل چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)، چشم‌بلیلی (*Vigna unguiculata* L.) و قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در سری‌های جایگزینی، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار و سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ اجرا شد. تیمارهای کشت مخلوط شامل ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چیتی، ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلیلی، ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چیتی، ۷۵٪ چشم‌بلیلی، ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ چشم‌بلیلی و ۷۵٪ چشم‌بلیلی + ۲۵٪ چیتی و کشت خالص هر سه تیپ رشدی بود. صفات مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت آسیمیلاسیون خالص بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه برای هر سه تیپ رشدی لوبیا از کشت خالص و کمترین میزان شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک برای لوبیا قرمز از تیمار ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلیلی و سرعت رشد گیاه از تیمار ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چیتی مشاهده شد. برای لوبیا چیتی و چشم‌بلیلی هر سه این شاخص‌ها به ترتیب از تیمار ۲۵٪ چیتی + ۷۵٪ چشم‌بلیلی و ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ چشم‌بلیلی به دست آمد. بیشترین سرعت رشد نسبی لوبیا قرمز (۰/۲۱ گرم بر گرم در روز)، چیتی (۰/۱۸ گرم بر گرم در روز) و چشم‌بلیلی (۰/۲۲ گرم بر گرم در روز) به ترتیب در تیمارهای ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز، کشت خالص و ۷۵٪ چشم‌بلیلی + ۲۵٪ چیتی ثبت شد. همچنین بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص (۴۱ گرم بر متر مربع برگ در روز) در لوبیا قرمز از کشت خالص، برای چیتی نیز بیشترین (۱۴ گرم بر متر مربع برگ در روز) مقدار آن در تیمار ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چیتی و برای لوبیا چشم‌بلیلی (۵۲ گرم بر متر مربع برگ در روز) از تیمار مخلوط ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلیلی به دست آمد. به طور کلی، تیمارهای کشت مخلوط موجب بهبود برخی از شاخص‌های مورد مطالعه برای گیاهان مورد بررسی شدند و البته تراکم بیشتر کشت خالص موجب بهبود برخی شاخص‌های مانند سطح برگ و ماده خشک مربوط به هر سه تیپ رشدی مختلف شد.

واژه‌های کلیدی: تجمع ماده خشک، تیپ رشدی لوبیا، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ

مقدمه

زراعی است که می‌تواند در بلندمدت از نظر بیولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی ارزش افزوده‌ای مطلوبی به همراه داشته باشد. ایجاد تنوع در روش‌های مدیریت و اشکال مختلف بهره‌برداری از منابع یا به عبارت دیگر، افزایش تنوع کشاورزی از جمله بهترین و موثرترین راهکارهای حصول به پایداری تولید است (Baulcombe et al., 2009).

کشت مخلوط یکی از روش‌های مهم در کشاورزی پایدار است که با اجرای آن می‌توان ضمن به کارگیری فناوری مدرن، از منابع زیست‌محیطی به صورت پایدار بهره‌برداری نمود. بهترین ویژگی نظام‌های کشت مخلوط افزایش تنوع بر حسب ساختار رویشگاه و گونه گیاهی می‌باشد، به طوری که نظام‌های کشت مخلوط بیشتر شبیه جوامع گیاهی طبیعی هستند (Koocheki et al., 2006). این نظام‌ها برخلاف نظام‌های تک‌کشتی در راستای اصول اکولوژیکی پیش می‌روند و در صورت بهره‌گیری مؤثر و گسترده از آنها ثبات و پایداری نظام‌های کشاورزی به ویژه در شرایط کم نهاده افزایش می‌یابد (Nassiri Mahallati et al., 2014).

پیش‌بینی شده است که جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ میلادی به نه میلیارد نفر برسد و تقاضا برای غذا به دو برابر سطح فعلی افزایش خواهد یافت (Godfray et al., 2010). در آن زمان با چالش اثرات اقلیمی و زیست‌محیطی ناشی از سیستم‌های تولیدی توسط بشر مواجه خواهیم بود (Canfield et al., 2010)، در نتیجه یکی از راهکارهای رفع این مشکل استفاده از اصول کشاورزی پایدار در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد، کشاورزی پایدار تلفیقی از دانش مدیریت

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد، عضو هیئت علمی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، عضو هیئت علمی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: akooch@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v0i0.80180

(*)- نویسنده مسئول:

کشت مخلوط نوعی فعالیت زراعی است که طی آن دو یا چند گیاه زراعی به صورت همزمان در یک قطعه زمین زراعی کشت می شود (Dela-Foente *et al.*, 2014). نتایج تحقیقات مختلف در مورد کشت مخلوط نشان داده است که کارایی بالاتر استفاده از نهاده‌ها اعم از نور، آب و مواد غذایی (Koocheki *et al.*, 2010)، امکان کنترل علف‌های هرز (Koocheki *et al.*, 2006)، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب، افزایش کمیت و کیفیت محصول (Kremer and Kussman, 2011; Barker and Dennett, 2013; Cao *et al.*, 2015)، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها و افزایش تنوع زیستی (Nassiri, 2000) را به همراه داشته است و افزایش تنوع محصولات در کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی نسبت به نظام‌های تک‌کشتی می‌شود (Tang *et al.*, 2014). نتایج آزمایش بررسی شاخص‌های رشد و تنوع علف‌های هرز در سری‌های جایگزینی و افزایشی کشت مخلوط زنیان (*Trachyspermum ammi* L. و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نشان داده است که کشت مخلوط با افزایش تنوع، موجب کاهش تعداد، وزن خشک و شاخص‌های اکولوژیکی تنوع علف‌های هرز گردید (Khorramdel *et al.*, 2014).

استفاده از لگوها در کشت مخلوط موجب تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌شود، مصرف کود نیتروژنی کاهش می‌یابد و بر اثر آن از آلودگی محیط‌زیست نیز جلوگیری می‌شود (Elijah and Akunda, 2001). امروزه مشخص شده است که عملکرد نظام‌های کشت مخلوط می‌تواند بیشتر از نظام‌های تک‌کشتی باشد، ولی این بدان معنی نیست که کشت هر نوع گیاهانی به صورت مخلوط الزاماً منجر به افزایش عملکرد شود بلکه می‌بایستی با انتخاب نوع گیاهان در ترکیب جدید مخلوط میزان رقابت آن‌ها کاهش داد و در نتیجه امکان استفاده بهتر از منابع محیطی فراهم نمود (Mazaheri, 1987).

هرچه اختلافات بین ارقام (مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی) بیشتر باشد احتمال افزایش عملکرد کل مخلوط بیشتر است (Cubbls and Kenachuk, 1987). مخلوطی از ژنوتیپ‌های مختلف باعث ثبات تولید می‌شوند که این موضوع برای رسیدن به حداکثر عملکرد در هر سال حائز اهمیت است (Jensen, 1952). بررسی‌ها در کشت مخلوط ارقام گندم (Righi *et al.*, 1989)، سویا (Probst, 1975) و ذرت (Kannenber *et al.*, 1992) نشان داده است که اکثر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مانند سرعت رشد محصول سرعت رشد نسبی و شاخص سطح برگ و همچنین عملکرد تاثیر مثبت بیشتری در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌پذیرد.

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی از خانواده حبوبات (Fabaceae) می‌باشد. حبوبات به دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارند

و به همین دلیل در تناوب با سایر گیاهان زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، بقایای این گیاهان نیز به دلیل کیفیت مناسب، کاربرد وسیعی در تغذیه دام دارد (Nezami and Bagheri, 2005). حبوبات به عنوان دومین منبع تأمین نیاز غذایی بشر در بین گیاهان زراعی از جایگاه خاصی برخوردار بوده و در بین آن‌ها، لوبیا با سطح زیر کشت ۲۲ میلیون هکتار و تولید سالانه بیش از ۲۳ میلیون تن مقام اول را در جهان دارا می‌باشد. این در حالی است که سطح زیر کشت و تولید این محصول در ایران به ترتیب ۹۸ هزار هکتار و ۲۵۳ هزار تن برآورد شده است. از کل حبوبات تولید شده در کشور گیاه لوبیا ۳۱ درصد در رتبه دوم قرار گرفته است (FAO, 2013).

بسیاری از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد (همچون شاخص سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت آسمیلاسیون خالص و غیره) و همچنین عملکرد مخلوط بیشتر از عملکرد اجزای آن‌ها بوده و برعکس در بعضی مطالعات این شاخص‌ها در مخلوط ارقام یا تیپ‌های مختلف کاهش یافته است (Probst, 1975). به دلیل این که خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی لوبیا در عملکرد نهایی تاثیر به سزایی داشته و در کشت‌های مخلوط تیپ‌های مختلف لوبیا نسبت به کشت خالص، این خصوصیات تحت تاثیر تیپ رشدی و نوع کشت مخلوط قرار می‌گیرد، لذا لازم به نظر می‌رسد که تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تیپ‌های رشدی لوبیا در این شرایط آب و هوای مشهد بررسی شود، تا بهترین نوع کشت مخلوط از نظر فضایی و استفاده موثرتر از منابع به دست آید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا، ۹۸۵ متر) اجرا شد. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از شروع آزمایش نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر انجام که نتایج در جدول ۱ آورده شده است.

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و نه تیمار در زمینی به ابعاد ۱۲×۴۰ متر انجام شد. نسبت‌های مخلوط دو به دو تیپ‌های رشدی لوبیا چیتی، چشم‌بلیلی و قرمز بر اساس سری‌های جایگزینی شامل ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چیتی، ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلیلی، ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چیتی، ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چشم‌بلیلی، ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ چشم‌بلیلی و ۷۵٪ چشم‌بلیلی + ۲۵٪ چیتی و کشت خالص هر سه تیپ رشدی به عنوان تیمار مد نظر قرار گرفتند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) محل آزمایش
Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental soil (0-30 cm depth)

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)
لوم سیلتی Silty loam	7.4	2.4	0.079	0.35	30	172

شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR; Crop growth rate)، سرعت رشد نسبی (RGR; Relative growth rate) و سرعت آسمیلاسیون خالص (NAR; Net assimilation rate) به روش تابعی (Yusuf, 1999) استفاده شد. تغییرات روزانه شاخص سطح برگ با برازش تابع لجستیکی (رابطه ۱) به داده‌های اندازه‌گیری شده برآورد گردید (Yusuf, 1999):

$$Y = \frac{a + b \cdot 4 \cdot (\exp(-(t - c)/d))}{(1 + \exp(-(t - c)/d))^2} \quad (1)$$

که در آن، Y: شاخص سطح برگ، b: حداکثر شاخص سطح برگ، c: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، a و d: ضرایب معادله و t روز پس از سبز شدن می‌باشد. تغییرات ماده خشک نیز روندی سیگموییدی داشت (رابطه ۲).

$$Y = \frac{a}{1 + b \cdot \exp(-ct)} \quad (2)$$

که در آن، Y: ماده خشک (g.m⁻²)، a: حداکثر ماده خشک تولید شده (g.m⁻²)، c: میانگین سرعت رشد نسبی، b: ضریب معادله و t: روز پس از سبز شدن می‌باشد. از مشتق اول معادله ۲ (dY/dt) سرعت رشد محصول (CGR) بر حسب g.m⁻².d⁻¹ محاسبه شد (رابطه ۳).

$$\frac{dY}{dt} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{(1 + b \cdot \exp(-ct))^2} \quad (3)$$

و سرعت رشد نسبی (RGR) (g.g⁻¹.d⁻¹) (رابطه ۴) از مشتق دوم رابطه (۲) به‌دست آمد (رابطه ۴).

$$\frac{d^2Y}{dt^2} = \frac{b \cdot c \cdot \exp(-ct)}{1 + b \cdot \exp(-ct)} \quad (4)$$

با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI: سرعت فتوسنتز خالص (NAR, g.m⁻²leaf d⁻¹) از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$NAR = \frac{CGR}{LAI} \quad (5)$$

نهایتاً برازش توابع و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار SlideWrite و MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

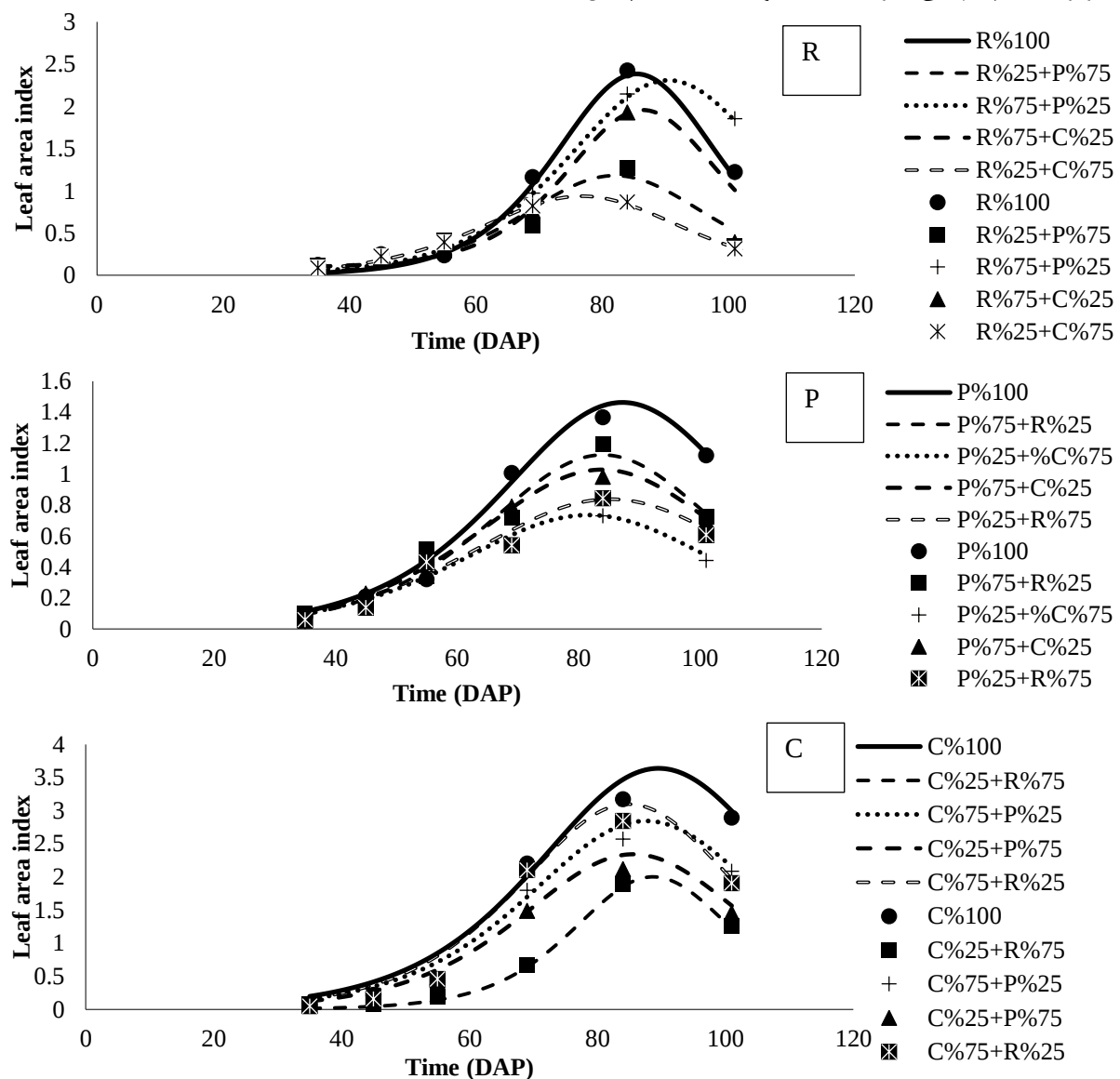
شاخص سطح برگ (LAI)

عملیات آماده‌سازی زمین به منظور خرد کردن کلوخه‌ها، خرد کردن گیاهان موجود و مخلوط کردن آن‌ها با خاک، اصلاح بستر بذر و از بین بردن علف‌های هرز شامل دیسک، لولر و فاروئر در اوایل فروردین ماه انجام شد. سپس کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض سه متر ایجاد شد که هرکرت شامل هشت ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. فاصله بین کرت‌ها یک پشته نکاشت و فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت برای هر یک از گیاهان هم‌زمان در تاریخ ۲۰ فروردین ماه و به روش خشکه‌کاری بر روی پشته انجام شد. تیپ‌های رشدی لوبیا شامل لوبیا قرمز (ایستاده رشد محدود)، لوبیا چیتی (بالا رونده رشد نامحدود) و لوبیا چشم‌بلبلی (رشد زیاد، بوته‌ای و تا حدی رونده و رشد نامحدود) بود. بذور مورد نیاز از ارقام محلی از شرکت آذریون بذر توس تهیه شد. تراکم مورد نظر برای کشت خالص و مخلوط هر تیپ رشدی ۲۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد (Ali Madadi, 2005). به منظور تسهیل در سبز شدن بلافاصله پس از کاشت اولین آبیاری و در دو هفته اول با فاصله پنج روز و سپس تا پایان فصل رشد به فاصله هر هفت روز یکبار به روش جوی و پشته انجام شد. در طول فصل رشد از هیچ نوع کود و سموم شیمیایی استفاده نگردید. کنترل علف‌های هرز پس از اولین آبیاری به‌صورت دستی شروع و تا پایان فصل رشد بر حسب ضرورت انجام شد. در پایان فصل رشد، قبل از برداشت نهایی برای تعیین اجزای عملکرد از سطح نیم متر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت.

نمونه‌برداری در طول فصل رشد برای ثبت روند شاخص‌های رشدی، پس از ۳۵ روز (اولین نمونه‌برداری) هر ۱۴ روز یکبار (شش نوبت نمونه‌برداری) از سطح ۰/۱۵ متر مربع نمونه‌برداری انجام شد. سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج Meter Leaf Area (Licor LI-3100) اندازه‌گیری و از داده‌ها برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI; Leaf area index) استفاده شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک قرار داده، اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام و از داده‌ها جهت برآورد روند تجمع ماده خشک (TDM; Total dry matter) استفاده گردید. در نهایت از این داده‌ها برای تجزیه و تحلیل روزانه شاخص‌های رشد شامل ماده خشک کل (TDM)،

(R-۱). بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا چیتی در ۸۵ روز پس از کاشت در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪/چیتی + ۷۵٪ چشم‌بلیلی به‌ترتیب با ۱/۴۵ و ۰/۷۵ مشاهده شد (شکل P-۱). بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا چشم‌بلیلی در ۹۰-۸۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪/چشم‌بلیلی + ۷۵٪ لوبیا قرمز با ۳/۶۰ و ۲ مشاهده شد (شکل C-۱). پس از آن با افزایش سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور به داخل کانوپی فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و به‌دلیل ریزش برگ‌های پایین کانوپی، زرد شدن برگ‌ها، پیری و شروع رشد زایشی، کاهش یافتند (شکل ۱).

شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به سطح زمینی است که گیاه اشغال می‌نماید. همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، تغییرات شاخص سطح برگ از روند سیگموئیدی پیروی می‌کند. بدین صورت که ابتدا به آرامی افزایش یافته سپس دوره رشد سریع آن آغاز می‌شود. در تیمارهای مختلف روند افزایش شاخص سطح برگ لوبیا قرمز تا ۶۰، لوبیا چیتی ۴۵ و لوبیا چشم‌بلیلی تا ۵۰ روز پس از کاشت روندی کند داشت و سپس با گرم‌تر شدن هوا، تا حدود ۹۰-۸۰ روز پس از کاشت که سبب گسترش سریع برگ‌ها، می‌شود این روندی نسبتاً سریع بود. بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ لوبیا قرمز در ۸۰ روز پس از کاشت در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪/قرمز + ۷۵٪/چشم‌بلیلی به‌ترتیب با ۲/۴۵ و ۱ مشاهده شد (شکل



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلیلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی

Figure 1- Trends of leaf area index (LAI) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series

قرمز + ۷۵٪ چشم‌بلبلی با ۲۲۰ گرم بر متر مربع بود (شکل ۲- R)، کمترین ماده خشک تجمع‌یافته لوبیا چیتی از کشت مخلوط ۲۵٪ چیتی + ۷۵٪ چشم‌بلبلی با ۱۶۰ گرم بر متر مربع بود (شکل ۲- P) و کمترین ماده خشک تجمع‌یافته لوبیا چشم‌بلبلی در ۱۰۱ روز پس از کاشت مربوط به کشت مخلوط ۲۵٪ چشم‌بلبلی + ۷۵٪ قرمز با ۴۱۰ گرم بر متر مربع مشاهده شد (شکل ۲- C). با کاهش سهم هر یک از تیپ‌های رشدی در کشت مخلوط میزان تجمع ماده خشک و روند افزایشی کندتر بود و از طرفی برای لوبیا قرمز و چیتی در زمانی که با لوبیا چشم‌بلبلی همراه بودند این روند کندتر و میزان تجمع ماده خشک در انتهای فصل نیز کمتر بود (شکل ۲).

نتایج بعضی از مطالعات نشان داده است که اختلاط تعدادی از ارقام ذرت باعث کاهش تجمع ماده خشک شده است (Chapman et al., 1989). نتایج آزمایشی روی بررسی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ارزن معمولی و سویا نشان داد، که بیشترین تجمع ماده خشک سویا در تیمار تک‌کشتی آن به‌دست آمد (Hajinia and Ahmadvand, 2017). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) نیز گزارش کردند که بیشترین وزن خشک در کشت خالص لوبیا و کمترین میزان برای تیمار ۱۰۰٪ زنجان + ۵۰٪ لوبیا بود. داس و همکاران (Das et al., 2008) در بررسی کشت مخلوط گندم با نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس اظهار داشتند که در همه مراحل رشد، کشت خالص هر یک از گیاهان نسبت به کشت مخلوط تجمع ماده خشک بیشتری داشت. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) گزارش کردند که بیشترین وزن خشک در کشت خالص لوبیا و کمترین میزان برای تیمارهای کشت مخلوط لوبیا با گاوزبان اروپایی مشاهده شد.

سرعت رشد محصول (CGR)

سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع ماده خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. تیمارهای مختلف کشت مخلوط تیپ‌های رشدی از نظر سرعت رشد محصول هریک از تیپ‌ها اختلاف قابل‌توجهی مشاهده شد (شکل ۳). در تمام تیمارهای هر یک از تیپ‌های رشدی تا حدود ۵۰ روز پس از کاشت میزان سرعت رشد محصول به‌کندی افزایش یافت. در این مرحله به دلیل کامل نبودن کانوبی و کم بودن درصد جذب نور می‌باشد (Kobata and Moriwaki, 1990). از آن به بعد روند افزایش، برای همه تیمارها بین ۶۵ تا ۸۰ روز پس از کاشت به حداکثر میزان رسید. پس از آن، سرعت رشد محصول به دلیل مسن و زرد شدن برگ‌های پایینی، روند نزولی پیدا کرد و در مراحل انتهایی دوره رشد، به صفر رسید. بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول لوبیا قرمز در ۶۵ تا ۸۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در تیمار کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چشم‌بلبلی به‌ترتیب با ۲۵ و ۱۰ گرم در متر مربع در روز

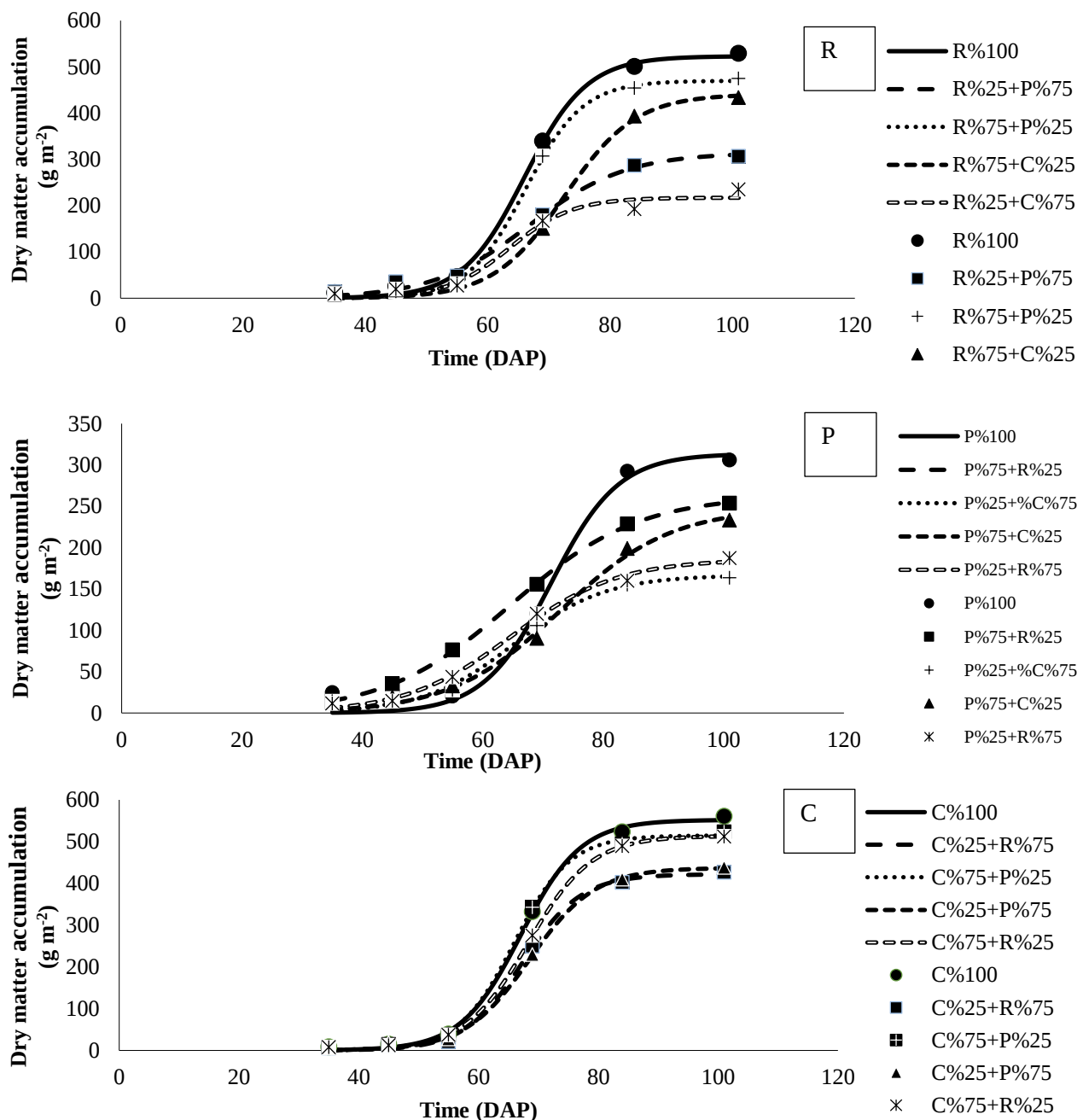
این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که تولید برگ‌های جدید جبران سطح برگ از دست رفته را نمی‌کند (Jahan et al., 2012). از آنجا که شاخص سطح برگ، معادل نسبت سطح برگ به سطح زمین سایه‌انداز برگ است، لذا با افزایش تعداد بوته در واحد سطح در کشت خالص، سطح برگ نیز افزایش خواهد یافت. در کشت مخلوط لوبیا و گل‌گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) نیز بالاترین شاخص سطح برگ در تیمار دو ردیف لوبیا + دو ردیف گل‌گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (Koocheki et al., 2013). با کاهش سهم هر یک از تیپ‌های رشدی لوبیا از شاخص سطح برگ آن‌ها کاسته شد، ولی برای دوتیپ لوبیا قرمز و لوبیا چیتی زمانی که با لوبیا چشم‌بلبلی همراه بودند این روند افزایشی کندتر بود (شکل ۱). ولی‌زاده (Valizadeh, 2016) نیز با بررسی کشت مخلوط ردیفی لوبیا و سیاهدانه اظهار داشت که پس از گذشت ۹۰ روز، روند تغییرات سطح برگ لوبیا در کشت خالص به حداکثر خود رسید و پس از آن، روند کاهشی برای این شاخص مشاهده گردید و کمترین میزان شاخص سطح برگ نیز در تیمار کشت مخلوط با سیاهدانه مشاهده گردید. به‌طور کلی، با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ تک گیاه ممکن است با کاهش مواجه گردد و این کاهش در گیاهان مغلوبیت در رقابت محسوس می‌باشد، ولی در کل مجموع سطح برگ گیاهان در واحد سطح افزایش می‌یابد (Dhingra et al., 1991). نتایج بررسی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ارزن معمولی و سویا نیز نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ سویا در تیمار تک‌کشتی آن به‌دست آمده و با افزایش سهم ارزن در کشت مخلوط شاخص سطح برگ سویا کاهش یافت (Hajinia and Ahmadvand, 2017). چون تشعشع خورشیدی به‌طور یکنواختی روی سطح پخش می‌شود، لذا شاخص سطح برگ معیار تقریبی مساحت برگ‌ها در واحد سطح است که تشعشع خورشید برای آن‌ها قابل دسترس می‌باشد (Koocheki and Seramandria, 2005).

روند تجمع ماده خشک (TDM)

در مراحل اولیه رشد و هنگامی که گیاه هنوز کوچک است، افزایش واقعی وزن خشک اندک است، ولی هم‌زمان با بزرگتر شدن گیاه، وزن گیاه افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که برای لوبیا قرمز تا ۶۰ و لوبیا چیتی و لوبیا چشم‌بلبلی تا ۵۵ روز پس از کاشت میزان ماده خشک تولیدی در هر یک از تیمارهای تیپ‌های رشدی تقریباً روند افزایشی یکسان بوده است و به‌کندی افزایش یافته، اما از آن به بعد تیمارهای خالص ماده خشک بیشتری نسبت به تیمارهای مخلوط آن‌ها تولید نمود. بیشترین ماده خشک تجمع‌یافته در انتهای فصل رشد (۱۰۱ روز پس از کاشت) هر یک از تیمارهای کشت خالص و کمترین، از تیمار کشت مخلوط آن‌ها بود. کمترین ماده خشک تجمع‌یافته لوبیا قرمز از تیمار کشت مخلوط ۲۵٪

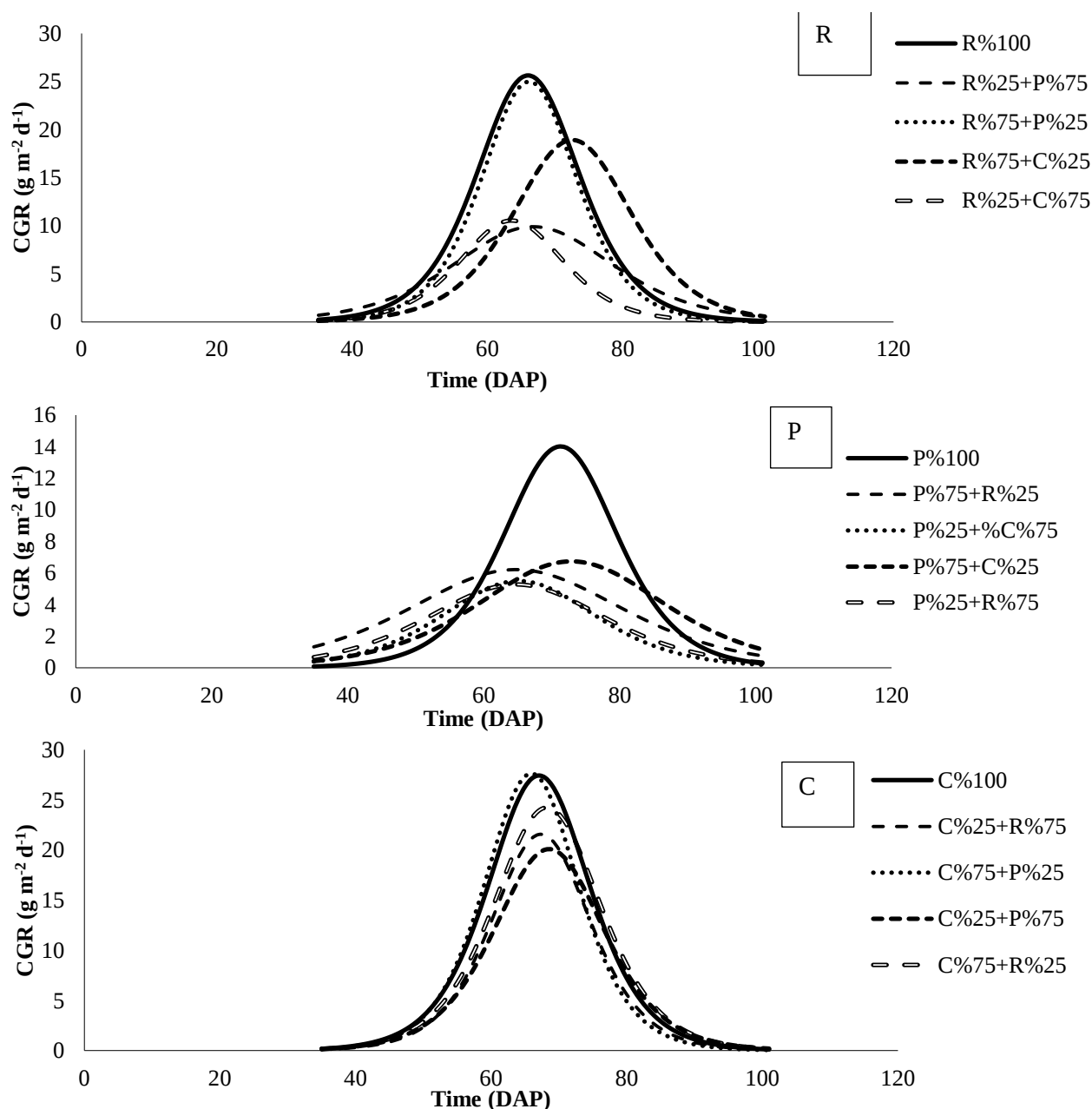
کاشت به ترتیب در کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ چشم‌بلیلی + ۷۵٪ چیتی با ۲۷ و ۲۰ گرم در متر مربع در روز مشاهده شد (شکل ۳- C). با کاهش سهم هریک از تیپ‌های رشدی در کشت مخلوط میزان سرعت رشد محصول و نیز روند افزایشی کندتر بود (شکل ۳).

مشاهده شد (شکل ۳- R). برای لوبیا چیتی بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول در بین ۶۰ تا ۸۰ روز پس از کاشت به ترتیب در تیمار کشت خالص و مخلوط ۲۵٪ چیتی + ۷۵٪ چشم‌بلیلی به ترتیب با ۱۴ و ۵ گرم در متر مربع در روز بود (شکل ۳- P). بیشترین و کمترین سرعت رشد محصول لوبیا چشم‌بلیلی در ۶۵ روز پس از



شکل ۲- روند تغییرات میزان تجمع ماده خشک (TDM) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلیلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی

Figure 2-. Trends of dry matter accumulation (TDM) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series



شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلیلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی

Figure 3- Trends of crop growth rate (CGR) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series with three bean types

گونه‌ای با لوبیا باعث جذب بهتر نور، افزایش رشد و فتوسنتز شده و به دنبال آن سرعت رشد افزایش یافته است. حداکثر شدن رشد محصول منطبق با حداکثر توانایی تولید ماده خشک است و حداکثر تبدیل انرژی خورشید در گیاه است (Tesar, 1984). ولی‌زاده (Valizadeh, 2016) اظهار داشت که بیش‌ترین سرعت رشد محصول لوبیا در مخلوط با سیاهدانه متعلق به تیمار کشت خالص بود و کم‌ترین میزان

به دلیل این‌که سرعت رشد روزانه رابطه مستقیمی با سطح برگ و سرعت جذب خالص و در نهایت عملکرد دارد (Koocheki *et al.*, 1991) عملکرد بالای این تیمارها قابل انتظار است. نوربخش و همکاران (Nurbakhsh *et al.*, 2016) نیز با بررسی کشت مخلوط لوبیا و کنجد اظهار داشتند که جذب نور عامل اصلی در رشد و فتوسنتز گیاه می‌باشد کشت خالص کنجد به دلیل عدم رقابت بین

برای تیمار کشت مخلوط ردیفی با سیاهدانه به دست آمد. مارتین و الکساندر (Martin and Alexaner, 1986) در ارزیابی رقابت بین گونه‌ای در مخلوط‌های ارقام پابلند و پاکوتاه گندم بهاره دریافتند که کشت مخلوط نه تنها باعث افزایش عملکرد نگردد، بلکه عملکرد را نسبت به کشت خالص کاهش داد، آن‌ها دلیل این کاهش را رقابت بین ارقام و کاهش سرعت رشد محصول ذکر کردند.

سرعت رشد نسبی (RGR)

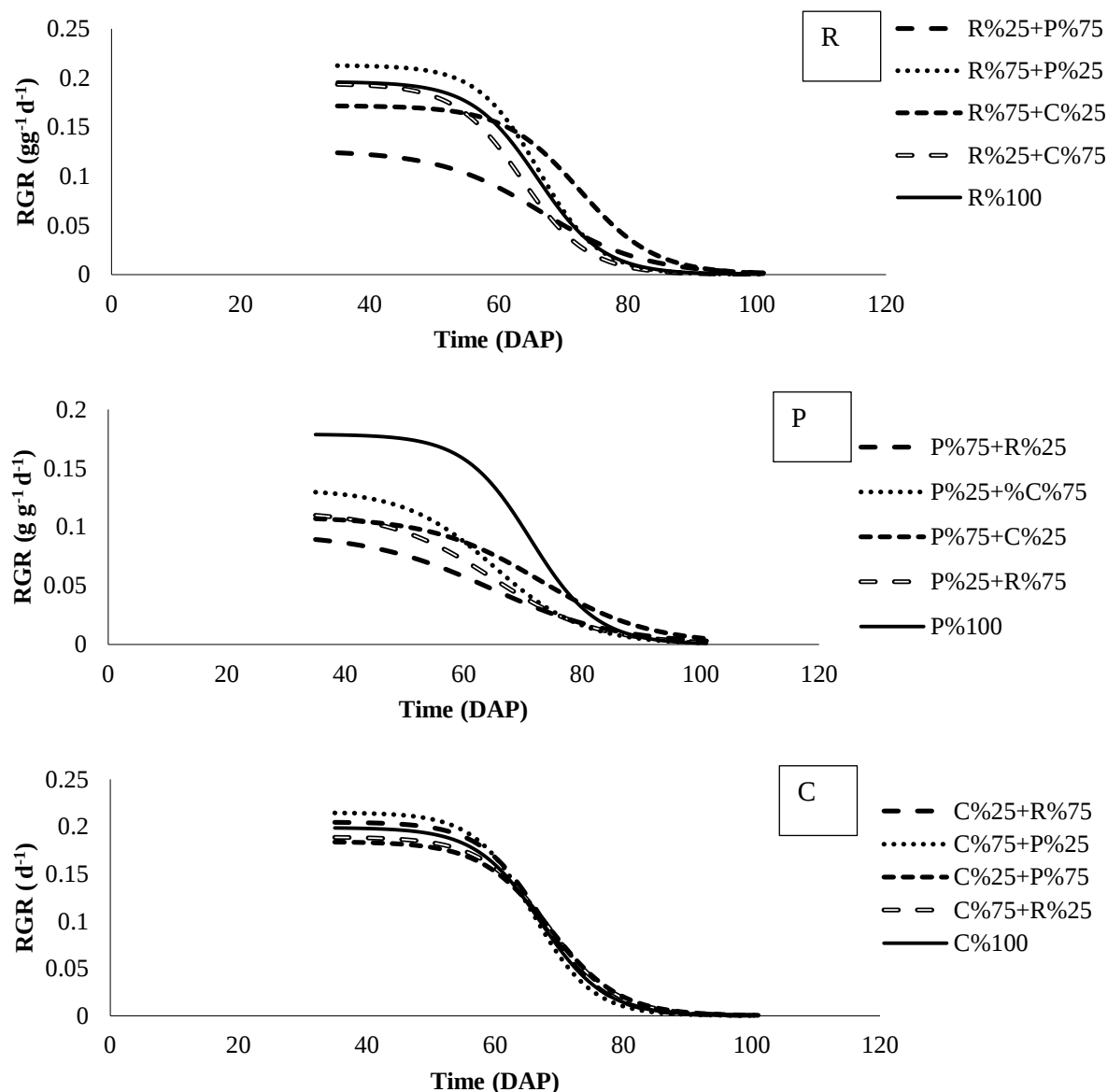
این شاخص فیزیولوژیکی رشد نشان‌دهنده نسبت بافت‌های تقسیم‌شونده (مریستمی) به بافت‌های بالغ می‌باشد (Karimi and Siddique, 1991) و میزان افزایش وزن خشک گیاه، نسبت به وزن خشک اولیه آن در واحد زمان بوده و بر حسب گرم بر گرم در روز بیان می‌شود. هرگاه لگاریتم طبیعی وزن خشک نسبت به زمان رسم شود، شیب آن خط سرعت رشد نسبی خواهد بود، در واقع سرعت رشد نسبی لگاریتم سرعت رشد گیاه می‌باشد (میزان افزایش وزن خشک گیاه در طی زمان به وزن خشک قبلی). صرف‌نظر از تیمارهای کشت مخلوط، سرعت رشد نسبی در ابتدای دوره رشد در بالاترین میزان خود بوده و گذشت ۵۰ روز پس از سبز شدن به علت بسته شدن کانوبی و افزایش وزن گیاه و در پی آن افزایش هزینه‌های نگهداری گیاه و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی که در فتوستتزدخالت ندارند، به تدریج شروع به کاهش کرد و در انتهای دوره رشد به صفر رسید. علت کاهش سرعت رشد نسبی این است که مقدار وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند، اما سرعت افزایش به دلیل افزایش نسبت بافت‌های بالغ به بافت‌های مریستمی کاهش می‌یابد، از طرفی بخشی از این کاهش می‌تواند مربوط به سایه‌اندازی برگ‌های بالایی و یا افزایش سن برگ‌های پایینی باشد (Koocheki et al., 1991) که باعث کاهش فتوستتزد می‌گردد. در اوایل دوره رشد بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی تیپ رشدی لوبیا قرمز به ترتیب مربوط به تیمار ۷۵٪ قرمز و ۲۵٪ چیتی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ قرمز برابر با ۰/۲۲ و ۰/۱۲ گرم بر گرم در روز بود. سرعت رشد نسبی تیمار کشت خالص لوبیا قرمز که در اوایل رشد دارای حداکثر سرعت رشد نسبی بود، نسبت به تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ قرمز و ۲۵٪ چیتی پایین‌تر بود، ولی در مقایسه با سایر تیمارهای کشت مخلوط بالاتر بود (شکل ۴-R). برای لوبیا چشم‌بلبلی در اوایل دوره رشد تیمار با بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی به ترتیب مربوط به تیمار کشت خالص و مخلوط ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز برابر با ۰/۱۸ و ۰/۰۹ گرم بر گرم در روز بود. برای لوبیا چشم‌بلبلی در اوایل دوره رشد تیمارها کشت مخلوط ۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چیتی و ۷۵٪ چیتی +

۲۵٪ چشم‌بلبلی برابر با ۰/۲۱ و ۰/۱۸ گرم بر گرم در روز به ترتیب بیشترین و کمترین سرعت رشد نسبی را داشتند و تیمار کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی سرعت رشد نسبی کمتری نسبت به تیمارهای ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلبلی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چیتی داشت. با کاهش سهم لوبیا قرمز در کشت مخلوط، سرعت رشد نسبی محصول در ابتدای فصل رشد کاهش یافت و بالاترین روند کاهشی در شرایط حضور لوبیا چشم‌بلبلی مشاهده شد (شکل ۴-R). با کاهش سهم لوبیا چیتی در کشت مخلوط با لوبیا قرمز، سرعت رشد نسبی محصول در ابتدای فصل رشد که در بیشترین میزان خود قرار داشت به میزان کمتری کاهش یافت ولی در شرایط حضور لوبیا چشم‌بلبلی، سرعت رشد نسبی روند کاهشی کمتری مشاهده شد (شکل ۴-P).

نتایج با نظر کلر و نیکی (Koller and Nyquis, 1970) مبنی بر روند نزولی و یکنواخت سرعت رشد نسبی با گذشت زمان هم‌خوانی دارد. کاهش سرعت رشد نسبی به صورت خطی به دلیل بالا رفتن نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های فعال مریستمی و افزایش سن برگ‌ها و از طرفی به دلیل کاهش نسبت سطح برگ و کاهش میزان جذب خالص می‌باشد، زیرا در حقیقت سرعت رشد نسبی حاصل ضرب سرعت آسیمیلایون خالص (NAR) و نسبت سطح برگ (LAR) است. بنابراین سرعت رشد نسبی تحت تاثیر روند کاهش این شاخص‌ها قرار گرفته و به طور خطی کاهش می‌یابد (Nasiri et al., 2007). محمدیان و همکاران (Mohammadian et al., 2013) در بررسی سه توده کنجد گزارش کردند بیشترین سرعت رشد نسبی مربوط به تیمار مخلوط توده‌های سبزوار با کاشمر بود.

سرعت آسیمیلایون خالص (NAR)

آسیمیلایون خالص عبارت از مقدار مواد ساخته شده خالص در واحد زمان و واحد سطح برگ است و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک) بر متر مربع (سطح برگ) در روز بیان می‌گردد (Sarmadnia and Koocheki, 2011). در کلیه تیمارها، میزان آسیمیلایون خالص در اوایل فصل رشد به دلیل پایین بودن سطح برگ فتوستتزد پایین بوده و به تدریج همراه با رشد و افزایش سطح برگ گیاه، در اواسط فصل رشد افزایش چشم‌گیری یافته و پس از آن احتمالاً به دلیل مسن شدن برگ‌ها و کاهش ظرفیت تولید مواد پرورده، تخریب تدریجی کلروفیل و کاهش غلظت آن در سطح برگ و همچنین افزایش تنفس در مقایسه با فتوستتتزد در اثر نزدیک شدن به مرحله فیزیولوژیکی باشد (Koller and Nyquis, 1970) (شکل ۵).



شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی (RGR) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با سه تیپ رشدی

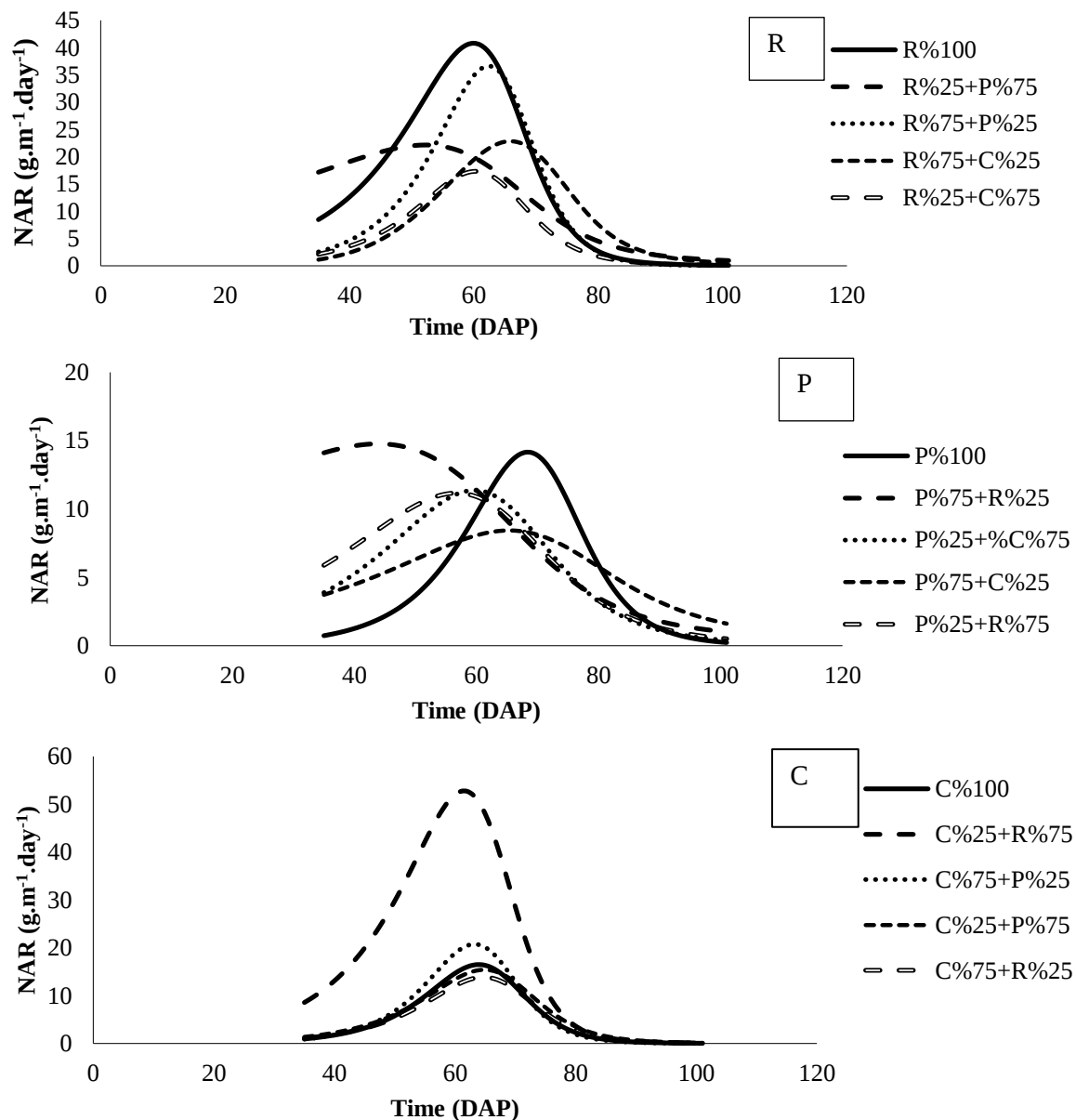
Figure 4- Trends of relative growth rate (RGR) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series

در ۶۳ روز پس از کاشت اختصاص یافت. حداکثر سرعت آسیمیلایون خالص در تیمار خالص کمتر از تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز و بیشتر از سایر تیمارهای کشت مخلوط بود. تیمار خالص لوبیا چیتی در ۳۵ روز پس از کاشت پایین‌ترین سرعت آسیمیلایون خالص را نسبت به تیمارهای کشت مخلوط دارد، ولی به تدریج سرعت آسیمیلایون خالص افزایش یافته تا به حداکثر خود رسیده کشت خالص کمی دیرتر به حداکثر سرعت آسیمیلایون خالص خود رسید و زمانی که تیمارها شروع به کاهش سرعت

بالاترین سرعت آسیمیلایون خالص لوبیا قرمز در کشت خالص (۴۰ گرم بر متر مربع برگ در روز) و کمترین آن نیز به تیمار ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چیتی (۱۸ گرم بر متر مربع برگ در روز) اختصاص یافت (شکل ۵- R). زمانی که تیمارها لوبیا چیتی در حداکثر سرعت آسیمیلایون خالص خود قرار دارند، بیشترین سرعت آسیمیلایون خالص در تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ چیتی + ۲۵٪ قرمز (۱۵ گرم بر متر مربع برگ در روز) در ۴۳ روز پس از کاشت و کمترین آن نیز به تیمار ۲۵٪ چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چیتی (۸ گرم بر متر مربع برگ در روز)

برگ پایین آن و سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها دارای سرعت آسیمیلاسیون خالص بیشتر نسبت به سایر تیمارها و کمترین سرعت آسیمیلاسیون خالص نیز به تیمار ۲۵٪ قرمز + ۷۵٪ چشم‌بلبلی (۱۴ گرم بر متر مربع برگ در روز) در ۶۰ روز پس از کاشت مشاهده شد. حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص در تیمار خالص کمتر از تیمارهای کشت مخلوط ۷۵٪ قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلبلی و ۷۵٪ چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چیتی ولی بیشتر از سایر تیمارهای کشت مخلوط بود (شکل ۵ - C).

آسیمیلاسیون خالص می‌کنند در تیمار کشت خالص روند نزولی تندتر نسبت به تیمارهای کشت مخلوط مشاهده شد (شکل ۵ - C). با افزایش سن برگ از فتوستیز نیز کاسته می‌شود که این امر به نوبه خود موجب افزایش شیب نزولی سرعت آسیمیلاسیون خالص می‌شود (Eddowes, 1962). زمانی که تیمارهای لوبیا چشم‌بلبلی در حداکثر سرعت آسیمیلاسیون خالص خود قرار دارند بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص، در تیمار کشت مخلوط ۷۵٪ لوبیا قرمز + ۲۵٪ چشم‌بلبلی (۵۲ گرم بر متر مربع برگ در روز) به دلیل شاخص سطح



شکل ۵- روند تغییرات سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) تیپ‌های لوبیا قرمز (R)، چشم‌بلبلی (C) و چیتی (P) در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با سه تیپ رشدی

Figure 5- Trends of net assimilation rate (NAR) for (R) red bean, (C) cowpea and (P) pinto bean ecotypes affected as intercropping ratios as replacement series

رقابت را در آشیان اکولوژیکی ایجاد کنند و از طرف دیگر، باعث بهبود ویژگی‌های خاک از جمله تامین نیتروژن شوند، امری بسیار مهم در جهت تولید پایدار گیاهان سالم و عاری از هر گونه مواد شیمیایی به حساب آید. نتایج این آزمایش به خوبی نشان‌دهنده اثر مثبت کشت مخلوط در بهبود برخی از شاخص‌های مختلف مورد مطالعه برای گیاهان مورد بررسی است، به‌عنوان مثال سرعت رشد نسبی لوبیا قرمز، سرعت اسیمیلاسیون خالص لوبیا چیتی و سرعت رشد نسبی و سرعت اسیمیلاسیون خالص لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص به‌دست آمد و البته تراکم‌های بیشتر کشت خالص موجب بهبود برخی دیگر شاخص‌های مانند سطح برگ، سرعت رشد و ماده خشک مربوط به هر سه تیپ رشدی شد. با این حال اظهار نظر در رابطه با برتری کشت مخلوط بر کشت خالص از طریق مدنظر قرار دادن جنبه‌های دیگر مانند دستیابی به ثبات تولید، ارزیابی اقتصادی، سلامت زیست‌محیطی و غیره میسر خواهد بود.

محمدیان و همکاران (Mohammadian *et al.*, 2013) در بررسی سه توده کتجد گزارش کردند که بیشترین سرعت آسیمیلاسیون خالص مربوط به تیمار مخلوط توده‌های سبزوار با کاشمر بود و توده خالص سبزوار، در ۶۰ روز اول دوره رویشی خود به دلیل شاخص سطح برگ بالای آن و سایه‌اندازی برگ‌ها دارای سرعت آسیمیلاسیون خالص کمتری نسبت به سایر تیمارها بود. مارتین و الکساندر (Martin and Alexaner, 1986) در ارزیابی رقابت بین‌گونه‌ای در مخلوط‌های ارقام پابلند و پاکوتاه گندم بهاره دریافتند که نه تنها کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد نگردید، بلکه عملکردها را نسبت به کشت خالص کاهش داد، آن‌ها دلیل این کاهش را رقابت بین ارقام و کاهش سرعت آسیمیلاسیون خالص ذکر کردند.

نتیجه‌گیری

کشت مخلوط گیاهان خانواده لگومها که دارای ویژگی‌های فنولوژیکی و خصوصیات مورفولوژیکی متفاوتی باشند تا کم‌ترین

References

1. Ali madadi, A., Rostamza, M., Jahansooz, M. R., and Ahmadi A. Tavakol Afshari, R. 2005. Cowpea, common bean and mung bean radiation use efficiency, light extinction coefficient and radiation interception in double cropping. In agriculture and gardening (71): 67-75. (in Persian with English abstract).
2. Barker, S., and Dennett, M. D. 2013. Effect of density, cultivar and irrigation on spring-sown monocrops and intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba beans (*Vicia faba* L.). European Journal of Agronomy (51): 108-116.
3. Canfield, D. E., Glazer A. N., and Falkowski, P.G. 2010. The evolution and future of earth's nitrogen cycle. Science 330 (6001): 192-196.
4. Cao, S., Luo, H., Jin, M., Jin, S., Duan, X., Zhou, Y., Chen, W., Liu, T., Jia, Q., Zhang, B., Huang, J., Wang, X., Shang, X., and Sun, Z. 2015. Intercropping influenced the occurrence of stripe rust and powdery mildew in wheat. Crop Protection (70): 40-46.
5. Chapman, S. R., Allard, R.W., and Adams, J. 1989. Effect of planting rate and genotypic frequency on yield and seed size in mixture of two wheat varieties. Crop Science (9): 575-576.
6. Gubbels, G. H., and Kenaschuk, E. O. 1987. Performance of pure and mixed stands of flax cultivars. Canadian Journal of Plant Science 67 (3): 797-802.
7. Das, K., Dang, R., and Shivananda, T. N. 2008. Influence of bio-fertilizers on the availability of nutrients (N, P and K) in soil in relation to growth and yield of *Stevia rebaudiana* grown in South India. International Journal of Applied Research in Natural Products 1 (1): 20-24.
8. Dela-Foente, E. B., Suarez, S. A., Lenadis, A. E., and Poggio, S. L. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. Njas-Wagen Journal of Life Science. In press.
9. Dhingra, K. K., Dhillon, M. S., Grewal, D. S., and Sharma, K. 1991. Performance of maize and mungbean intercropping in different planting patterns and row orientation. Indian Journal Agronomy (36): 207-212.
10. Eddowes, M. 1969. Physiological studies of competition in *Zea mays* L: I. Vegetative growth and ear development in maize. The Journal of Agricultural Science 72 (2): 185-193.
11. Elijah, M. and Akunda, W. 2001. Improving food production by understanding the effect of intercropping and plant population on soybean nitrogen fixing attributes. The Journal of Food Technology in African (6): 110-115.
12. FAOSTAT. 2013. <http://faostat.fao.org> (visited at: 2013).
13. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., and Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327 (5967): 812-818.
14. Hajinia, S., and Ahmadvand, G. 2017. Effect of Light Radiation Absorption and Its Use Efficiency in Intercropping of Soybean and Millet under Water Deficit Stress. Journal of Ecophysiology of Crops 11 (4).

15. Jahan, M., Amiri, M. B., and Ehyaei, H. R. 2012. Radiation Absorption and Use Efficiency of Sesame as Affected by Biofertilizers in a Low Input Cropping System. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (2): 435-447. (in Persian with English abstract).
16. Jensen, N. F. 1952. Intra-varietal Diversification in Oat Breeding 1. *Agronomy Journal* 44 (1): 30-34.
17. Kannenberg, L. W., and Hunter, R. B. 1972. Yielding Ability and Competitive Influence in Hybrid Mixtures of Maize 1. *Crop Science* 12 (3): 274-277.
18. Karimi, M. M., and Siddique, K. M. 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 42:13-20. (in Persian with English abstract).
19. Khorramdel, S., Mahmoodi, G., Abdollahi, F., and Hasanzadeh, H. 2014. Evaluation of Growth Indices and Diversity of Weeds in Replacement and Additive Intercropping Series of Ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) with Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Research in Crop Ecosystems* 1 (3). (in Persian with English abstract).
20. Khorramdel, S., Siahmargoei, A., and Mahmoudi, G. 2014. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. *Crop Production Publication* 9 (1): 1-24. (in Persian with English abstract).
21. Kobata, T., and Moriwaki, N. 1990. Grain growth rate as a function of dry matter production rate an experiment with two rice cultivars under different radiation environments. *Journal of Crop Sciences* (59): 1-7.
22. Koller, H. R., Nyquist, W. E., and Chorush, I. S. 1970. Growth Analysis of the Soybean Community 1. *Crop Science* 10 (4): 407-412.
23. Koocheki, A., Hosseini, M., and Hashemi, A. 2006. Sustainable Agriculture. Jihad Publications, Mashhad University, 164p. (in Persian).
24. Koocheki, A., and Seramandria, Gh. 2005. Physiology of crops (translation). Publications University of Mashhad.
25. Koocheki, A., Rashed Mohsen, M. H., Nasiri, M., and Sadr Abadi, R. 1991. Physiological foundations of crop growth and development. Astan Quds Razavi Publishing House. 404 pages. (in Persian with English abstract).
26. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., and Khorramdel, S. 2010. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (2): 327-334. (In Persian with English abstract).
27. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2010. The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11(3): 390-400. (in Persian with English abstract).
28. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2013. The Effect of Irrigation Intervals and Intecropped Marjoram (*Origanum vulgare*) with Saffron (*Crocus sativus*) on Possible Cooling Effect of Corms for Climate Change Adaptation, *Iranian Journal of Field Crops Research* 11(3): 390-400. (in Persian with English abstract).
29. Kremer, R. J., and Kussman, R. D. 2011. Soil quality in a pecan-kura clover alley cropping system in the Midwestern USA. *Agroforestry Systems* 83 (2): 213-223.
30. Martin, J. M., and Alexander, W. L. 1986. Intergenotypic competition in biblends of spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 66 (4): 871-876.
31. Mazaheri, D. 1987. Mixed Corn and Cultivar, *Iranian Journal of Agricultural Science* 18 (4): 58-52. (in Persian with English abstract).
32. Mohammadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., and Yanegh, A. 2013. Study the Effect of Intercropping of three Sesame Genotypes on Morphological and Physiological Indice. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11(3): 421-429. (in Persian with English abstract).
33. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A. R., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. (in Persian with English abstract).
34. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Bhshte, A. 2007. Agroecology. (Translation). Ferdowsi University of Mashhad.
35. Nassiri-Mahallati, M. 2000. Modelling of Crop Growth Processes Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
36. Nezami, A., and Bagheri, A. 2005. The effect of cold tolerant chickpea genotypes characteristics of autumn and spring: phonological and morphological characteristics. *Iranian Journal of Field Crop Research* 3 (1): 143-155. (in Persian with English abstract).
37. Nurbakhsh, F., Koocheki, A. R., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Effects of planting pattern and seed ratio on growth indices of intercropped sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology* 3 (1): 111 -123. (in Persian with English abstract).
38. Probst, A. H. 1957. Performance of Variety Blends in Soybeans 1. *Agronomy Journal* 49 (3): 148-150.
39. Righi, M., Sangtarash, H., and Cambodia, C. 1989. Yield and quality of wheat varieties Helmand, fried eggs and cross the plateau. Fifth Iranian Congress of Plant Breeding and Crop Production.

40. Baulcombe, D., Crute, I., Davies, B., Dunwell, J., Gale, M., Jones, J., ... and Toulmin, C. 2009. Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society.
41. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., ... 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.
42. Tesar, M. B. 1984. *Physiological Basis of Crop Growth and Development*. American Society of Agronomy. 404pp.
43. Valizadeh, S. 2016. Evaluation of agronomic criteria of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping with some medicinal plants. MSc Thesis Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
44. Yusuf, R. I., Siemens, J. C., and Bullock, D. G. 1999. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. *Agronomy Journal* (91): 928-933.



Effect of Different Intercropping Ratios of Three Bean Ecotypes as Replacement Series on their Physiological Indices

Y. Rameshjan¹, A. Koocheki^{2*}, M. Nassiri Mahallati², S. Khorramdel³

Received: 28-04-2019

Accepted: 01-09-2019

Introduction

Recently self-sustaining, diversified, low-input, and energy-efficient agricultural systems like intercropping have been considered as the efficient way to achieve the sustainability in agriculture. Intercropping as an old agricultural practice, have been followed especially at the small scale and subsistence farming. It can be defined as the agricultural practice of growing two or more crops or ecotypes together in the same field. Intercropping brings diversity of species in the cropping systems, and is considered to make the systems more resilient against environmental perturbations, thus enhancing food security. It provides high insurance against crop failure, especially in the extreme weather conditions like temperature stress, drought, flood, frost, pest infestation etc. In fact, intercropping is claimed to be one of the most significant cropping techniques in sustainable agriculture, and many researches and reviews attribute its utilization to the number of environmental benefits from promoting land biodiversity to diversifying agricultural outcome. Legumes after cereals are the second source of human food and in Iran they are the second most important food. Due to the importance of legume intercropping in the sustainability of agricultural systems, the objective of the present work was to evaluate the effect of row intercropping of three bean ecotypes red bean, pinto bean and cowpea bean as replacement series on the physiological growth indices under climatic conditions of Mashhad.

Materials and Methods

This experiment was conducted based on a randomized complete block design with nine treatments and three replications at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad during 2016-2017 growing season. Treatments were 75% red bean+ 25% pinto bean, 75% red bean+ 25% cowpea bean, 25% red bean+ 75% pinto bean, 25% red bean+ 75% cowpea bean, 75% pinto bean+ 25% cowpea bean, 75% cowpea bean+ 25% pinto bean and their monoculture. In order to measure the growth indices, the destructive samplings were carried out every 14 days from 0.15 m² of row in each plot. All bean ecotypes were harvested by cutting at the soil surface. The studied indices were leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR).

Results and Discussion

The highest leaf area index for red bean, pinto bean and cowpea ecotypes were observed in their monoculture with 2.45, 1.45 and 3.60, respectively. The fast period of vegetative growth and dry matter accumulation were observed at 65-80 days after planting with a small decline afterwards until physiological maturity. The maximum dry matter accumulation for these ecotypes was obtained in their monoculture. Crop growth rate reached its peak 65 days after emergence followed by a decreasing trend afterwards. The highest crop growth rate was observed in pinto bean with 27 g m⁻² day⁻¹. At the beginning of growth stage, due to more penetration of light into the canopy and less shadow of the leaves the less respiration, RGR was more and its reduction slope was less. As time passes and vegetative and reproductive organs grow more, the shadow of leaves on each other increases and therefore after words RGR decreased. Also, net assimilation rate reached to its peak 60 days after emerging and decreased.

Conclusions

The results of showed that intercropping of bean ecotypes with increasing plant density, increased the leaf area index (LAI) and dry matter accumulation (DM) of both crops in monoculture and mixed culture which could be due to increased vegetation and it's closer to optimum density in mixed culture and better use of environmental resources. However due to different criteria of these ecotypes associated with better use of water, radiation and nutrient resources when they are intercropped, physiological growth indices were increased. Overall following this agroecological practice in cropping systems could keep contribution to move the current agroecosystems one step towards sustainability

1- PhD student in Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

Acknowledgements

This research was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Bean ecotypes, Crop growth rate, Dry matter accumulation, Leaf area index



مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل‌های گیاهی AquaCrop و ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد برنج تحت مدیریت‌های زراعی در شهر رشت

پویا اعلایی بازکیایی^۱، بهنام کامکار^۲، ابراهیم امیری^{۳*}، حسین کاظمی^۴، مجتبی رضایی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۲

چکیده

به منظور ارزیابی مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 در تولید برنج تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بر روی رقم محلی (هاشمی) در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در موسسه تحقیقات برنج ایران، رشت انجام گردید. دور آبیاری به عنوان عامل اصلی در چهار سطح غرقاب دائمی، دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز و تاریخ کاشت به عنوان عامل فرعی در سه سطح (اول اردیبهشت، بیستم اردیبهشت و دهم خرداد) در نظر گرفته شدند. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی با استفاده از مؤلفه‌های ضریب تبیین، آزمون t و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل (EF) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی به ترتیب ۹ و ۵ درصد در مدل AquaCrop و معادل ۷ و ۶ درصد در مدل ORYZA2000 تعیین گردید. طبق نتایج هر دو مدل دقت بالایی در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده در سطوح آبیاری و تاریخ کاشت داشتند. نتایج نشان داد مدل AquaCrop جهت اجرا در شرایط دسترسی به داده اندازه‌گیری شده کمتر، مطلوب‌تر است؛ اما اگر بخواهیم بررسی با دقت بالاتری انجام دهیم استفاده از مدل ORYZA2000 پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تاریخ کاشت، مدل ORYZA2000، مدل AquaCrop

مقدمه

امروزه نظام‌های تولید مواد غذایی برای پاسخ‌گویی به نیاز جمعیت رو به رشد جهان و همچنین تولید پایدار در شرایط تغییر اقلیم جهانی، نیاز به بررسی و تحول دارند (Matthews et al., 2013). در این زمینه میزان عملکرد غلات نقش بسیار مهمی در پشتیبانی از امنیت غذایی جهان دارد (Leng, 2017). طبق تحقیقات صورت گرفته، عملکرد واقعی در گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) در جهان به ترتیب ۶۴، ۵۰ و ۶۴ درصد پتانسیل عملکرد آن‌ها گزارش شده است (Neumann et al., 2010). بدین منظور بایستی عوامل کاهنده عملکرد شناسایی

شده و مدیریت مطلوب جهت رفع خلاء عملکرد اجرا شود. بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO) ایران در سال ۲۰۱۸ دارای ۵۸۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و ۱/۹۹ میلیون تن تولید برنج بوده است. واردات برنج در ایران در سال ۲۰۱۸ حدود ۱/۲ میلیون تن بوده است (FAO, 2020). استان گیلان بعد از مازندران بیش‌ترین سطح زیر کشت برنج (۱۹۷ هزار هکتار) را در بین استان‌های کشور دارد (Agricultural Statistics, 2017)؛ بنابراین توجه به تولید برنج در این استان از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به میانگین پایین بارش در ایران و مشکلاتی که اثر افزایش مصرف آب به وجود می‌آورد، باید یک بازنگری کلی در روش‌های آبیاری برنج صورت گیرد. در استان‌های گیلان و مازندران که استان‌های اصلی تولید برنج کشور می‌باشند، کشت برنج با روش‌های سنتی با کارایی کمی همراه است (Amiri et al., 2011). اصولاً عملکرد پایین محصولات زراعی توسط کمبودهای موجود در محیط‌زیست فیزیکی رشد گیاهان زراعی به وجود می‌آید که در مدیریت‌های زراعی به آن‌ها پرداخته نشده است (Neumann et al., 2010; Mueller et al., 2012). مدل‌ها می‌توانند نقش مهمی در پیش‌بینی میزان عملکرد، دستیابی به پتانسیل تولید و تأمین تقاضای غذایی جهان داشته باشند (Rosegrant and Cline, 2003).

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵- استادیار، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

(*- نویسنده مسئول)

(Email: eamiri57@yahoo.com)

DOI: 10.22067/gsc.v18i4.86749

مدل ORYZA2000، رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط مطلوب، محدودیت آبی و محدودیت نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند (Bouman and Van Laar, 2006). نیسار و آرورا (Nisar and Arora, 2018) در شبیه‌سازی عملکرد برنج با مدل ORYZA2000 در تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت ریشه میانگین مربعات انحراف بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد زیستی و دانه را ۱۲ و ۱۶ درصد گزارش نمودند. تاریخ کاشت روی رشد و نمو فنولوژی گیاه و در نتیجه روی میزان بهره‌برداری آن از محیط تأثیرگذار است (Pazoki et al., 2010). ون اوورت و همکاران (Van Oort et al., 2016) با کمک مدل ORYZA2000، به بررسی برنج تحت آبیاری در سنگال پرداختند. نتایج این آزمایش نشان داد که با کمک مدل می‌توان تاریخ کاشت ارقام مختلف را در تراکم‌های کاشت متفاوت تعیین نمود و قابلیت تولید برنج تحت تأثیر خطرات اقلیمی را بررسی نمود.

AquaCrop مدلی بر مبنای مصرف آب است که شبیه‌سازی پوشش تاج‌پوشش و ماده خشک بالایی سطح خاک گیاه را در پاسخ به تعرق انجام می‌دهد و در پایان کار عملکرد را بر اساس مقادیر تعرق روزانه گیاه شبیه‌سازی می‌کند (Jin et al., 2018). ژای و همکاران (Zhai et al., 2019) در شبیه‌سازی عملکرد برنج با مدل AquaCrop در سطوح مختلف آبیاری مقدار NRMSE را در شبیه‌سازی عملکرد دانه کمتر از ۱۰ درصد گزارش نمودند. با توجه به ضرورت حصول تولید اقتصادی مطلوب و بررسی دقت مدل‌ها در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان زراعی و اهمیت آبیاری و تاریخ کاشت در حصول عملکرد مطلوب در کشت برنج، این تحقیق با هدف شبیه‌سازی عملکرد دانه و عملکرد زیستی برنج رقم هاشمی با استفاده از مدل ORYZA2000 و AquaCrop تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت در استان گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی مدل‌های ORYZA2000 و AquaCrop در استان گیلان، آزمایشی در قالب کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۶) در موسسه تحقیقات برنج کشور بر روی رقم هاشمی (نوع زودرس از گروه ایندیکا) انجام شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل داده‌های روزانه حداقل و حداکثر دما، مقدار بارندگی، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ تهیه شد. طول و عرض هر کرت آزمایشی معادل ۳/۵ متر و فاصله کشت نشاها ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری نوبتی به‌عنوان عامل اصلی در ۴ سطح غرقاب دائمی (I1)، دور ۵ (I2)، ۱۰ (I3) و ۱۵ روز (I4) و تاریخ کاشت در ۳ سطح (یک اردیبهشت (D1)، ۲۰ اردیبهشت (D2) و ۱۰ خرداد (D3)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. بود. کرت‌بندی

بعد از شخم اولیه و ثانویه و انجام گل‌خرابی (پادلینگ) در برنج صورت گرفت. پس از انتقال نشاها به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۱۰ روز تمام غرقاب دائم نگه‌داری شدند تا نشاها استقرار یابند. پس از آن مدیریت آبیاری در کرت‌ها بر مبنای برنامه اعمال شد. حجم آب آبیاری به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. در این آزمایش ارتفاع آب تیمار غرقاب ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Amiri et al., 2011). کلیه عملیات زراعی و یادداشت‌های مورد نیاز نظیر تاریخ بذرپاشی در خزانه، نشاکاری، گل‌دهی و برداشت طبق استانداردهای زراعی مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) انجام گرفت (IRRI, 2003). نیتروژن به‌صورت کود اوره به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه و به مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک یک ماه بعد از مرحله پایه نیز مصرف شد. کود پتاسیم اکسید (K_2O) به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم و فسفر (P_2O_5) به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده گردید. علف‌های هرز به‌طور دستی وجین گردید. در زمان رسیدگی (با طول فصل رشد به‌طور متوسط ۹۸ روز در تیمارهای مختلف)، مقدار عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب با برداشت یک و پنج مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. مؤلفه‌های فیزیکی و هیدرولیکی لایه‌های مختلف خاک در جدول ۱، اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ محل انجام طرح در جدول ۲ ارائه شده است. متوسط مقدار آب مصرفی در دو سال آزمایش در آبیاری غرقاب، دور ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به‌ترتیب برابر ۵۸۰، ۵۰۵، ۳۹۹ و ۳۸۶ میلی‌متر و در تاریخ کشت D1 تا D3 به‌ترتیب ۴۸۰، ۴۹۳ و ۴۲۸ میلی‌متر بود که با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

تشریح مدل ORYZA2000

در این مدل میزان کل روزانه فتوسنتز گیاه بر اساس میزان تابش، دما و شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود. ضرایب تخصیص نیز بر اساس توابع مربوطه که به فنولوژی گیاه بستگی دارد در مدل گنجانده می‌شود (Bouman et al., 2001). مدل اثرات تنش خشکی را با توجه به اثر میزان مکش آب در خاک، بر رشد گیاه محاسبه می‌کند (Wopereis, 1993). در واسنجی مؤلفه‌های گیاهی از برنامه DRATES برای واسنجی سرعت توسعه فنولوژیکی و برنامه PARAM به‌منظور واسنجی سایر مؤلفه‌ها فوق که مختص به رقم است، استفاده شد (Bouman et al., 2001). خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی موردنیاز خاک در شرایط مدیریت آبیاری مدل شامل مؤلفه‌های هیدرولیکی معادله ون‌گنوختن لایه‌های خاک که با کمک مدل RETC (مؤلفه‌های α ، n و λ) و اندازه‌گیری واقعی (رطوبت در نقاط اشباع (θ_{SAT})، ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC})، نقطه پژمردگی دائم

فئولوژیکی در چهار فاز رویشی پایه (DVRJ)، حساسیت به نور (DVRJ)، شکل‌گیری سنبلچه (DVRP) و مرحله پر شدن دانه (DVRJ) بر اساس $^{-1}$ (درجه سانتی‌گراد-روز) می‌باشد.
 DVRJ=0.001555, DVRP=0.000758, DVRP=0.000795, DVRJ=0.001994
 سپس برنامه PARAM اجرا گردید و سرعت رشد نسبی برگ (RGRLMX) و کسر ذخیره ساقه (FSTR) برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی محاسبه گردید:
 RGRLMX=0.008, FSTR=0.068

هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{SAT}) و مقدار نشت و نفوذ عمقی) محاسبه شد (Amiri and Rezaei, 2010).
 همچنین روز خزانه‌گیری، تعداد روز در خزانه، تعداد نشا در کپه، تعداد کپه در متر مربع، روز ظهور خوشه، مقدار و زمان آب آبیاری و در مورد برنج عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی به‌عنوان مؤلفه‌های مدیریتی جهت اجرای مدل در نظر گرفته شدند. برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده تحت شرایط تولید پتانسیل (آبیاری شرایط غرقاب) استفاده گردید (جدول ۳). ابتدا برنامه DRATES اجرا گردید که نتیجه آن محاسبه مقادیر سرعت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و مؤلفه‌های ون‌گنوختن لایه‌های خاک مزرعه آزمایش

Table 1- Physical properties and components of van Genuchten the soil layers of the experimental field

عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	لوم Loam (%)	رس Clay (%)	θ_{SAT} (-)	K_{SAT} (cm.day ⁻¹)	θ_{FC} (-)	θ_{PWP} (-)	N	α (cm ⁻¹)
0-10	14	39	47	0.65	57.54	0.40	0.27	1.23	0.03
10-20	17	39	44	0.62	30.80	0.40	0.30	1.20	0.03
20-30	9	44	47	0.62	0.40	0.41	0.30	2.99	0.06
30-40	11	42	47	0.60	12.40	0.42	0.30	1.17	0.26

θ_{SAT} : رطوبت در نقطه اشباع، θ_{FC} : ظرفیت مزرعای، θ_{PWP} : نقطه پژمردگی دائم، K_{SAT} : هدایت هیدرولیکی اشباع، α و n : شاخص‌های آب‌شناختی معادله ون‌گنوختن.
 θ_{SAT} : Saturation Moisture, θ_{FC} : Farm Capacity, θ_{PWP} : Permanent Wilting Point, K_{SAT} : Saturated Hydraulic Conduct, α and n : Hydrologic Indicators of the Van Genuchten Equation.

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در محل انجام طرح

Table 2- Meteorological information from year 2016 and 2017 at the site of the project

سال Year	ماه Month	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	سرعت باد Wind speed (m.s ⁻¹)	تابش Radiation (KJ.m ⁻² .d ⁻¹)	فشار هوا vapor pressure (KPa)	بارش Rainfall (mm)
2016	April	9.67	18.80	1.54	343778	1.20	127.4
	May	14.92	24.66	1.77	428218	1.84	26.5
	June	18.44	28.75	1.59	595321	2.27	48.3
	July	20.98	31.28	1.47	609381	2.63	144.8
	August	21.43	33.09	1.34	592162	2.73	51.2
	September	20.12	31.42	1.29	459063	2.59	164.7
2017	April	8.75	17.96	2.41	383139	1.25	89.4
	May	14.34	23.91	2.00	481220	1.81	27.1
	June	18.88	28.27	1.82	610828	2.28	9.0
	July	20.68	31.08	1.59	607252	2.59	14.7
	August	22.14	32.85	1.61	672293	2.70	0
	September	21.31	32.20	1.62	527633	2.76	60.5

آمار دما، سرعت باد، تابش و فشار هوا بر اساس میانگین ماهانه در شش ماه اول سال و بارش بر اساس مجموع بارش در هر ماه ذکر گردیده است.

The temperature, wind speed, irradiance and air pressure are based on the monthly average in the first six months of the year and precipitation based on the total rainfall in each month.

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_X}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_X}\right) \quad (1)$$

که در آن Y_X : حداکثر عملکرد؛ Y : عملکرد واقعی؛ ET_X : حداکثر تبخیر و تعرق؛ ET : تبخیر و تعرق واقعی و K_y : عامل تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق

تشریح مدل AquaCrop

هسته اصلی تخمین عملکرد محصول در AquaCrop رابطه دورنباس و کاسام (رابطه ۱) است که با اعمال اصلاحاتی در آن از جمله تفکیک تبخیر و تعرق واقعی (ET) به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق (T_c) و نیز عملکرد (Y) به زیست‌توده (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شده است (Raes et al., 2012).

شدن روزنه‌ها (۰/۷) و برای پیر شدن تاج‌پوشش گیاه (۰/۶)، ضریب شکل منحنی ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه‌ها (۳) و برای پیری تاج‌پوشش (۳) بود. همچنین ضرابی که در واسنجی تنظیم شد شامل ضریب رشد تاج‌پوشش (۱۳/۱ درصد در روز)، ضریب کاهش تاج‌پوشش (۱۱/۸ درصد در روز)، بهره‌وری آب نرمال شده (۲۰ گرم بر مترمربع)، حداکثر پوشش تاج‌پوشش (۹۵ درصد)، زمان کاهش تاج‌پوشش (۲۵ روز)، شاخص برداشت (۵۷ درصد)، آستانه پایین و بالای منحنی ضریب تنش خشکی برای گسترش تاج‌پوشش گیاه (به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۵) و ضریب شکل منحنی ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاج‌پوشش گیاه (۰) بود.

است. برای محاسبه عملکرد از زیست‌توده، مدل AquaCrop از رابطه (۲) استفاده می‌کند (Raes et al., 2012).

(۲) $Y = f_{HI} \times HI_0 \times B$
که در آن: HI_0 : شاخص برداشت مرجع (طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک)؛ Y : عملکرد دانه؛ B : میزان تولید زیست‌توده و f_{HI} : ضرابی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند و به کمبود آب، دمای هوا، زمان و شدت تنش در طول چرخه رشد محصول بستگی دارد (Raes et al., 2012). ضرایب واسنجی شده گیاهی که به‌صورت پیش‌فرض در نظر گرفته شد شامل دمای پایه رشد (۸ درجه سانتی‌گراد)، دمای سقف (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل (۱/۱۵)، آستانه بالای ضریب تنش آبی برای بسته

جدول ۳- اطلاعات گیاهی ضرایب تخصیص گیاه، سطح ویژه و سرعت مرگ برگ در مدل ORYZA2000

Table 3- Vegetation information. Plant allocation coefficients, specific surface and leaf death rate in the ORYZA2000 model

مرحله رشدی گیاه Plant growth stage DVS	سرعت مرگ برگ Death rate of leaves DRLVT (d ⁻¹)	سطح ویژه برگ Special leaf area SLA (ha.kg ⁻¹)	تخصیص ماده خشک به اندام هوایی Allocation of dry matter to the aerial organs FSHTB	عامل تفکیک اندام هوایی به برگ aerial organs separation factor to leaf FLVTB	عامل تفکیک اندام هوایی به ساقه aerial organs separation factor to shoot FSTTB	عامل تفکیک اندام هوایی به سنبله aerial organs separation factor to panicle FSOTB
0.000	0.000	0.0032	0.500	0.500	0.500	0.000
0.330		0.0025				
0.430			0.750			
0.500				0.600	0.400	
0.600	0.005					
0.650		0.002		0.450	0.550	0.000
0.700			1.000	0.100	0.700	0.200
1.000	0.045			0.000	0.000	1.000
1.600	0.050					
2.100	0.050	0.001				
2.500	0.050	0.001	1.000	0.000	0.000	1.000

در مراحل رشد DVS=0 مرحله جوانه‌زنی و DVS=2 برابر رسیدگی فیزیولوژی است.

In the growth stages, DVS = 0 is germination stage and DVS = 2 is the physiological maturity stage.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$NRMSE = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} / O_{mean} \quad (۴)$$

$$RMD = \frac{100}{\bar{O}} \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{n} \quad (۵)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_{mean} - O_i)^2} \quad (۶)$$

P_i = مقدار شبیه‌سازی مدل اجزای گیاهی، O_i = مقدار اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی، n = تعداد اندازه‌گیری واقعی اجزای گیاهی،

به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop و ORYZA2000، از ترکیب روش‌های گرافیکی و آماری، مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه و عملکرد زیستی در شرایط آبیاری نوبتی و تاریخ کاشت استفاده شد، نمودار پراکنش داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و خطوط ۱:۱ نیز به‌منظور نشان دادن تناسب کلی مدل مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ضریب تبیین (R^2) رگرسیون خطی بین مقادیر شبیه‌سازی شده (P) و اندازه‌گیری شده (O) محاسبه گردید. جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه‌سازی مدل از آزمون t و متغیرهای آماری رابطه (۳) الی (۶) استفاده شد (Bouman and Van Laar, 2006).

(۳۰۰۰ تا ۴۷۶۱ کیلوگرم در هکتار) و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop (۱۷۴۱ تا ۴۲۳۱ کیلوگرم در هکتار) و مدل ORYZA2000 (با دامنه ۲۲۱۵ تا ۴۷۶۶ کیلوگرم در هکتار) نشان داد مقادیر شبیه‌سازی شده بین ۱۵- تا ۲۰ درصد خطا داشته است. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری، عملکرد دانه واقعی کم می‌شود. تاریخ کاشت یک و ۲۰ اردیبهشت (به‌ترتیب با میانگین ۳۷۹۵ و ۳۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین عملکرد دانه را طی دو سال آزمایش داشته است که مدل‌ها نیز به‌خوبی تغییرات عملکرد دانه را طی شرایط واسنجی و اعتبارسنجی پیش‌بینی نمودند (شکل ۲). با توجه به مبتنی بودن مدل AquaCrop بر روابط آبی، طبق نتایج، شبیه‌سازی مطلوبی از تعرق و سایر تغییرات به‌وجود آمده تحت تأثیر تغییر تاریخ کاشت و دور آبیاری مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد بر اساس ساختار مدل ORYZA2000، مراحل فنولوژی و سرعت رشد گیاه و عملکرد نهایی به‌خوبی تحت تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت شبیه‌سازی شد. بیش‌ترین مقدار خطای مدل در تخمین عملکرد دانه در واسنجی مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب در تیمارهای I4D1 و I3D1 و در شرایط اعتبارسنجی به‌ترتیب در تیمارهای I1D1 و I4D1 مشاهده شد. شرایط توأمان آب، کود و تاریخ کاشت تأثیر پیچیده‌ای بر رشد و نمو گیاه برنج در شرایط واقعی ایجاد می‌کند، به نحوی که به‌خصوص در شرایط کم‌آبی در تاریخ کاشت اول (مدیریت آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز)، مدل در تخمین عملکرد دانه دقت کمتری داشت، اما به‌طور متوسط طی دو سال آزمایش درصد خطای مدل جهت تخمین عملکرد دانه کمتر از ۱۰ درصد بوده است (شکل ۲). طبق نتایج به نظر می‌رسد بررسی دقیق‌تر روابط آبی گیاه تحت تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت می‌تواند سبب افزایش دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد شود. لی و همکاران (Li et al., 2017) در مطالعه خود در بررسی ساختار مدل ORYZA2000 نیاز به بازنگری ساختار مدل جهت شبیه‌سازی رشد گیاه در شرایط مختلف دسترسی به آب را گزارش نمودند. نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی (شکل ۱) بین مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که ضریب تبیین (R^2) برای کل داده‌های دو سال آماری در مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۸۴ است (شکل ۱) که نشان از مناسب بودن مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد.

O_{mean} = میانگین مقادیر اندازه‌گیری اجزای گیاهی، $RMSE$ = ریشه میانگین مربعات خطا، $NRMSE$ = ریشه میانگین مربعات خطای نرمال. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در حالت مطلوب یا حالتی که مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند، برابر با صفر هستند. آشکار است هرچه مقدار این دو مؤلفه به صفر نزدیک‌تر باشد مدل دقیق‌تر است. چنانچه مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر از ۱۰ باشد نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۱۰ حالت خوب، بین ۳۰-۲۰ حالت متوسط و بالای ۳۰ حالت ضعیف شبیه‌سازی می‌باشند (Rinaldi et al., 2003). RMD انحراف ساختاری محاسبه شده مدل و EF کارایی مدل نسبت به میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است (Nash and Sutcliffe, 1970).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

متغیرهای آماری که برای ارزیابی (واسنجی و اعتبارسنجی) توانایی مدل AquaCrop و ORYZA2000 در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج مدنظر بود، در جدول ۴ ارائه داده شده است. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا در شبیه‌سازی عملکرد دانه در مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب ۳۲۷ و ۲۷۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). همچنین مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه در مدل AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب ۹ و ۷ درصد بدست آمد (جدول ۴). نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده مدل در شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری ندارند (در سطح احتمال ۵ درصد) (جدول ۴). ژو و همکاران (Xu et al., 2019) در شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج با مدل AquaCrop تحت شرایط خشکی و رطوبت متناوب، خطای نسبی مدل را کمتر از ۳/۶ درصد گزارش نمودند. امیری لاریجانی و همکاران (Amiri et al., 2013) در شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام برنج در سنن مختلف گیاهچه‌ای با استفاده از مدل ORYZA2000، میانگین جذر میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) ۶٪ تا ۹٪ برای عملکرد دانه را گزارش نمودند. مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری در شکل ۱ نشان داد که اکثر داده‌ها در محدوده خطای کمتر از ۱۵ درصد بودند. بررسی دامنه مقادیر عملکرد دانه واقعی

1- Root Mean Square Error

2- Root Mean Square Error Normalized

جدول ۴- نتایج شبیه‌سازی مؤلفه‌های گیاهی مدل AquaCrop و ORYZA2000 (دو سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶)

Table 4- Results of simulation of plant components of AquaCrop and ORYZA2000 model (in two years of 2016-2017)

	تعداد Number	NRMSE (%)	RMSE	P(t)	R ²	P _{mean}	O _{mean}	EF	RMD (%)
AquaCrop									
عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	24	9	327	0.31	0.75	3575	3661	0.74	-1.9
عملکرد زیستی Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	24	5	1038	0.63	0.78	10039	9992	0.77	0.55
ORYZA2000									
عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	24	7	275	0.86	0.83	3670	3661	0.81	0.26
عملکرد زیستی Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	24	6	580	0.44	0.78	10050	9992	0.74	0.93

RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE: ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده، P(t): آزمون t، R²: ضریب تبیین، P_{mean}: مقادیر شبیه‌سازی شده، O_{mean}: مقادیر مشاهده شده، EF: کارایی مدل، RMD: انحراف ساختاری مدل.

RMSE: root mean square error, NRMSE: root mean square error normalized, P (t): t test, R²: explanatory factor, P_{mean}: simulated values, O_{mean}: observed values; EF: calculated model efficiency; RMD: Structural deviation of the model.

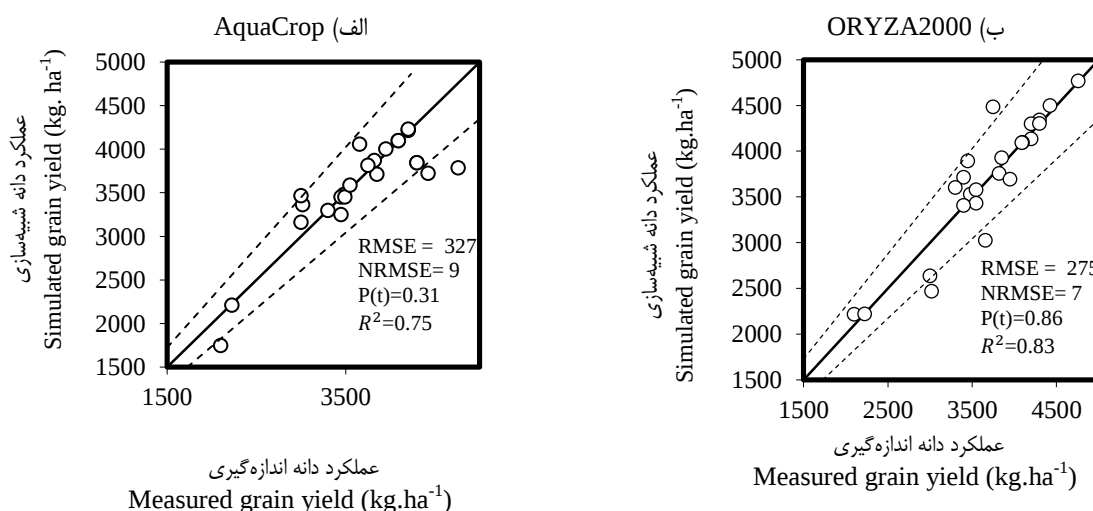
عملکرد زیستی

نتایج ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد زیستی برنج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد در مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب معادل ۱۰۳۸ و ۵۸۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد زیستی به‌ترتیب ۵ و ۶ درصد تعیین شد (جدول ۵). عبدالگانیو و همکاران (Abdul-Ganiyu et al., 2018) در بررسی اثر آبیاری بر عملکرد برنج با مدل AquaCrop ضریب تبیین به‌دست آمده در شبیه‌سازی عملکرد زیستی را بین ۰/۸۳ تا ۱ گزارش نمودند. تاری و همکاران (Tari et al., 2017) در بررسی مدل ORYZA2000 مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد زیستی را ۶ درصد به‌دست آوردند. نتایج آزمون t نشان داد که مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده مدل در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با مقدار اندازه‌گیری شده ندارد (جدول ۵). در شکل ۳ مقایسه مقدار عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده ارائه شده است. نتایج نشان داد که با تغییر در مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت عملکرد زیستی واقعی کم یا زیاد می‌شود که مدل‌ها نیز کاهش و افزایش مقدار عملکرد زیستی شبیه‌سازی‌شده را به‌خوبی نشان دادند. نتایج نشان داد بر اساس معادلات ذکر شده مدل ORYZA2000 به‌خوبی قادر به

شبیه‌سازی اثر شرایط محیطی شامل کمبود آب، دمای هوا، زمان و شدت تنش در طول چرخه رشد تحت تأثیر آبیاری و تاریخ کاشت روی تولید زیست‌توده می‌باشد. در شکل ۳ مقایسه مقادیر عملکرد زیست‌توده واقعی (۶۹۰۰ تا ۱۱۳۲۵ کیلوگرم در هکتار) و شبیه‌سازی شده در مدل AquaCrop (۶۸۵۹ تا ۱۱۴۳۷ کیلوگرم در هکتار) و ORYZA2000 (با دامنه ۷۵۰۵ تا ۱۲۳۷۶ کیلوگرم در هکتار) نشان داده شد. بیش‌ترین مقدار خطای مدل در تخمین عملکرد زیستی در واسنجی مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب در تیمار I4D3 و I3D2 و در اعتبارسنجی به‌ترتیب در تیمار I3D3 و I2D2 مشاهده شد (شکل ۳). در بررسی مدل AquaCrop نتایج نشان داد که درصد خطای مدل متغیر بوده، به نحوی که در سال اول تاریخ کاشت D3 در بین مدیریت‌های تاریخ کاشت و در شرایط مدیریت آبیاری با افزایش سطح خشکی قدر مطلق میزان خطا افزایش یافت؛ درحالی که در سال دوم در تیمار آبیاری ۵ روزه بیش‌ترین خطا مشاهده شد (شکل ۳). گیو و همکاران (Guo et al., 2019) در بررسی عدم قطعیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی بیان کردند که مدل مذکور دارای مؤلفه‌های مبتنی بر بیلان آب بسیار حساسی است و به‌طور دقیق باید در محیط‌های مختلف مورد واسنجی قرار گیرد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که واسنجی در چندین مرحله می‌تواند سبب افزایش دقت مدل در شبیه-

2017) نیز بیش‌برآورد مدل ORYZA2000 در شبیه‌سازی زیست‌توده برنج به دلیل دقت کم مدل در شبیه‌سازی پتانسیل آب خاک گزارش نمودند. نتایج حاصل از رگرسیون خطی (شکل ۴) بین مقادیر عملکرد زیستی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نشان داد که ضریب تبیین برای داده‌های مجموع دو سال آماری مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000 به‌ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۰/۸۱ است که نشان از مناسب بودن مدل‌ها در شبیه‌سازی عملکرد زیستی دارد.

سازی گردد. در بررسی مدل ORYZA2000 در تاریخ کاشت اول در بین مدیریت‌های تاریخ کاشت و در شرایط مدیریت آبیاری با افزایش فاصله آبیاری، قدر مطلق میزان خطا افزایش یافت (شکل ۳). به نظر می‌رسد کاهش دقت مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده، ناشی از دقت پایین مدل در شبیه‌سازی روابط آب، خاک و گیاه جهت پیش‌بینی تولید و تخصیص زیست‌توده گیاه تحت تغییرات به‌وجود آمده در تاریخ‌های کاشت و دور آبیاری بوده است. لی و همکاران (Li et al.,



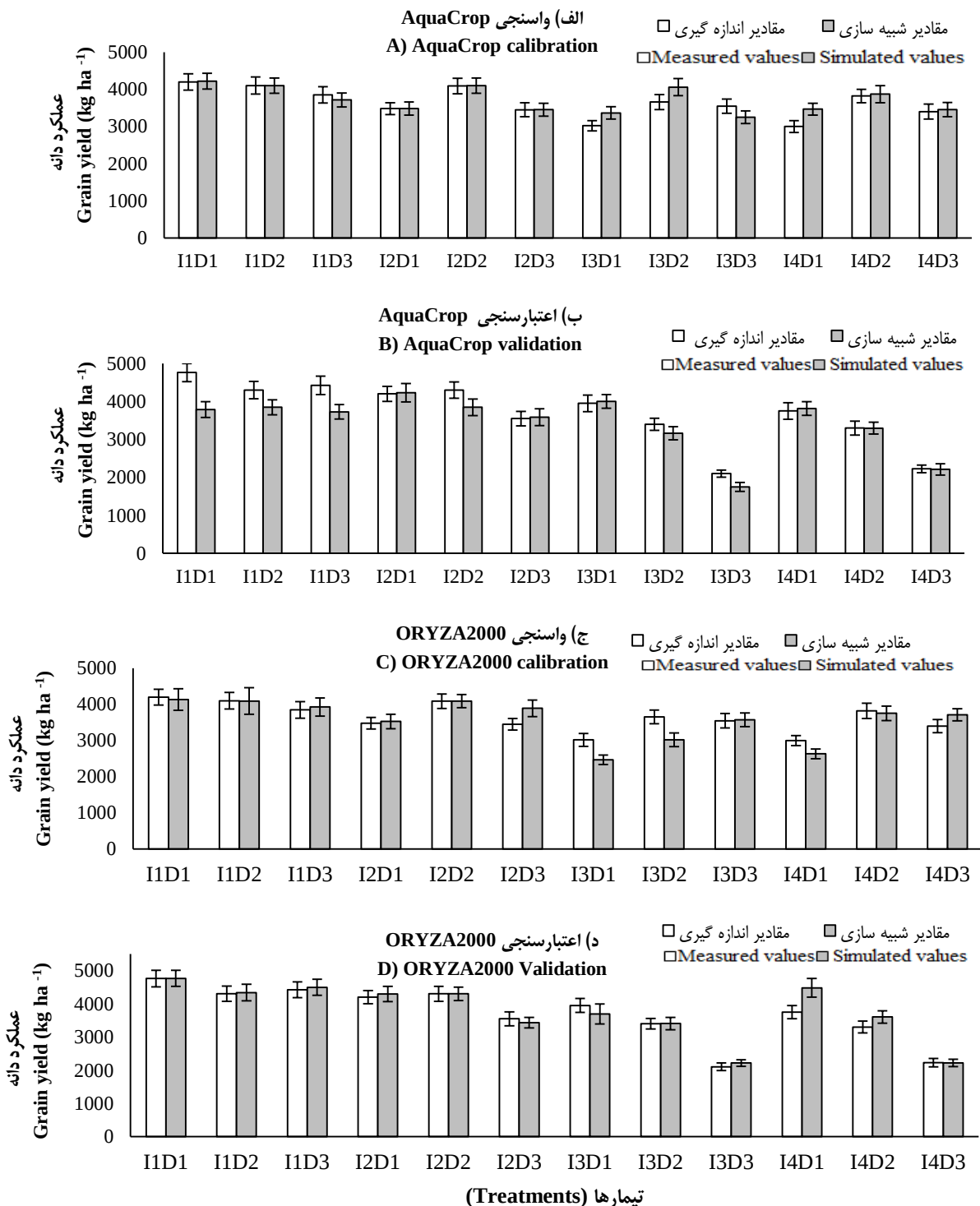
شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خط ۱:۱. خطوط منقطع حدود اطمینان ۱۵٪ را نشان می‌دهند.

Figure 1- Comparison of simulated and measured grain yields compared to 15% confidence lines

حالی که مدل ORYZA2000 بر اساس سرعت رشد متفاوت در مرحله گیاهچه، مرحله حساس به دوره نوری، مرحله آغاز شکل‌گیری خوشه و مرحله رشد رویشی، عملکرد را پیش‌بینی می‌کند (Amiri et al., 2014). طبق این بررسی، شبیه‌سازی عملکرد دانه مدل ORYZA2000 در این آزمایش از دقت بالاتری برخوردار بوده است. نتایج نشان داد مدل AquaCrop جهت اجرا در شرایط دسترسی به داده اندازه‌گیری شده کم‌تر مطلوب‌تر است؛ اما اگر بخواهیم بررسی با دقت بالاتری انجام دهیم استفاده از مدل ORYZA2000 پیشنهاد می‌شود. از آن‌جا که مدل ORYZA2000 یک مدل تخصصی برنج است نیاز به اطلاعات بیش‌تری در مورد گیاه و خاک دارد (از جمله تعداد روز در خزانه، تعداد کپه در مترمربع، تعداد نشاء در مترمربع و روش کاشت و میزان نفوذ عمقی)؛ اطلاعات بیش‌تر منجر به شبیه‌سازی بهتر می‌شود (Amiri et al., 2009).

مقایسه مدل‌های AquaCrop و ORYZA2000

نتایج بررسی نشان داد که مدل AquaCrop دقت بالاتری در شبیه‌سازی زیست‌توده برنج در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی (RMD=0.55, EF=0.77, $R^2=0.78$) نسبت به مدل ORYZA2000 (RMD=0.93, EF=0.74, $R^2=0.81$) داشته است (جدول ۴)؛ در حالی که مدل ORYZA2000 بر اساس نتایج بیش‌ترین دقت را در شبیه‌سازی عملکرد دانه طی دو سال آزمایش در مقایسه با مدل AquaCrop (RMD=-1.9, EF=0.74, $R^2=0.75$) داشته است (جدول ۴). اساس کار مدل AquaCrop شبیه‌سازی پاسخ عملکرد محصولات گیاهی به آب است و به‌ویژه در شرایطی که آب عامل مهمی در تولید محصول می‌باشد، مناسب است و بر اساس تعرق روزانه برنج، عملکرد دانه را پیش‌بینی می‌کند (FAO, 2020)؛ در

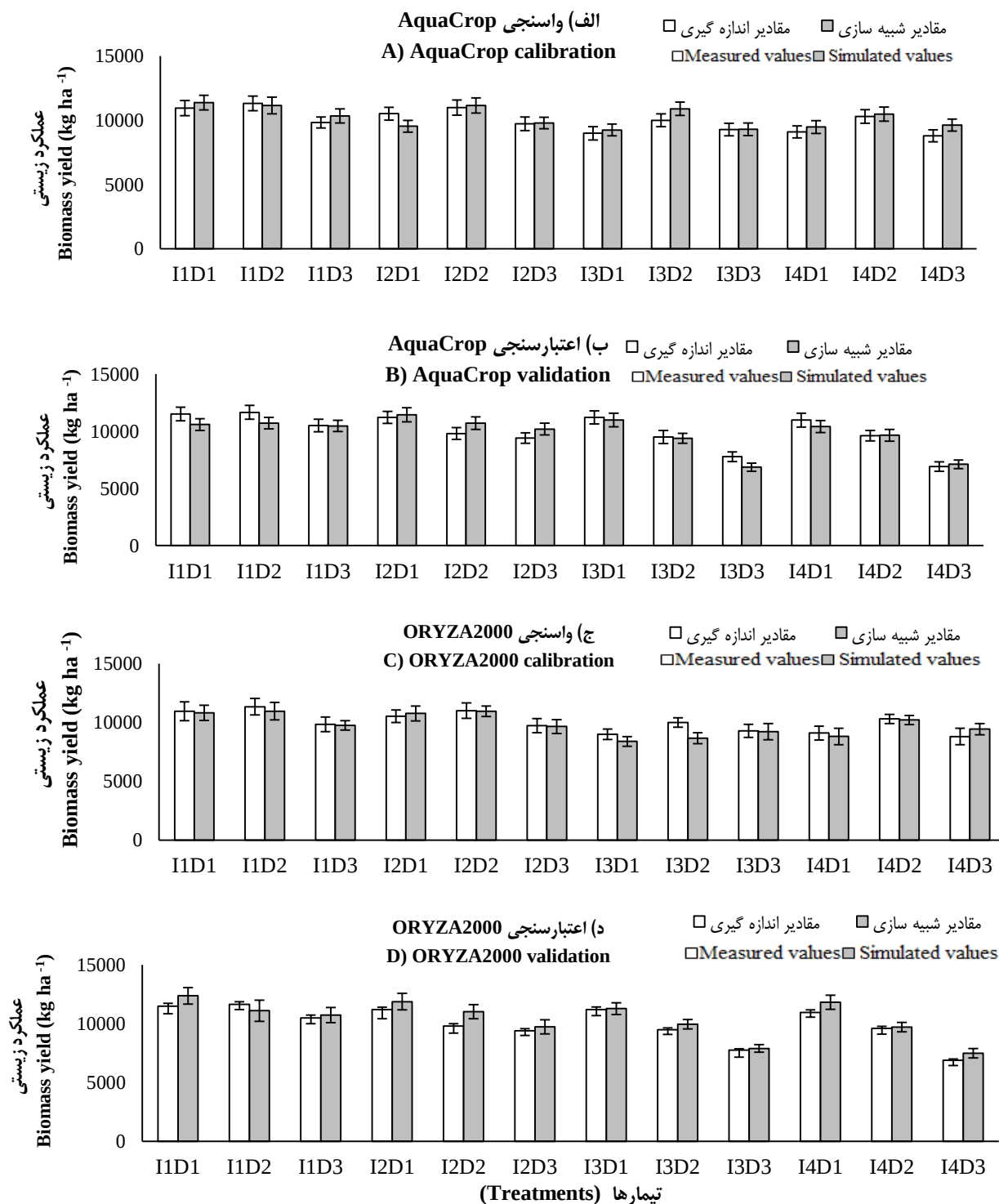


شکل ۲- مقادیر عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل AquaCrop و ORYZA2000 در تیمارهای ترکیبی تاریخ کاشت و دور آبیاری در برنج (رقم هاشمی)

D3, D2, D1: به ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4, I3, I2, I1: به ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

Figure 2- Observed and simulated grain yield values by AquaCrop and ORYZA2000 models in combined treatment of planting date and irrigation cycle in rice (Hashemi cultivar).

D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.

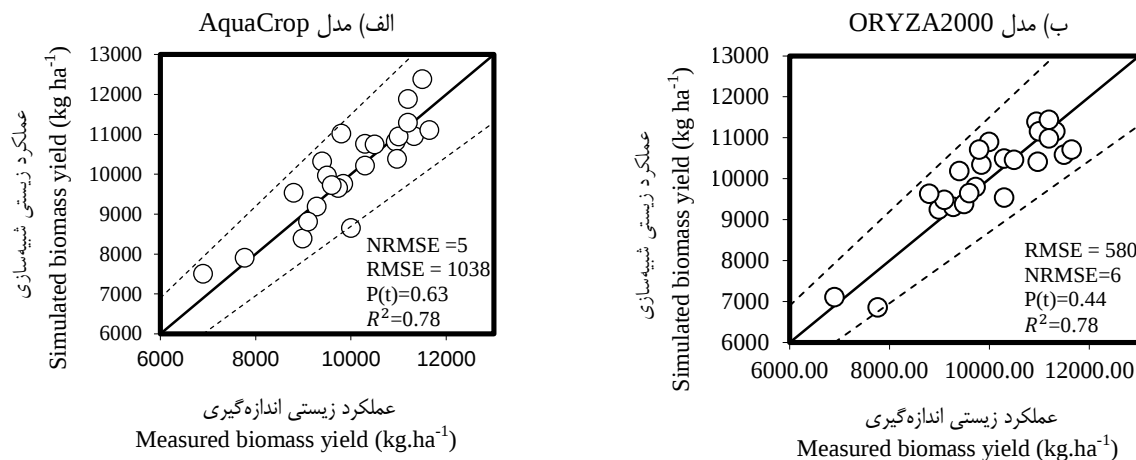


شکل ۳- مقادیر عملکرد زیستی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop و ORYZA2000 در تیمارهای ترکیبی تاریخ کاشت و دور آبیاری در برنج (رقم هاشمی)

D3, D2, D1: به ترتیب تاریخ کشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4, I3, I2, I1: به ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه

Figure 3- Observed and simulated biomass yield values by AquaCrop and ORYZA2000 models in combined treatment of planting date and irrigation cycle in rice (Hashemi cultivar)

D1, D2, D3: planting date of April, 21th, May, 11th and May, 31th; I1, I2, I3, I4: flooding, 5, 10 and 15 days irrigation cycle, respectively.



شکل ۴- مقایسه عملکرد زیستی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نسبت به خطوط اطمینان ۱۵ درصد
Figure 4- Comparison of simulated and measured biomass yields compared to 15% confidence lines

ضریب تبیین و کارایی مدل به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۷۴ نشان داد. به نظر می‌رسد توصیف بهتر شرایط گیاه و خاک در مدل و واسنجی بهتر ژنتیکی، سبب افزایش دقت برآورد عملکرد در مدل ORYZA2000 شد. همچنین با توجه به نتایج قابل قبول به‌دست آمده در مدل AquaCrop می‌توان نتیجه گرفت که مدل مذکور تغییرات به‌وجود آمده در روابط آبی گیاه تحت تأثیر اثر متقابل تاریخ کاشت و دور آبیاری را به‌خوبی شبیه‌سازی نموده است.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان داد که هر دو مدل بر اساس مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده کمتر از ۱۰ درصد و کارایی مدل و ضریب تبیین بالای ۰/۷ و انحراف ساختاری کمتر از ۲ درصد، دقت مطلوبی در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده طی واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها داشته‌اند. مدل ORYZA2000 با توجه به ضریب تبیین و کارایی مدل بالا (به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۱) دقت بالاتری در شبیه‌سازی عملکرد دانه نسبت به مدل AquaCrop با

References

1. Abdul-Ganiyu, S., Kyei-Baffour, N., Agyare, W. A., and Dogbe, W. 2018. Evaluating the Effect of Irrigation on Paddy Rice Yield by Applying the AquaCrop Model in Northern Ghana. In Strategies for Building Resilience against Climate and Ecosystem Changes in Sub-Saharan Africa (pp. 93-116). Springer, Singapore.
2. Agricultural Statistics. 2017. Volume I: Crop products. 2015-16. Office of Statistics and Information -Technology, Deputy Director of Planning and Economic Affairs. Ministry of Agricultural Jihad. 90 p. (in Persian).
3. Amiri Larijani, B., Tahmasebi, S. Z., and Nematzade, G. A. 2013. Simulation of leaf area index, biomass and grain yield of rice cultivars at different seedling ages using ORYZA2000 model. Seed and Plant Production 29: 3. 283-302.
4. Amiri, E., and Rezaei, M. 2010. Evaluation of water-nitrogen schemes for rice in Iran, using ORYZA2000 model. Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 2459-2477.
5. Amiri, E., Kavosi, M., and Kaveh, F. 2009. Evaluation of ORYZA2000, SWAP and WOFOST plant models in different irrigation management. Agricultural Engineering Research 10 (3): 13-28. (in Persian with English abstract).
6. Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., and Bannayan, M. 2011. Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and Modeling Approach. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42 (17): 2085-2099.
7. Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E. E., and Bannayan, M. 2014. Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza 2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. Journal of Plant Nutrition 37 (11): 1749-1769.
8. Bouman, B. A. M., and Van Laar, H. H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. Agricultural Systems (87): 249-273.
9. Bouman, B. A. M., Kropff, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Ten Berge, H. F. M., and Van Laar H. H. 2001. ORYZA2000: modeling lowland rice. International Rice Research Institute, Los Banos.
10. FAO. 2020. Food and Agricultural Organization of the United Nations (sited in: http://www.fao.org/index_en.htm/, 1/1/2020).

11. Guo, D., Zhao, R., Xing, X., and Ma, X. 2019. Global sensitivity and uncertainty analysis of the AquaCrop model for maize under different irrigation and fertilizer management conditions. *Archives of Agronomy and Soil Science* 1-19.
12. IRRI. 2013. Standard Evaluation System (SES) for Rice.
13. Jin, X., Li, Z., Nie, C., Xu, X., Feng, H., Guo, W., and Wang, J. 2018. Parameter sensitivity analysis of the AquaCrop model based on extended fourier amplitude sensitivity under different agro-meteorological conditions and application. *Field Crops Research* 226: 1-15.
14. Leng, G. 2017. Recent changes in county-level corn yield variability in the United States from observations and crop models. *Science of The Total Environment* 607: 683-690.
15. Li, T., Angeles, O., Marcaida III, M., Manalo, E., Manalili, M. P., Radanielson, A., and Mohanty, S. 2017. From ORYZA2000 to ORYZA (v3): An improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environments. *Agricultural and Forest Meteorology* 237: 246-256.
16. Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C., and Hallett, P. D. 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling. *Global Food Security* 2 (1): 24-28.
17. Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., and Foley, J. A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490 (7419): 254-257.
18. Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. PartI: A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282-290.
19. Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., and Müller, C. 2010. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems* 103 (5): 316-326.
20. Nisar, S., and Arora, V. K. 2018. Analysing Dry-Seeded Rice Responses to Planting Time and Irrigation Regimes in a Subtropical Environment Using ORYZA2000 Model. *Agricultural Research* 7 (4): 424-431.
21. Pazoki, A. R. Karimi Nejad, M. and Foladi Toroghi, A. R. 2010. Effect of planting dates on yield of ecotypes of saffron (*Crocus sativus* L.) in Natanz region. *Crop Physiology* 8 (2): 3-12. (in Persian).
22. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. 2012. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.
23. Rinaldi, M., Losavio, N., and Flagella, Z. 2003. Evaluation of OIL CROP-SUN model for sun flower in southern Italy. *Agricultural Systems* 78:17-30.
24. Rosegrant, M. W., and Cline, S. A. 2003. Global food security: challenges and policies. *Science* 302 (5652): 1917-1919.
25. Tari, D. B., Amiri, E., and Daneshian, J. 2017. Simulating the Impact of Nitrogen Management on Rice Yield and Nitrogen Uptake in Irrigated Lowland by ORYZA2000 Model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48 (2): 201-213.
26. Van Oort, P. A. J., Balde, A., Diagne, M., Dingkuhn, M., Manneh, B., Muller, B., Sow, A., and Stuerz, S. 2016. Intensification of an irrigated rice system in Senegal: Crop rotations, climate risks, sowing dates and varietal adaptation options. *European Journal of Agronomy* 80: 168-181.
27. Wopereis, M. C. S. 1993. Quantifying the impact of soil and climate variability on rainfed rice production. PhD thesis. Wageningen (Netherlands): Wageningen Agricultural University. 188 p.
28. Xu, J., Bai, W., Li, Y., Wang, H., Yang, S., and Wei, Z. 2019. Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. *Agricultural Water Management* 213: 289-297.
29. Zhai, B., Fu, Q., Li, T., Liu, D., Ji, Y., Li, M., and Cui, S. 2019. Rice Irrigation Schedule Optimization Based on the AquaCrop Model: Study of the Longtougiao Irrigation District. *Water* 11 (9): 1799.



Evaluation of Plant Models in Simulating Rice Yield under Crop Management in Rasht

P. Aalae Bazkiaei¹, B. Kamkar², E. Amiri^{3*}, H. Kazemi⁴, M. Rezaei⁵

Received: 06-05-2020

Accepted: 02-11-2020

Introduction

Nowadays, food production systems need to be explored for supplying the needs of the world's growing population, as well as sustainable production in the face of global climate change. In this regard, Cereal's yield has played a significant role in supporting global food security. The unceasing growth in demand for water in the industrial sector, drinking water, and reduction in the amount of water available for the agricultural sector has led to a reduction of water usage in rice, which threatens its production. Crops simulation models can be used to carry out various studies such as the selection of suitable cultivar and plant, determining the best agricultural management and production capacity of the area. The purpose of this study was to investigate the ORYZA2000 and AquaCrop accuracy in simulating grain and biomass yields of rice affected by irrigation and planting dates.

Materials and Methods

To evaluate the ORYZA2000 and AquaCrop models for rice production under irrigation management and planting date, a split-plot experiment based on a complete randomized block design with three replications was carried out on a local (Hashemi) cultivar in the years of 2016 and 2017 in the Rice Research Institute of Iran, Rasht. Irrigation interval was considered as the main factor at four levels including full flooding, 5, 10, and 15 days irrigation intervals, and transplanting date was assigned to subplot at three levels (April 21st, May 11th, and May 31th). Simulated and observed values of grain yield and biomass yield were evaluated based on the coefficient of determination, T-test, root mean square error (RMSE), Model efficiency (EF), Structural deviation of the model (RMD), and normalized root mean square error (NRMSE).

Results and Discussion

The results showed that normalized root mean square error of the grain yield and biomass yield were 9% and 5%, in the Aquacrop model and were 7% and 6% in the ORYZA2000 model, respectively. Evaluation of the results showed that the efficiency of the model and the coefficient of the explanation were above 0.7 and structural deviations were less than 2% that showed good accuracy in simulating the grain yield and biomass yield during calibration and validation of models. Evaluation of the amplitude of actual grain yield (3000 to 4761 kg.ha⁻¹) and simulated by AquaCrop model (1741 to 4231 kg.ha⁻¹) and ORYZA2000 model (with 2215 to 4766 kg.ha⁻¹ range) showed simulated values had between -15 and 20 percent of error. The results showed that with increasing irrigation intervals, the actual grain yield decreases. The planting date of April 21st and May 11th (with an average of 3795 and 3820 kg.ha⁻¹, respectively) had the highest yield of grain in two years, and the models also had a predicting of changes in grain yield during calibration and validation. ORYZA2000 model, due to the high coefficient of explanation and efficiency (0.83 and 0.81, respectively), has higher accuracy in simulating the grain yield than the AquaCrop model. The results showed that based on the mentioned equations, the ORYZA2000 model is well able to simulate the effect of environmental conditions including water shortage, air temperature, time, and intensity of stress during the growth cycle under the influence of irrigation and planting date on yield production. It seems that due to the better description of plant and soil conditions in the model and better genetic evaluation, it increased the accuracy of yield estimation in the ORYZA2000 model. Also, according to the acceptable results obtained in the AquaCrop model, it can be concluded that the mentioned model has a good simulation of the changes in the plant's water relations under the influence of the interaction effect of planting date and irrigation intervals.

Conclusions

According to the present study, the ORYZA2000 and Aquacrop models can be used to support the results of experiments under irrigation management conditions and planting dates.

Keywords: AquaCrop model, Irrigation, ORYZA2000 model, Planting date

1- PhD student, Department of Agriculture, Plant production College, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Professor, Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran

4- Associate Professor, Department of Agriculture, Plant production College, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

5- Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

(*- Corresponding Author Email: eamiri57@yahoo.com)



مقاله پژوهشی

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در برخی ژنوتیپ‌های کنجد (*Sesamum indicum* L.) بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش

حسین اسدی^۱، رضا برادران^{۲*}، محمدجواد ثقه الاسلامی^۲، سید غلامرضا موسوی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

این پژوهش با هدف مطالعه تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف کنجد و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در سال ۱۳۹۶ در قالب طرح آگمنت یک جهته در شرایط مزرعه انجام شد. در این آزمایش ۳۲ ژنوتیپ کنجد در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی (۱۰۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در صفات مورد اندازه‌گیری بین ژنوتیپ‌ها در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بود و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی امکان‌پذیر شد. ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، یکه سعود و شعبان به‌ترتیب با ۲۳۴۴، ۲۰۶۱ و ۲۰۵۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش داشتند. در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان و یکه سعود به‌ترتیب با ۱۱۲۷، ۱۱۲۴ و ۱۱۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند که در مقایسه با شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۵۸، ۵۵ و ۵۴ درصد کاهش را نشان داد. همچنین کمترین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پاکستان، افغانستان و کردستان به‌ترتیب با ۶۲۴، ۶۴۴ و ۶۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۵۳، ۵۴ و ۵۷ درصد کاهش را نشان داد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص تحمل به تنش خشکی (STI) به‌ترتیب در رقم داراب ۱۴ با ۱/۳۶ و ژنوتیپ پاکستان با مقدار ۰/۳۱۵ به‌دست آمد. بر اساس شاخص‌های تحمل ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان و یکه سعود به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در منطقه بجنورد معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: ارقام متحمل، عملکرد، کنجد، نیاز آبی

مقدمه

در برابر خشکی مقاوم بوده اما این بدان معنی نیست که در صورت عدم تأمین حداقل آب مورد نیاز گیاه، می‌توان بازدهی و رشد خوبی به‌دست آورد. ویژگی مقاومت کنجد در برابر خشکی از مزایای عمده آن است زیرا می‌توان آن را در مناطق نسبتاً خشک کاشت و روغنی باکیفیت خوب به‌دست آورد. این گیاه به‌دلیل مقاومت در برابر تنش آب و سازگاری، در بسیاری از کشورهای کم باران حائز اهمیت است (Weise, 2000).

تنش خشکی به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن سلول و بافت‌ها در وضعیتی قرار می‌گیرند که آماس آن‌ها کامل نباشد، به‌عبارت دیگر کمبود آب زمانی اتفاق می‌افتد که میزان تعرق بیش از مقدار جذب آب باشد (Alizadeh, 2005). تنش خشکی زمانی در گیاه حادث می‌شود که میزان آب دریافتی گیاه کمتر از تلفات آن باشد (میزان تعرق بیش از مقدار جذب آب باشد) (Bray, 1997; Singh and Patel, 1996). از میان تنش‌های زیستی و محیطی که گیاهان زراعی در طی فصل رشد در معرض آن هستند، کمبود رطوبت نتیجه به‌مراتب شدیدتری بر کاهش عملکرد دارد (Zare et al., 2004). تنش خشکی جزء تنش‌های عمده می‌باشد که اثرات بسیار نامطلوبی به رشد گیاه و در تولید گیاهان زراعی می‌گذارد. تنش خشکی علاوه بر اثر منفی بر عملکرد باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به‌ویژه تنش

کنجد (*Sesamum indicum*) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی مورد کشت می‌باشد. اتیوپی معمولاً به‌عنوان مبدأ کنجد اهلی پذیرفته شده است. موطن این دانه روغنی آفریقا بوده است اما شواهدی نیز وجود دارد که کنجد از هند منشأ گرفته است (Weise, 2000). کنجد گیاهی دیپلوئید ($2n=26$) که به‌صورت بوته‌ای رشد می‌کند (Khajehpour, 2004). کنجد به‌دلیل بالا بودن محتوی روغن (۴۵-۶۲ درصد) و کیفیت و همچنین دوام بالای روغن آن از جایگاه ویژه‌ای در بین گیاهان روغنی برخوردار است (Roebbelen et al., 1989). ترکیب فنلی سزامول که سبب ثبات و پایداری روغن کنجد در برابر اکسید شدن می‌شود از تجزیه سزامولین حاصل می‌شود. روغن کنجد شامل ۸۷ درصد اسید چرب غیراشباع و ۱۳ درصد اسید چرب اشباع می‌باشد (Mahmood et al., 2012). کنجد

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

۲- دانشیار و عضو هیات علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

(Email: r.baradaran@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

کمبود عناصر غذایی در گیاه می‌شود (Heydari Sharif Abad, 2001).

در پژوهش‌هایی گزارش شده‌است که در کنجد با اعمال تنش کم‌آبی از مرحله گلدهی تا پایان فصل رشد، عملکرد، تعداد کپسول در گیاه، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Golestani and Pakniat, 2007; Heidari et al., 2011; Poursmaiel et al., 2013; Hassanzadeh et al., 2009). بیشترین عملکرد دانه در گیاه کنجد، در شرایط بدون تنش خشکی در شرایط آب و هوایی استان ال‌هیرا مصر برای ژنوتیپ Shandweel3 با ۱۱۱۶/۵۹۵ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی کمترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ Giza32 با ۴۱۹/۰۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Kassab et al., 2012). همچنین بیشترین عملکرد کنجد در شرایط آب و هوایی صفی‌آباد دزفول مربوط به ژنوتیپ Ts3 با میانگین عملکرد ۱۲۶۶/۶۶۷ کیلوگرم در هکتار در محیط بدون تنش و کمترین عملکرد دانه برای ژنوتیپ پاناما با میانگین عملکرد ۲۳۶/۶۶۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش خشکی بود (Shokooh Far and Yaghoubi Nejad, 2012). در پژوهشی که توسط درگاهی و همکاران (Dargahi et al., 2012) در شرایط آب و هوایی پارس آباد انجام شده بود بیشترین عملکرد دانه برای رقم اولتان با ۱۱۲۶/۹۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد در شرایط تنش خشکی برای رقم هندی ۱۴ با ۲۸۶/۳۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر در شرایط آب و هوایی منطقه مغان بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ کرج ۱ با ۱۸۸۴ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ هندی ۱۲ با ۷۷۸ کیلوگرم در هکتار بود (Eshghi et al., 2011). در پژوهشی بر روی کنجد در منطقه آب و هوایی جیرفت، بیشترین شاخص برداشت با ۰/۸۸ در دور آبیاری هفت‌روزه به‌دست آمد (Saeidi et al., 2012). با افزایش تنش کم‌آبی عملکرد دانه و بیولوژیکی کنجد در شرایط آب و هوایی جیرفت (Saeidi et al., 2012) و رامهرمز (Eskandari et al., 2009) کاهش یافت. خشکی آثار مخرب و زیان‌آوری روی مراحل مختلف رشدی گیاه دارد (Salehpour et al., 2009).

تحقیقاتی برای ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش رطوبتی انجام شده و مهم‌ترین برنامه‌های پژوهشی در مدیریت خشکی در گیاهان مختلف، شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های حساس، متحمل و مقاوم به تنش خشکی می‌باشد. فرناندز (Fernandez, 1992) جهت تعیین نحوه واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش خشکی و بدون تنش، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را ارائه کرد. ژنوتیپی که مقدار STI آن بالاتر است، تحمل به خشکی و پتانسیل عملکرد بالایی دارد. همچنین فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) برای شناسایی

واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش، شاخص حساسیت به تنش (SSI) را ارائه نمودند و ژنوتیپ‌هایی که توسط SSI گزینش می‌شوند، عملکرد بالقوه کمی دارند اما در شرایط تنش عملکرد آن‌ها زیاد است. همچنین شاخص بهره‌وری (MP) و شاخص تحمل (TOL) نیز توسط روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) ارائه شدند. در این روش انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، بر اساس مقادیر کم TOL و مقادیر بالای MP است. شیر و همکاران (Shiri et al., 2010) و همچنین ملا صادقی و همکاران (Mollasadeghi et al., 2013) در مطالعات خشکی در گندم و حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2009) در سویا از STI به‌عنوان شاخص مؤثر نام برده‌اند. شیر و همکاران (Shiri et al., 2010) همچنین از روش بای پلات بر مبنای STI برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش رطوبتی به نحو مؤثری استفاده نمودند. با توجه به مسئله جدی محدودیت منابع آبی و خشکسالی و تأثیر آن در کاهش عملکرد، این تحقیق جهت ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های کنجد بر اساس شاخص‌های تحمل جهت شناسایی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های حساس، متحمل و مقاوم و گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم و شناسایی همبستگی صفات مرتبط با تحمل به خشکی، از طریق مطالعات مزرعه‌ای انجام شد. قابل ذکر است این آزمایش قسمتی از آزمایش دوساله است که به منظور شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی اجرا شد تا در سال دوم آزمایش‌های به‌زراعی بر روی ژنوتیپ مقاوم انجام شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف کنجد تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی آزمایشی در قالب طرح آگمنت در سه بلوک بر روی تعداد ۳۲ ژنوتیپ (جدول ۲) در زمین‌های زراعی جنوب شرقی بجنورد با مختصات طول جغرافیایی ۴۱° ۱۵' و ۵۷° عرض جغرافیایی ۵۳° ۲۲' و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۳۳ متر در سال ۱۳۹۶ اجرا گردید.

ژنوتیپ‌های مورد استفاده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به مقدار هر نمونه ۱/۵ گرم تهیه شد. در این آزمایش یک قطعه زمین به محیط تنش خشکی و دیگری به محیط بدون تنش اختصاص یافت که فاصله بین این دو محیط ۵ متر در نظر گرفته شد تا رطوبت دو محیط مجاور روی هم اثر نداشته باشد. قبل از عملیات آماده‌سازی زمین برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام و به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۱). پس از تعیین عناصر آن، کوددهی بر اساس شرایط خاک و نیاز گیاه مقدار ۲۰۰، ۱۵۰، ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم که

۵۰ درصد اوره قبل از کاشت و مابقی بعد از تنک کردن هنگامی که بوته‌ها ۶ برگه بودند در کف جوی‌ها و بین ردیف‌ها پخش شد. به‌منظور آماده‌سازی زمین ابتدا به کمک گاواهن زمین را شخم زده و سپس با دو مرتبه دیسک عمود برهم و کلوخ‌شکن، کلوخ‌ها نرم شد سپس به کمک لولر تسطیح انجام گرفت ایجاد فارو با هدف ایجاد خطوط کشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متر انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experimental location

بافت خاک Soil texture	اسیدیته PH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P ₂ O ₅ (ppm)	پتاسیم K ₂ O (ppm)
لومی شنی Sandy Loam	7.74	0.35	0.85	0.18	13.9	234

جدول ۲- نام ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 2- Name of studied genotypes

شماره No	ژنوتیپ Genotype	شماره No	ژنوتیپ Genotype	شماره No	ژنوتیپ Genotype	شماره No	ژنوتیپ Genotype
1	پاکستان Pakistan	9	شیراز Shiraz	17	بویراحمد BoyerAhmad	25	داراب ۲ Darab2
2	سبزوار Sabzevar	10	کرمان Kerman	18	اهواز Ahvaz	26	داراب ۱ Darab1
3	افغانستان Afghanistan	11	بوشهر Bushehr	19	یزد Yazd	27	داراب ۱۴ Darab14
4	دشتستان ۲ Dashtestan2	12	گرگان Gorgan	20	مازندران Mazandaran	28	صفی‌آباد ۱ SafiAbad1
5	دشتستان ۵ Dashtestan5	13	مرکزی Markazi	21	اصفهان Esfahan	29	گلپایگان Golpayegan
6	تی‌اس‌تری Ts3	14	ایلام Ilam	22	یلو وایت YellowWhite	30	ورامین Varamin
7	خراسان Khorasan	15	هرمزگان Hormozgan	23	جیرفت ۱۳ Jiroft13	31	یکه سعود YekehSeud
8	کردستان Kordistan	16	همدان Hamedan	24	اولتان Oltan	32	شعبان Shaban

میزان آب مورد نیاز گیاه بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید (Moosavi and Akhavan, 2007):

$$ET_o = ET_{pan} \times K_{pan} \quad (1)$$

$$ET_{crop} = ET_o \times K_c \quad (2)$$

که ET_o تبخیر گیاه مرجع (تبخیر و تعرق پتانسیل در فاصله دو آبیاری)، ET_{pan} میزان تبخیر از تشتک بین هر دو آبیاری متوالی، ET_{crop} نیاز آبی گیاه، K_{pan} ضریب تشت که معمولاً برابر ۰/۷ می‌باشد و K_c ضریب گیاهی می‌باشد که از FAO Irrigation and Drainage Paper NO.56 استخراج گردید.

بخشی از آب آبیاری مورد نیاز از طریق بارندگی تأمین می‌شد که هنگام آبیاری، از میزان آب مورد نیاز گیاه کسر گردید. بارندگی مؤثر با استفاده از رابطه (۳) که روش اداره احیاء اراضی آمریکا (Kolaeiyan and Gholami Sefid Kuhi, 2012) می‌باشد محاسبه گردید.

$$P_{eff} = P_t(125 - 0.2P_t)/125 \quad (3)$$

در کل دوره رشد، وجین علف‌های هرز طی سه مرتبه به‌صورت دستی توسط کارگر انجام شد. جهت دستیابی به نتیجه بهتر در جوانه‌زنی، زمین قبل از کاشت آبیاری جهت مشخص شدن داغ آب و پس از به اصطلاح گاو رو شدن (هیرم کاری) توسط دست و با قرار دادن ۳-۵ بذر در عمق ایجادشده در داغ آب پشته‌ها اقدام به کشت گردید که در مرحله ۶ برگه عملیات تنک کردن توسط کارگر انجام شد طوری که تراکم بوته به تعداد ۳۰ عدد در هر یک متر مربع برسد. آبیاری در هر دو محیط تا زمان گلدهی بر اساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A که به‌صورت روزانه از اداره هواشناسی دریافت می‌گردید (جدول ۳) انجام شد. با شروع گلدهی تنش بر روی محیط مورد نظر اعمال و آبیاری قطعه تنش خشکی بر اساس ۲۰۰ میلی‌متر و قطعه بدون تنش بر اساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام گرفت. تبخیر تجمعی از تشتک، زمان فرارسیدن آبیاری در هر کدام از محیط‌ها را مشخص می‌کرد.

که در آن P_{eff} بارندگی مؤثر (mm) و P_t بارندگی کل (mm) می‌باشد.

جدول ۳- وضعیت آب و هوایی بجنورد از تیرماه تا پایان مهرماه
Table 3- Meteorological details of Bojnurd research station

پارامترها Parameters	ماه Month				
	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October
حداقل مطلق دمای هوا Absolute minimum temperature (°C)	10.8	11.4	10.4	7	-0.4
حداکثر مطلق دمای هوا Absolute maximum temperature (°C)	40	39	37.2	35.2	30.4
متوسط حداقل مطلق دمای هوا Mean minimum temperature (°C)	16.4	17.4	16.5	12.4	8
متوسط حداکثر مطلق دمای هوا Mean maximum temperature (°C)	30.9	32.6	33.4	31.4	22.1
متوسط کل دمای هوا Mean temperature (°C)	23.6	25	25	21.9	15.1
بارندگی Precipitation (mm)	3.5	0.5	4.7	0	11.5
متوسط رطوبت نسبی Relative humidity (%)	49	41	38	36	59
متوسط تبخیر Average evaporation (mm)	9.15	9.64	9.59	8.03	3.53

بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن (روش سوکسله) و شاخص برداشت بودند.

نتایج و بحث

بررسی صفات

ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد از نظر صفات مورد اندازه‌گیری در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان دادند که بیان‌کننده تنوع ژنتیکی و امکان گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود (جدول ۴ و ۵). دلیل پایین بودن درجه آزادی خطا به دلیل این است که در طرح آزمایشی آگمنت، خطا از روی تکرارهای چند اکوتیپ محلی که در بین بلوک‌ها کاشته شده‌اند به دست می‌آید. ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، یک‌ه‌سعود و شعبان به ترتیب با ۲۰۶۱، ۲۳۴۴ و ۲۰۵۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ‌های پاکستان، کردستان و مرکزی به ترتیب با ۱۱۸۴، ۱۱۷۶ و ۱۱۴۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را در شرایط بدون تنش داشتند. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد به طوری که ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان و یک‌ه‌سعود به ترتیب با ۱۳۶۰، ۱۱۲۷ و ۱۱۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند که در مقایسه با شرایط بدون تنش در همان ژنوتیپ‌ها به ترتیب ۵۸، ۵۵ و ۵۴ درصد کاهش را نشان داد. همچنین کمترین عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های پاکستان، افغانستان و کردستان به ترتیب با ۶۲۴، ۶۴۴ و ۶۷۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به شرایط بدون تنش در همان ژنوتیپ‌ها به ترتیب ۵۳، ۵۴ و ۵۷ درصد

بر اساس عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش شاخص‌های کمی تحمل به تنش، از جمله شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978)، شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992)، شاخص تحمل، شاخص متوسط بهره‌وری (Fischer and Maurer, 1978) و میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992) با استفاده از روابط (۴) تا (۸) محاسبه شد:

$$SSI = (1 - (Ys/Yp)) / (1 - (Y\bar{s}/Y\bar{p})) \quad (4)$$

$$STI = (Yp)(Ys)/(Y\bar{p})^2 \quad (5)$$

$$TOL = (Yp - Ys) \quad (6)$$

$$MP = (Ys + Yp)/2 \quad (7)$$

$$GMP = \sqrt{(Ys \times Yp)} \quad (8)$$

که در آن Yp میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ys میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی، $Y\bar{p}$ میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و $Y\bar{s}$ میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی می‌باشد. پس از اجرای طرح و جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS جهت محاسبه تجزیه واریانس، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و مقایسه میانگین، نرم‌افزار S-PLUS جهت رسم نمودار سه‌بعدی و بای پلات، نرم‌افزار SPSS جهت محاسبه همبستگی صفات و همبستگی شاخص‌های تحمل و تجزیه کلاستر، از EXCEL جهت محاسبه شاخص‌های تحمل تنش اقدام گردید. صفات مورد اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد کپسول در

عملکرد بالایی بودند. در مطالعه و پژوهشی که در شرایط مزرعه بر روی ۵ رقم کنجد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش انجام شد، اظهار داشتند که داراب ۱۴ از نظر صفات زراعی عملکرد محصول، نسبت به سایر ارقام تحمل بیشتری به خشکی داشته است (Shokoo Far and Yaghoubi Nejad, 2012).

کاهش را نشان داد که این امر می‌تواند در نتیجه کاهش آب قابل دسترس گیاه جهت افزایش تجمع ماده خشک نهایی دانه باشد (جدول ۶ و ۷). روزیو (Ruziev, 1973) با مطالعه روی تعدادی از ارقام گندم در شرایط آبی و دیم نتیجه گرفت که رقم‌هایی که در شرایط دیم بیشترین عملکرد را داشتند، در شرایط آبی نیز دارای

جدول ۴- آنالیز واریانس صفات زراعی ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط بدون تنش در طرح آگمنت

Table 4- Analysis of variance for agronomical traits in sesame genotypes under non-stress conditions in the augmented design

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square							
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تیمار Treatment	29	45.13**	12.85**	21.07 ^{ns}	0.078*	11.02**	69025.49**	1547652**	8.77**
خطا Error	4	1.235	0.612	5.44	0.01	0.275	4221.33	66133.33	0.44
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.6	10.7	9.3	10.4	7.7	17.5	14.2	17.1

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% levels, respectively.

جدول ۵- آنالیز واریانس صفات زراعی ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط تنش خشکی در طرح آگمنت

Table 5- Analysis of variance for agronomical traits in sesame genotypes under drought stress conditions in the augmented design

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square							
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تیمار Treatment	29	39.86**	14.341**	14.14 ^{ns}	0.074 ^{ns}	9.34**	23984.28	714217.9**	8.36 ^{ns}
خطا Error	4	0.918	1.022	5.096	0.037	0.292	6258.66	2133.33	3.472
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.0362	13.597	8.9504	12.3785	7.9305	18.39	16.07904	17.79

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5% and 1% levels, respectively.

از نظر ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های پاکستان، گرگان و TS3 به ترتیب ۹۸/۷، ۹۷/۸ و ۹۷/۱ سانتی‌متر و در شرایط تنش خشکی صفی‌آباد ۱، گرگان و TS3 به ترتیب ۸۹/۸، ۸۹/۳ و ۸۸/۷ سانتی‌متر، دارای بیشترین ارتفاع بودند که نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۷/۳، ۸/۷ و ۸/۶ درصد کاهش ارتفاع نشان دادند. کمترین ارتفاع بوته در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ‌های

فرجی (Faraji, 2016) بیان کرد که کاهش رطوبت خاک و ایجاد شرایط تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های سویا شد. مهمترین تأثیر تنش رطوبتی محدود کردن میزان توسعه برگ و کاهش نرخ رشد برگ‌ها می‌باشد که علت آن کاهش میزان تقسیم سلول‌ها و یا هر دوی آن‌ها می‌باشد و می‌تواند تجمع ماده خشک و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد.

Razmjoo, 2012). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در شرایط بدون تنش داراب ۱۴ با ۵۹/۸ بیشترین تعداد دانه در کپسول و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ افغانستان با ۳۶/۱ کمترین تعداد دانه در کپسول را نشان داد که در مقایسه با ژنوتیپ داراب ۱۴ در شرایط بدون تنش ۳۹/۶ درصد کاهش داشت. پژوهش‌هایی بر روی گیاه کنجد نشان می‌دهد که رژیم‌های آبیاری بر روی تعداد دانه در کپسول اثر می‌گذارد و با افزایش فواصل آبیاری، تعداد دانه در کپسول کاهش می‌یابد (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2010; Dilip et al., 1991).

تأثیر تنش خشکی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد اما در شرایط بدون تنش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در پژوهشی محققان گزارش کردند اثر رژیم‌های آبیاری بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (Moghnibashi and Razmjoo, 2012). برخلاف نتایج حاصل از این تحقیق که در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، پژوهشگران گزارش کردند اثر سطوح آبیاری بر روی وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014). مطالعات بر روی گیاه کنجد (Rezvani Moghaddam et al., 2005; Mehrabi and Ehsanzadeh, 2010) و همچنین مطالعه بر روی گیاه سیاه‌دانه (Nourouzpour and Rezvani Moghaddam, 2006) نشان داد که افزایش فواصل آبیاری تأثیر چندانی بر کاهش وزن هزار دانه این گیاهان ندارد. به نظر می‌رسد که تنش خشکی در کل دوره رشد از بین اجزای عملکرد، کمترین اثر را روی وزن هزار دانه داشته است. اثر تیمارهای مورد بررسی بر روی وزن هزار دانه معنی‌دار بود اما در مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده شد که علت این امر این است که در آنالیز واریانس، واریانس بین تیمارها (ژنوتیپ‌ها) حاصل میانگین همه تیمارها بوده، در حالی که در مقایسه میانگین‌ها، وقتی مقایسه بین دو تیمار کاملاً متفاوت (یکی با میانگین بالا و دیگری با میانگین پایین) صورت می‌گیرد می‌تواند مقدار اختلاف بیشتری نشان داده و در مقایسه با واریانس خطا معنی‌دار شده و گروه‌بندی شود. به‌طوری که ژنوتیپ دشتستان ۲ با ۳/۳۵ گرم در شرایط بدون تنش و ژنوتیپ افغانستان با ۱/۸ گرم کمترین وزن هزار دانه را در شرایط تنش خشکی داشت که نسبت به شرایط بدون تنش ۴۶/۳ درصد کاهش داشت.

اثر سطوح آبیاری بر درصد روغن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. حداکثر و حداقل محتوای روغن به‌ترتیب متعلق به ژنوتیپ داراب ۱۴ با ۴۹/۷ درصد در شرایط بدون تنش و ژنوتیپ پاکستان با ۳۰/۳۵ درصد در شرایط تنش خشکی بود که ژنوتیپ پاکستان نسبت به داراب ۱۴، ۳۸/۹ درصد کاهش نشان داد. یکی از دلایل کاهش درصد روغن در شرایط خشکی می‌تواند افزایش میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب باشد (Awasthi et

افغانستان و همدان به‌ترتیب با ۷۷/۱ و ۷۷/۵ و در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ‌های سبزوار و همدان به‌ترتیب با ۶۷/۱ و ۶۹/۸ کمترین ارتفاع بوته را داشتند که در مقایسه با شرایط بدون تنش به‌ترتیب ۱۵/۵ و ۹/۹۴ درصد و نسبت به ژنوتیپ پاکستان ۳۲ و ۲۹/۳ درصد کاهش داشتند. با وجود این که ارتفاع بوته بیشتر تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه است، اما به نظر می‌رسد که تنش خشکی باعث ایجاد رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب می‌شود که این امر در نهایت منجر به کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه و کوتاهی گیاه می‌شود (Paknejad et al., 2007). در پژوهشی بر روی گیاه کنجد، با کاهش میزان آب آبیاری بعد از مرحله گلدهی، ارتفاع گیاه کاهش یافت (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). در پژوهش‌هایی دیگر، محققان در مطالعات خود نشان دادند که با افزایش دور آبیاری ارتفاع بوته گیاه کنجد و سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) کاهش می‌یابد (Rezvani Moghaddam et al., 2005; Nourouzpour and Rezvani Moghaddam, 2006). کاهش تنش خشکی با تأثیر بر توسعه سیستم ریشه‌ای، تعداد و اندازه برگ‌ها، ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیکی سبب کاهش رشد و توسعه کنجد می‌شود (Jian et al., 2010).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته را در شرایط بدون تنش خراسان، داراب ۱ و یکه سعود به‌ترتیب با ۳۹/۱، ۳۸/۸ و ۳۸/۴ در شرایط تنش خشکی خراسان، صفی‌آباد ۱ و داراب ۱ به‌ترتیب ۳۴/۷، ۳۳/۷ و ۳۳/۶ دارای بیشترین تعداد کپسول در بوته بودند. تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته شد به‌طوری که کمترین تعداد کپسول در بوته در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ مرکزی با ۲۱/۱ مشاهده شد که نسبت به تیمار خراسان در شرایط بدون تنش ۴۶ درصد کاهش داشت. مطالعات رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2005) بر روی گیاه کنجد نشان می‌دهد که اثر دور آبیاری بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری که با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته کاهش یافت. همچنین در پژوهشی دیگر محققان نشان دادند که با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته کنجد کاهش می‌یابد (Duta et al., 2000).

نتایج آنالیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد دانه در کپسول در شرایط بدون تنش و تنش خشکی وجود نداشت. در پژوهشی که بر روی کنجد در شرایط آب و هوایی کرمان انجام شده بود نشان داد که اختلاف معنی‌داری در شرایط بدون تنش و تنش خشکی بر روی تعداد دانه در کپسول مشاهده نشد (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2015). در پژوهش دیگر در شرایط آب و هوایی اصفهان بر روی کنجد، رژیم‌های آبیاری از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول نداشت (Moghnibashi and

است عملکرد بیولوژیکی نیز افزایش نشان داده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر به دلیل داشتن بیشترین میزان عملکرد دانه بالاترین میزان شاخص برداشت را داشت. بیشترین شاخص برداشت در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ شعبان با ۲۶/۳۰ بود. کمترین میزان شاخص برداشت متعلق به ژنوتیپ پاکستان با ۹/۸۷ بود که در مقایسه با بیشترین شاخص برداشت ۶۲/۵ درصد کاهش نشان داد. در مطالعه‌ای توسط محققان با کاهش مصرف آب، شاخص برداشت نیز کاهش یافت که حاکی از تأثیر بیشتر تنش رطوبتی بر فرآیندهای زایشی در مقایسه با رشد رویشی است (Pandy et al., 1984).

شاخص برداشت معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه می‌باشد. برخی از محققین گزارش کردند که شاخص برداشت در شرایط کمبود آب کاهش می‌یابد (Wright et al., 1995). بنابراین، نتیجه گرفته می‌شود که تغییرات شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری بستگی به تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی و دانه دارد. به عبارت دیگر، اگر تأثیر تنش خشکی بر اندام‌های رویشی بیشتر از عملکرد دانه باشد، در این صورت با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت افزایش پیدا می‌کند. اما اگر تنش خشکی بر عملکرد دانه تأثیر بیشتری داشته باشد، در این حالت افزایش شدت تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود.

بررسی همبستگی ساده صفات

به‌منظور بررسی همبستگی صفات مختلف زراعی در مقایسه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و تعیین روابط آن‌ها همبستگی ساده در هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی محاسبه گردید (جدول ۸ و ۹). در شرایط بدون تنش در بین اجزای عملکرد، تعداد کپسول در بوته، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و درصد روغن همبستگی مثبت و بالا با عملکرد دانه نشان داد (جدول ۸). عملکرد دانه بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌داری را با تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه ($r=0/826$) نشان داد. در این بررسی بین ارتفاع بوته با شاخص برداشت و همچنین عملکرد بیولوژیک با شاخص برداشت همبستگی منفی مشاهده گردید. در شرایط تنش در بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه بیشترین همبستگی ($r=0/833$) را با عملکرد نشان داد (جدول ۹). همچنین تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، درصد روغن، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک با عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان دادند. در این بررسی بین ارتفاع بوته با شاخص برداشت، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و همچنین بین عملکرد بیولوژیک با شاخص برداشت همبستگی منفی مشاهده گردید.

(al., 2017). همچنین محققان به کاهش کربوهیدرات‌های قابل دسترس، در شرایط تنش خشکی، جهت ساخت روغن اشاره کرده‌اند (Taize and Zeiger, 1991). از طرفی در شرایط تنش خشکی فرآیندهای آنزیمی و تشکیل پروتئین‌ها باعث مصرف آسیمیلات‌ها می‌شود، در واقع گیاه در برابر تنش غیر زنده با تولید ترکیبات زیستی فعال با آثار تنش مقابله می‌کند (Hamrouni et al., 2001; Laribi et al., 2009) که با اثر بر عملکرد محصول میزان روغن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعات نشان داده است که درصد روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) با افزایش تنش خشکی کاهش یافت و از ۴۵ درصد در شرایط آبیاری مطلوب به ۴۴ درصد در شرایط تنش خشکی کاهش یافت و در بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد روغن اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و ژنوتیپ ۳۱۴۷ با میانگین ۴۶ درصد بیشترین درصد روغن را در شرایط مطلوب و تنش خشکی تولید کرد (Fanaee et al., 2014). سایر محققان نیز اظهار داشتند با افزایش تنش خشکی درصد روغن دانه کاهش معنی‌داری یافت و بالاترین درصد روغن از تیمار شاهد (آبیاری کامل) و کمترین درصد روغن نیز از تیمار تنش خشکی (بدون آبیاری) به‌دست آمد. رقم داراب ۱ بیشترین درصد روغن (۴۷/۸۸ درصد) و اکوتیپ بومی کمترین درصد روغن (۴۵/۷۲ درصد) را به خود اختصاص داد (Najafi and Safari, 2012).

تأثیر شرایط بدون تنش و تنش خشکی بر روی عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ اولتان با ۱۰۴۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک را ژنوتیپ مرکزی با ۳۴۸۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد که در مقایسه با بیشترین عملکرد بیولوژیک ۶۶/۸ درصد کاهش داشت. دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش، احتمالاً گسترش بیشتر و دوام بهتر سطح برگ بوده که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک شده است. با افزایش شدت تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد سطح کاهش می‌یابد (Eskandari and Zehtab, 2010). گزارش‌های دیگری نیز وجود دارند که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در این گزارش‌ها دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک، کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تحت تنش خشکی بیان شده است که جذب نور در جامعه گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک تولیدی کاهش می‌یابد (Ayeen, 2013; Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). تأثیر شرایط بدون تنش بر شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار ولی در شرایط تنش خشکی معنی‌دار نشد که در این مورد می‌توان گفت به همان نسبت که عملکرد دانه افزایش یافته

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط بدون تنش

Table 6- Mean comparison of agronomical traits in sesame genotypes under non-stress conditions

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed Weight (g)	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
Pakistan پاکستان	98.7a	29.1jl	43.7ik	2.18mn	34.3q	1184mn	8280hk	14.29il
Sabzevar سبزوار	79.4lm	37.8ac	52.3ah	2.57f	45.7cf	1604di	8320hk	19.28cd
Afghanistan افغانستان	77.1m	29.8il	41.9k	2.3ln	37.9op	1192mn	6280l	18.98d
Dashtestan2 دشتستان ۲	80.4jm	37.6ad	43.1jk	3.35a	42.7im	1860bc	8480hk	21.93b
Dashtestan5 دشتستان ۵	94.8ad	33.3fh	58.4ab	2.56gl	43.1gl	1500ej	8600gk	17.44dh
Ts3 تی اس تری	97.1ab	30.2ik	47.5dk	2.9bf	39.8no	1372in	8680fj	15.81fj
Khorasan خراسان	83.8hk	39.1a	53.7af	2.7ek	43.9fj	1856bd	8440hk	21.99b
Kordistan کردستان	86.4gi	27.1l	43.2jk	2.44jn	38.7op	1176mn	6320l	18.61de
Shiraz شیراز	85.9gi	33.7eh	57.5ac	2.56gl	43.5gk	1448fl	9480bg	15.27gl
Kerman کرمان	87.2fi	31.8hj	48.6dk	2.85bg	42.9hm	1380hn	9080dh	15.19gl
Bushehr بوشهر	87.1fi	33.9eh	45.6gk	2.51hm	41.4ln	1368in	8680fj	15.76fj
Gorgan گرگان	97.8ab	35.5bf	47.7dk	2.72ej	43.5gk	1484ek	9880ae	15.02hl
Markazi مرکزی	87.9eh	27.8kl	45.7fk	2.15n	37.6p	1148n	6120l	18.76de
Ilam ایلام	79.9km	29.7il	47.3dk	2.45in	38.7op	1324jn	8640gk	15.32fk
Hormozgan هرمزگان	84.7hj	33.8eh	52.9ah	2.57fl	44.2ei	1388gm	8960eh	15.49fk
Hamedan همدان	77.5m	31.9hij	50.7bj	2.83bh	43.7fk	1468ek	8280hk	17.73df
BoyerAhmad بویراحمد	91.7ce	28.7k	45.2hk	2.34ln	41.9km	1228ln	9640af	12.74l
Ahvaz اهواز	94.8ad	36.3ae	43.1jk	2.79ci	42.7im	1372in	6320l	21.71bc
Yazd یزد	89.1eg	37.4ad	53.6ag	2.91be	46.2be	1868bc	7720jk	24.20ab
Mazandaran مازندران	97.1ab	36.5ae	49.9bk	2.88bg	44.9dh	1660cf	9640af	17.22dh
Esfahan اصفهان	95.8ac	35.7bf	48.6dk	2.83bh	47.9ab	1520ej	9720ae	15.64fk
YellowWhite یلو وایت	83.8hk	29.7il	49.9bk	2.37kn	41.1mn	1248kn	7680k	16.25ei
Jiroft13 جیرفت ۱۳	94.7ad	34.7dh	47.5dk	2.9bf	46.2be	1624ch	10440ab	15.56fk
Oltan اولتان	95.1ad	29.1j	51.5bi	2.8ch	42.1jm	1384gn	10480a	13.21kl
Darab2 داراب ۲	83.4il	35.4c	48.7dk	3.1ac	46.1be	1780cd	10160ac	17.52dg
Darab1 داراب ۱	79.8km	38.8a	49.1ck	2.74dj	42.2jm	1624cg	8680fi	18.71de
Darab14 داراب ۱۴	86.5fi	37.7ac	59.8a	3.1ac	49.7a	2344a	10120ac	23.16b
SafiAbad1 صفی آباد ۱	96.9ab	37.5ad	51.6ai	2.71ek	47.3bc	1696ce	9720ae	17.45dg
Golpayegan گلپایگان	87.2fi	35cg	52.8ah	2.42jn	43.9fj	1396gm	9200ch	15.17gl
Varamin ورامین	83.7il	32.2gi	46.5ek	2.8ch	42.3im	1372in	10040ad	13.66jl
Yekeh Seud یکه سعود	94.1bd	38.4ab	53.8ae	3.07ad	46.3bd	2061b	8933eh	23.08b
Shaban شعبان	90.8df	37.3ad	55.2ad	3.15ab	45dg	2059b	7827ik	26.30a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column and for each treatment, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات زراعی در ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط تنش
Table 7- Mean comparison of agronomical traits in sesame genotypes under stress conditions

تیمار Treatment	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد کپسول Number of capsules	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed Weight (g)	درصد روغن Oil (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد (بیولوژیک) Biological Yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
Pakistan پاکستان	87.1ab	21.3mn	38.2gj	1.79e	30.3o	624g	6320bc	9.87f
Sabzevar سبزوار	67.1l	29.2di	47.5ad	2.05ce	40.1bg	876bg	6440b	13.60df
Afghanistan افغانستان	72.8ik	22.7ln	36.1j	1.8e	33.4n	644fg	3720t	17.31be
Dashtestan2 دشتستان ۲	69.8kl	31.7ej	37.8hj	2.86a	38.3gj	1120ab	5960ef	18.79bd
Dashtestan5 دشتستان ۵	81.2cg	28.1gk	41.3cj	2.12be	37.9hj	756cg	6120de	12.35ef
Ts3 تی اس تری	88.7a	26.8ae	41.9bj	2.1be	36.3jl	768ch	5240mn	14.66df
Khorasan خراسان	71.3jk	34.7a	48.1ac	1.95de	39.7ch	1020bc	6920a	14.74df
Kordistan کردستان	71.9ik	21.4mn	39.7ej	1.89e	35.6km	672eg	3920s	17.14be
Shiraz شیراز	77.6gh	27.5fk	51.1a	2.14be	39.7bh	892bg	5440kl	16.40ce
Kerman کرمان	81.8ce	26.4hl	41.8cj	2.26ae	35.1kn	748cg	4960op	15.08df
Bushehr بوشهر	77.8gh	28.7ej	37.9hj	2.28ae	36.7ijkl	764cg	5640hj	13.55df
Gorgan گرگان	89.3a	29.7di	43.7aj	2.15be	38.3gj	852bg	5320lm	16.01cf
Markazi مرکزی	80.2dg	21.1n	39.6ej	1.83e	33.9mn	660eg	3480u	18.97ad
Ilam ایلام	71.3jk	21.3mn	39.8dj	1.89e	34.9ln	692eg	5680gi	12.18ef
Hormozgan هرمزگان	73.2ik	29.1di	43.7aj	2.2ae	40.6bf	860bg	4720q	18.22be
Hamedan همدان	69.8kl	26.1il	41.3cj	2.32ae	37.1ik	768cg	5840fg	13.15df
BoyerAhmad بویراحمد	80.9cg	23.6kn	38.9fj	2.04ce	39.3eh	736gd	5480jl	13.43df
Ahvaz اهواز	87.5ab	31.9ad	37.4ij	2.31ae	40.1bg	812cg	4400r	18.45be
Yazd یزد	75.6hi	30.3bg	43.8ai	2.28ae	41.4bc	928be	4280r	21.68ac
Mazandaran مازندران	73.2ik	28.7dj	42.3bj	2.42ae	38.4gi	904bf	5520ik	16.38cf
Esfahan اصفهان	83.9bc	29.3di	42.3bj	2.15be	43.6a	808cg	4640q	17.41be
YellowWhite یلو وایت	78.2fh	25.1jm	40.1dj	2.05ce	39.8bh	740dg	3880st	19.07ad
Jiroft13 جیرفت ۱۳	83.2cd	29.8ch	39.4ej	2.3ae	43.7a	848bg	5720gh	14.83df
Oltan اولتان	80.9cg	26.3hl	46.9ae	2.1be	39.8bh	780cg	4920p	15.85cf
Darab2 داراب ۲	78.7eh	29.1di	40.4cj	2.65ac	41.1bd	1008bd	6240cd	16.15cf
Darab1 داراب ۱	73.3ik	33.6ac	41.3cj	2.38ae	37.1ik	1016bc	5440kl	18.68bd
Darab14 داراب ۱۴	81.7cf	31.3ae	50.1ab	2.72ab	41.3be	1360a	5800fh	23.45ab
SafiAbad1 صفی آباد ۱	89.8a	33.7ab	43.1aj	2.1be	40.9bf	896bf	5080np	17.64be
Golpayegan گلپایگان	80.6cg	29.5di	45.1ah	1.98de	41.7ab	784cg	5440kl	14.41df
Varamin ورامین	78.4eh	27.5fk	39.7dj	2.66ac	39.4dh	924be	5120no	18.05be
YekehSeud یکه سعود	81.5cf	31.4ae	45.9af	2.58ad	41.2bf	1124ab	6773a	16.59bg
Shaban شعبان	73.5ij	31.1af	45.8ag	2.6ad	39.2fh	1127ab	4307r	26.17a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column and for each treatment, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه دارد (Padmavathi and Thangavelu, 1996). بر اساس نتایج ضریب همبستگی یک پژوهش، در کنجد بین صفات وزن هزار دانه، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود داشت (Shahrabi et al., 2013).

ارزیابی ارقام کنجد بر اساس شاخص‌های مقاومت به خشکی

۱- شاخص متوسط بهره‌وری MP:

گزینش برای این شاخص معمولاً موجب افزایش میانگین عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌گردد. با توجه به جدول ۱۰ متوسط بهره‌وری عملکرد برای تیمار داراب ۱۴ (۱۸۵۲) بیشترین و برای تیمار مرکزی و پاکستان (۹۰۴) کمترین مقدار را دارد. این شاخص به‌تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب ارقام برتر در شرایط تنش باشد، زیرا توانایی تفکیک ارقامی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد بالاتری دارند با ارقامی که فقط در شرایط تنش یا بدون تنش عملکرد بالایی دارند را نخواهند داشت. شاخص MP برای گزینش ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی عملکرد بالایی تولید می‌کنند، چندان مناسب نمی‌باشد (Fernandez, 1992). اگرچه نعیمی و همکاران (Naeimi et al., 2008) شاخص MP را معیار مناسبی برای گزینش لاین‌های پر محصول و متحمل به خشکی ذرت معرفی کردند، سی‌وسه مرده و همکاران (Sio-se Mardeh et al., 2006) گزارش کردند که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش خشکی بازده دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خیلی زیاد نباشد.

۲- شاخص میانگین هندسی GMP:

شاخص GMP در مقایسه با شاخص MP قدرت تفکیک ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد بالایی دارند را خواهد داشت. با توجه به جدول ۱۰ تیمار داراب ۱۴ (۱۷۸۵/۴۵۲) بیشترین GMP و تیمار پاکستان (۸۵۹/۵۴۴) کمترین مقدار را دارد. در پژوهشی محققان با بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های کنجد بیان کردند که توده محلی دزفول و رقم دزفول بر اساس شاخص‌های GMP، MP، HARM و STI ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب شدند (Golestani and Pakniat, 2007). در تحقیقی دیگر بیان داشتند ژنوتیپ ۱۵-۳۲ هر دو سال بر اساس شاخص‌های GMP، MP، YI و STI به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به خشکی می‌باشد (Boureima et al., 2016).

رابطه منفی ارتفاع بوته با شاخص برداشت به این علت است که شرایط تنش خشکی بیشتر روی رشد رویشی گیاه تأثیر می‌گذارد تا روی رشد زایشی، بنابراین با کاهش ارتفاع بوته (که جزئی از عملکرد بیولوژیک می‌باشد) باعث افزایش شاخص برداشت می‌گردد که البته این افزایش به علت کاهش عملکرد دانه زیاد نمی‌تواند چشمگیر باشد. در شرایط تنش خشکی، دوره رشد رویشی گیاه کوتاه شده و زودتر وارد فاز زایشی می‌شود و در عمل با کم شدن ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد. گیاه برای جبران کاهش عملکرد دانه که ناشی از کاهش تعداد کپسول در بوته می‌باشد، تعداد دانه در کپسول و نیز وزن هزار دانه را افزایش می‌دهد. به عبارتی دیگر در شرایط تنش خشکی اجزای عملکرد دانه نقش جبران‌کننده را بازی می‌کنند. تنش خشکی آن‌قدر که باعث کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردد کمتر عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا با کاهش عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. در مورد رابطه عملکرد با تعداد کپسول در پژوهشی در شرایط بدون تنش ارتفاع بوته با تعداد کپسول در بوته و تعداد کپسول در ساقه همبستگی منفی و معنی‌دار و با وزن هزاردانه، سطح برگ، عملکرد دانه و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌دار داشت. همچنین در شرایط تنش خشکی ارتفاع بوته با تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول در ساقه و میزان پرولین همبستگی منفی و معنی‌دار و با تعداد دانه در کپسول، سطح برگ، عملکرد و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌دار نشان داد (Khammar, 2007). در پژوهشی دیگر همبستگی ارتفاع با وزن هزار دانه منفی و غیر معنی‌دار بود (Farahbakhsh and Farahbakhsh, 2014). در مطالعه‌ای دیگر محققان گزارش کردند در شرایط تنش خشکی بین ارتفاع و عملکرد همبستگی منفی و غیر معنی‌دار وجود دارد (Askari et al., 2016). محققان در پژوهشی عنوان کردند که ارتفاع با عملکرد دانه و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌دار و با وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (Lalpantluangi and Pankaj, 2018). در مطالعه‌ای دیگر ارتفاع با تعداد دانه در کپسول و درصد روغن همبستگی منفی و غیر معنی‌داری داشت (Bharathi and Vivekanandan, 2009). در پژوهشی محققان گزارش نمودند که وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دارد (Kathiresan and Gnanamurthy, 2000). در مطالعه‌ای دیگر که روی ۲۶ ژنوتیپ کنجد در دو فصل زراعی صورت گرفته بود اعلام نمودند که در هر دو فصل، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد کپسول در بوته با عملکرد تک بوته وجود دارد (Kandasamy et al., 1990). در پژوهشی دیگر با مطالعه ۷۵ هیبرید کنجد و ۲۰ والد آن‌ها نتیجه‌گیری نمودند که

جدول ۸- ضرایب همبستگی میان عملکرد و صفات عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط بدون تنش

Table 8- Correlation coefficients between grain yield and yield traits of sesame genotypes under non-stress conditions

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8
ارتفاع گیاه 1 Plant height	1							
تعداد کپسول 2 Number of capsules	0.086 ^{ns}	1						
تعداد دانه در کپسول 3 Number of seeds per capsule	0.106 ^{ns}	0.504 ^{**}	1					
وزن هزار دانه 4 1000-seed weight	0.145 ^{ns}	0.686 ^{**}	0.367 [*]	1				
درصد روغن 5 Oil (%)	0.157 ^{ns}	0.771 ^{**}	0.640 ^{**}	0.679 ^{**}	1			
عملکرد بیولوژیک 6 Biological Yield	0.264 ^{ns}	0.224 ^{ns}	0.304 ^{ns}	0.299 ^{ns}	0.495 ^{**}	1		
شاخص برداشت 7 Harvest index	-0.030 ^{ns}	0.632 ^{**}	0.409 [*]	0.602 ^{**}	0.399 [*]	-0.414 [*]	1	
عملکرد دانه 8 Grain yield	0.121 ^{ns}	0.826 ^{**}	0.652 ^{**}	0.826 ^{**}	0.754 ^{**}	0.228 ^{ns}	0.787 ^{**}	1

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

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

جدول ۹- ضرایب همبستگی میان عملکرد و صفات عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد تحت شرایط تنش

Table 9- Correlation coefficients between grain yield and yield traits of sesame genotypes under stress conditions

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8
ارتفاع گیاه 1 Plant height	1							
تعداد کپسول 2 Number of capsules	0.04 ^{ns}	1						
تعداد دانه در کپسول 3 Number of seeds per capsule	-0.076 ^{ns}	0.452 ^{**}	1					
وزن هزار دانه 4 1000-seed weight	-0.107 ^{ns}	0.595 ^{**}	0.201 ^{ns}	1				
درصد روغن 5 Oil (%)	0.101 ^{ns}	0.671 ^{**}	0.465 ^{**}	0.447 ^{**}	1			
عملکرد بیولوژیک 6 Biological Yield	0.042 ^{ns}	0.342 [*]	0.279 ^{ns}	0.237 ^{ns}	0.196 ^{ns}	1		
شاخص برداشت 7 Harvest index	-0.195 ^{ns}	0.385 [*]	0.295 ^{ns}	0.547 ^{**}	0.286 ^{ns}	-0.512 ^{**}	1	
عملکرد دانه 8 Grain yield	-0.145 ^{ns}	0.746 ^{**}	0.573 ^{**}	0.833 ^{**}	0.530 ^{**}	0.331 [*]	0.630 ^{**}	1

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

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

جدول ۱۰ - مقایسه شاخص‌های مختلف تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های کنجد
 Table 10- Comparison of different drought tolerance indices for sesame genotypes

ژنوتیپ‌ها Genotypes	عملکرد در محیط بدون تنش Yp(kg.ha ⁻¹)	عملکرد در محیط تنش خشکی Ys(kg.ha ⁻¹)	شاخص متوسط بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش خشکی STI
Pakistan پاکستان	1184	624	904	859.5441	560	1.078829	0.315251
Sabzevar سبزوار	1604	876	1240	1185.371	728	1.035245	0.599555
Afghanistan افغانستان	1192	644	918	876.1552	548	1.048625	0.327554
Dashtestan2 دشتستان ۲	1860	1120	1490	1443.329	740	0.907475	0.888897
Dashtestan5 دشتستان ۵	1500	756	1128	1064.894	744	1.131352	0.483875
Ts3 تی اس تری	1372	768	1070	1026.497	604	1.004151	0.44961
Khorasan خراسان	1856	1020	1438	1375.907	836	1.027411	0.80779
Kordistan کردستان	1176	672	924	888.9724	504	0.977551	0.337207
Shiraz شیراز	1448	892	1170	1136.493	556	0.875835	0.55113
Kerman کرمان	1380	748	1064	1015.992	632	1.04461	0.440455
Bushehr بوشهر	1368	764	1066	1022.327	604	1.007087	0.445964
Gorgan گرگان	1484	852	1168	1124.441	632	0.971403	0.539503
Markazi مرکزی	1148	660	904	870.4482	488	0.969603	0.3233
Ilam ایلام	1324	692	1008	957.1875	632	1.088793	0.390944
Hormozgan هرمزگان	1388	860	1124	1092.557	528	0.867682	0.509341
Hamedan همدان	1468	768	1118	1061.802	700	1.087647	0.481069
BoyerAhmad بویراحمد	1228	736	982	950.6882	492	0.913867	0.385653
Ahvaz اهواز	1372	812	1092	1055.492	560	0.931001	0.475369
Yazd یزد	1868	928	1398	1316.626	940	1.147802	0.739683
Mazandaran مازندران	1660	904	1282	1225.006	756	1.038795	0.64032
Esfahan اصفهان	1520	808	1164	1108.224	712	1.068446	0.524053
YellowWhite یلو وایت	1248	740	994	960.9995	508	0.928464	0.394064
Jiroft13 جیرفت ۱۳	1624	848	1236	1173.521	776	1.089913	0.587628
Oltan اولتان	1384	780	1082	1039	604	0.995444	0.460629
Darab2 داراب ۲	1780	1008	1394	1339.492	772	0.989267	0.765598
Darab1 داراب ۱	1624	1016	1320	1284.517	608	0.853952	0.704045
Darab14 داراب ۱۴	2344	1360	1852	1785.452	984	0.957533	1.360245
SafiAbad1 صفی‌آباد ۱	1696	896	1296	1232.727	800	1.075921	0.648417
Golpayegan گلپایگان	1396	784	1090	1046.166	612	0.999959	0.467006
Varamin ورامین	1372	924	1148	1125.934	448	0.744801	0.540937
YekehSeud یکه سعود	2061	1124	1592.5	1522.026	937	1.036997	0.988473
Shaban شعبان	2059	1127	1593	1523.316	932	1.032466	0.99015
Mean میانگین	1530.875	859.7083					

۳- شاخص تحمل به خشکی TOL:

بالای این شاخص نشانه حساسیت نسبی این تیمارها به تنش می‌باشد. تیمار داراب ۱۴ دارای بیشترین مقدار (۹۸۴) شاخص بوده و حساسیت نسبی این تیمار به تنش زیاد می‌باشد. تیمارهایی که مقدار

با استفاده از این شاخص می‌توان پایداری عملکرد تیمارها را تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بررسی نمود. مقادیر

راهکارهای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در کلزا اظهار داشتند ژنوتیپ‌هایی که بیشترین مقدار شاخص‌های MP, GMP, STI و HARM را داشتند ژنوتیپ‌های مطلوب و برتر شناخته شدند. محمد ضابط و علیرضا صمدزاده (Zabet and Samadzadeh, 2014) در پژوهشی عنوان کردند که در شرایط نرمال ژنوتیپ‌های داراب ۱۴ و بندرعباس بهترین ژنوتیپ‌ها در شرایط آب و هوایی بیرجند بودند. استفاده از نمودار سه‌بعدی YP, YS و STI (شکل ۱) ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش آبی به دو گروه A و C تقسیم کرد (ارقام دشتستان ۲، خراسان، یزد، سبزوار، مازندران، جیرفت ۱۳، داراب ۲، داراب ۱، داراب ۱۴، صفی‌آباد ۱، یکه سعود و شعبان در گروه A قرار گرفتند)، این نشان می‌دهد که شاخص STI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بوده و مقادیر بالای آن بیانگر ثبات عملکرد بیشتر ارقام در شرایط تنش خشکی است. استفاده از نمودار سه‌بعدی YP, YS و STI برای تشخیص ارقام گروه A از سایر گروه‌ها در لویا توسط فرناندز (Fernandez, 1992) مورد استفاده قرار گرفته است.

بررسی همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های تحمل

همبستگی ساده بین عملکرد و شاخص‌های تحمل تنش خشکی در کنجد نشان داد که شاخص‌های MP, GMP, STI و TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند. شاخص SSI با YP همبستگی مثبت و غیر معنی‌دار و با YS همبستگی منفی و غیر معنی‌داری داشت (جدول ۱۱). شاخص MP همبستگی مثبت و معنی‌داری با GMP, STI و TOL و همچنین همبستگی منفی و غیر معنی‌دار با SSI داشت. شاخص GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با TOL, STI و MP داشت اما با شاخص SSI همبستگی منفی و غیر معنی‌دار داشت. شاخص TOL همبستگی مثبت با MP, GMP و STI و همبستگی مثبت و معنی‌دار و با SSI همبستگی منفی و غیر معنی‌دار نشان داد. شاخص SSI نیز همبستگی منفی و غیر معنی‌داری با MP, GMP و STI داشت اما با TOL همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری داشت. شاخص تحمل STI با MP, GMP و TOL و همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد اما با SSI همبستگی منفی و غیر معنی‌داری داشت. عملکرد در شرایط تنش خشکی و بدون تنش با شاخص‌های MP, GMP, STI و TOL همبستگی بالا و معنی‌داری داشت. تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی با شاخص‌های تحمل به خشکی نیز نشان داد که شاخص‌های MP, GMP, STI و TOL مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن ژنوتیپ‌های کنجد هستند. کارگر و همکاران (Kargar et al., 2004) نیز اظهار داشتند که شاخص‌های GMP, MP و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر و عملکرد در هر دو شرایط محیطی دارند. رضایی زاد (Rezaeizad, 2007) گزارش

TOL کمتری دارند، تفاوت عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کمتر است. مقادیر پایین این شاخص مربوط به تیمار ورامین (۴۴۸) می‌باشد که حاکی از پایداری در هر دو شرایط می‌باشد. این شاخص معیار مناسبی برای شناسایی تیمارهای متحمل به خشکی نمی‌باشد زیرا تیمارهایی وجود دارد که در هر دو شرایط عملکرد پایینی دارند و اختلاف بین عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش کم می‌باشد و به تبع دارای مقدار پایین شاخص تحمل به تنش می‌باشد که مطلوب نیست. محققان نشان دادند که شاخص TOL در تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش خشکی و بدون تنش عملکرد بالایی دارند، از ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط تنش خشکی عملکرد نسبتاً بالایی تولید می‌کنند، ناتوان است (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). انتخاب بر اساس شاخص تحمل اغلب موجب گزینش ارقامی می‌شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی تولید می‌کنند (Rosielle and Hamblin, 1981).

۴- شاخص SSI

با استفاده از شاخص می‌توان پایداری عملکرد تیمارها را تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش بررسی نمود. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده حساسیت نسبی این تیمارها به تنش می‌باشد. تیمار یزد با (۱/۱۴۸) دارای بیشترین مقدار شاخص بوده و حساسیت نسبی این تیمارها به تنش زیاد می‌باشد. تیمارهایی که مقدار SSI کمتری دارند تفاوت عملکرد آن‌ها در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش کمتر است. بر اساس شاخص SSI که مقادیر پایین عددی آن، نشان‌دهنده تحمل بالای رقم به تنش می‌باشد (Choukan et al., 2006)، مقادیر پایین این شاخص مربوط به ورامین و داراب ۱ با مقادیر ۰/۷۴۴ و ۰/۸۵۳ می‌باشد. به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Naderi et al., 2000). باید این نکته مورد توجه باشد که این شاخص به تنهایی معیار مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به تنش خشکی نمی‌باشد.

۵- شاخص تحمل به تنش خشکی STI

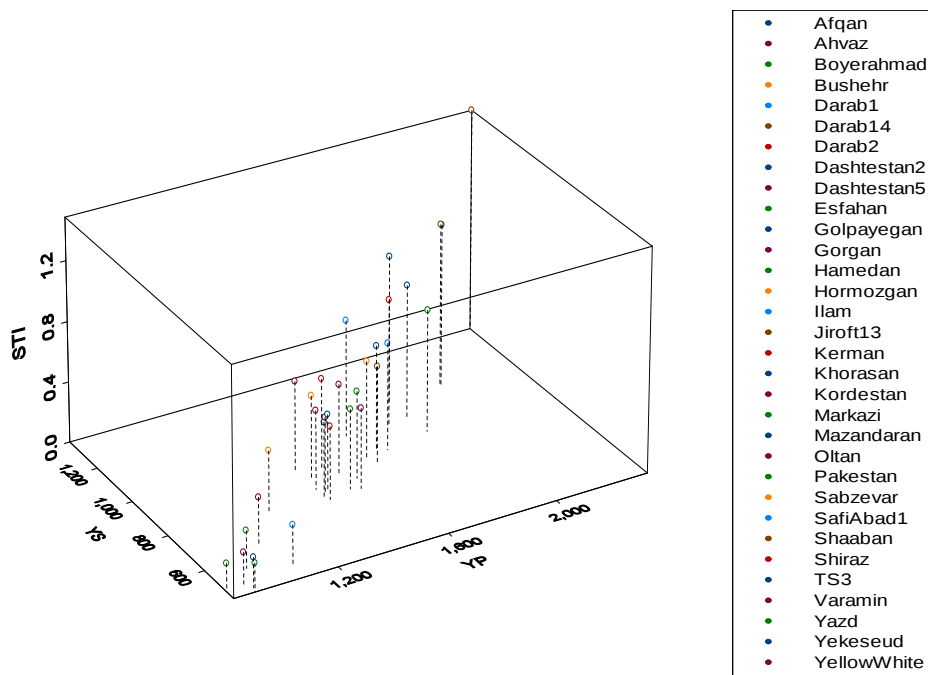
شاخص تحمل به خشکی برای هر رقم از فرمول فرناندز (Fernandez, 1992) با استفاده از میانگین عملکرد هر رقم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی محاسبه گردید. مقادیر بالای شاخص تحمل به خشکی STI مطلوب می‌باشد. با توجه به جدول ۱۰ تیمار داراب ۱۴ با مقدار ۱/۳۶۰۲ بیشترین میزان شاخص تحمل تنش خشکی را دارا بود، این تیمار در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش از عملکرد بیشتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند. تیمار پاکستان کمترین میزان شاخص تحمل به تنش خشکی را داشت (۰/۳۱۵۲) که این کاهش نشان‌دهنده پایین بودن عملکرد در هر دو محیط می‌باشد. زالی و همکاران (Zali et al., 2016) نیز در بررسی

بیشترین همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش داشتند به‌عنوان شاخص‌های برتر برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل معرفی کردند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی PCA

جهت استفاده از تمام شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان در انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی PCA استفاده شد.

کرد شاخص MP, GMP, STI و همبستگی مثبت و بسیار بالا با عملکرد در هر دو محیط دارند. پور اسماعیلی و همکاران (Poor-*et al.*, 2014) اعلام داشتند که شاخص‌های MP, GMP و STI در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند و بر اساس این شاخص‌ها وارسته داراب ۱۴ و توده محلی سیستان به‌عنوان وارسته‌های برتر در زهک معرفی شدند. سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al.*, 2017) در تحقیقی، شاخص‌های MP, GMP, STI و HARM را که



شکل ۱- نمودار سه‌بعدی STI و YS, YP

Figure 1- Three-dimensional graph of STI, YS, YP

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی میان شاخص‌های تحمل با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 11- Correlation coefficient between tolerance indices with seed yield in normal (YP) and stress condition (YS)

Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7
عملکرد در محیط بدون تنش 1 YP	1						
عملکرد در محیط تنش خشکی 2 YS	0.0937**	1					
شاخص متوسط بهره‌وری 3 MP	0.992**	0.974**	1				
شاخص میانگین هندسی 4 GMP	0.984**	0.984**	0.999**	1			
شاخص تحمل 5 TOL	0.919**	0.724**	0.861**	0.835**	1		
شاخص حساسیت به تنش 6 SSI	0.140 ^{ns}	-0.211 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.036 ^{ns}	0.515**	1	
شاخص تحمل به تنش خشکی 7 STI	0.977**	0.979**	0.992**	0.994**	0.826**	-0.035 ^{ns}	1

^{ns}, * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

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

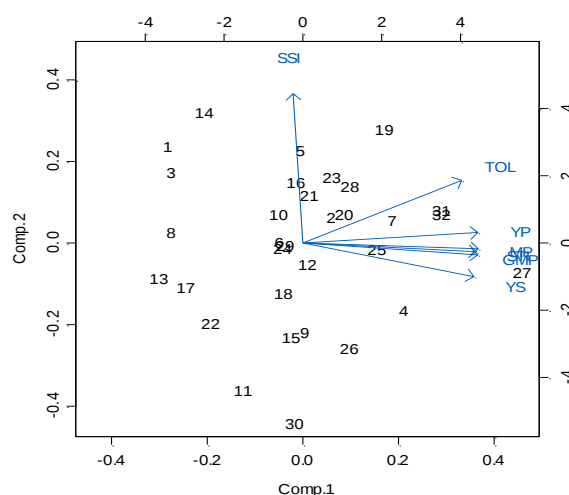
بای پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، یک‌ه‌سعود، شعبان، داراب ۲ و خراسان در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی YS, YP, GMP, MP و STI قرار دارند، همچنین این ژنوتیپ‌ها در مقایسه با شاخص‌های مهم تحمل به خشکی به YP تمایل بیشتری دارند و این نشان می‌دهد که تحمل به خشکی در این ژنوتیپ‌ها احتمالاً بیشتر به علت عملکرد بالای آن‌ها در شرایط آبیاری مطلوب می‌باشد. ژنوتیپ‌های پاکستان، افغانستان، کردستان و مرکزی ژنوتیپ‌های حساس به خشکی می‌باشند. به‌طور کلی، می‌توان این نحوه توزیع ارقام در فضای بای پلات را حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها نسبت به خشکی دانست. عشقی و همکاران (Eshghi et al., 2011) در پژوهشی گزارش کردند که بین ژنوتیپ‌ها تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی وجود دارد و مؤلفه‌های اصلی اول و دوم مجموعاً ۹۹/۷ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند.

نتایج حاصل از تجزیه نشان داد که دو مؤلفه اول مقدار ۹۹/۵۳ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۱۲) در صورت استفاده از دو مؤلفه اول و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر زیادی در میزان تغییرات نداشته زیرا تفسیر نتایج بر اساس دو مؤلفه اول کارایی بالایی دارد؛ بنابراین بای پلات بر اساس دو مؤلفه اول ترسیم شد (شکل ۲). اولین مؤلفه ۸۱/۸۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی با شاخص‌های YS, YP, GMP, MP و STI نشان داد. با توجه به این که مقادیر بالای این شاخص برای ما با اهمیت است و با توجه به رابطه مثبت مؤلفه اول با این شاخص‌ها اگر میزان بالای آن را انتخاب کنیم ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کنیم که عملکرد بالایی در محیط‌های بدون تنش و تنش خشکی دارند، از این‌رو آن را مؤلفه پتانسیل عملکرد در دو محیط نام می‌گذاریم. مؤلفه دوم ۱۷/۶۶ درصد از تغییرات موجود را به خود اختصاص داد و همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های SSI و TOL داشت، از این‌رو آن را مؤلفه حساسیت به تنش می‌نامیم. نمودار

جدول ۱۲- مقادیر ویژه، واریانس، درصد تجمعی و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در کنجد

Table 12- Eigenvalues, variance, cumulative percentages, and eigenvectors associated to the principal components in sesame

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	واریانس Variance	تجمعی Cumulative %	عملکرد در محیط بدون تنش Yp(kg.ha ⁻¹)	عملکرد در محیط تنش خشکی Ys(kg.ha ⁻¹)	شاخص متوسط بهره‌وری MP	شاخص میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل TOL	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش خشکی STI
1	5.66	80.85	80.85	0.414	0.403	0.417	0.416	0.38	-0.0164	0.418
2	1.235	17.64	98.49	0.086	-0.20	-0.045	-0.082	0.368	0.897	-0.067



شکل ۲- نمودار بای پلات بر اساس اولین و دومین مؤلفه اصلی برای ۳۲ ژنوتیپ کنجد

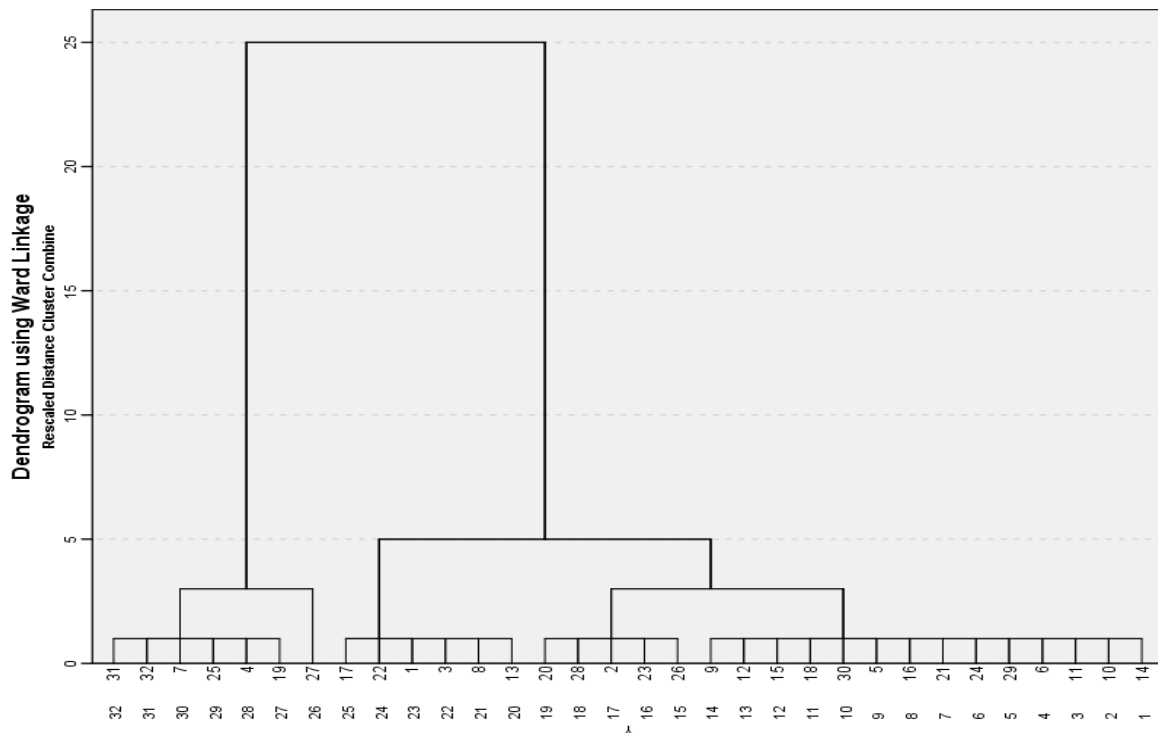
Figure 2- Drawing bi-plot based on first and second components for 32 sesame genotypes

(1- Pakistan, 2- Sabzevar, 3- Afghanistan, 4- Dashtestan2, 5- Dashtestan5, 6- Ts3, 7- Khorasan, 8- Kordistan, 9- Shiraz, 10- Kerman, 11- Bushehr, 12- Gorgan, 13- Markazi, 14- Ilam, 15- Hormozgan, 16- Hamedan, 17- BoyerAhmad, 18- Ahvaz, 19- Yazd, 20- Mazandaran, 21- Esfahan, 22- YellowWhite, 23- Jiroft13, 24- Oltan, 25-Darab2, 26- Darab1, 27- Darab14, 28- SafiAbad1, 29- Golpayegan, 30- Varamin, 31- YekehSeud, 32- Shaban)

تجزیه خوشه‌ای

ژنوتیپ‌ها بر مبنای عملکرد در شرایط مطلوب، تنش، SSI، MP، GMP، TOL و STI با استفاده از تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) و روش Ward گروه‌بندی شدند (Ward, 1963) و دندروگرام مربوطه رسم گردید (شکل ۳) که بر این اساس ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه طبقه‌بندی شدند. گروه اول شامل ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۲۵، ۲۷، ۳۱ و ۳۲ که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط و همچنین دارای مقادیر بالایی از شاخص‌های مهم تحمل به خشکی می‌باشند که این گروه در برابر خشکی دارای تحمل بیشتری می‌باشند. گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۲۲ بوده که از نظر

شاخص‌های تحمل در حد پایینی قرار دارد و دارای YP و YS پایینی نسبت به گروه اول بودند. گروه سوم از نظر معیارهای یادشده در حد متوسطی قرار دارند. در مطالعه‌ای برای گروه‌بندی لاین‌های متحمل به خشکی در گندم نان بر مبنای MP، TOL و STI (FarshadFar, 2000) و بر مبنای MP، HM و GMP (FarshadFar et al., 2001) مورد بررسی قرار گرفته است. عسکری و همکاران (Askari et al., 2016) اعلام کردند که تجزیه خوشه‌ای، ۱۲ ژنوتیپ کنگد را به ترتیب در دو و سه دسته در شرایط نرمال و تنش تقسیم‌بندی نمود در این پژوهش ژنوتیپ داراب ۱۴ به عنوان ژنوتیپ برتر در شرایط تنش معرفی شد.



شکل ۳- دندروگرام صفات اندازه‌گیری شده برای ۳۲ ژنوتیپ کنگد با استفاده از روش Ward

Figure 3- Dendrogram of measured traits means for 32 sesame genotypes by using the Ward method
(1- Pakistan, 2- Sabzevar, 3- Afghanistan, 4- Dashtestan2, 5- Dashtestan5, 6- Ts3, 7- Khorasan, 8- Kordistan, 9- Shiraz, 10- Kerman, 11- Bushehr, 12- Gorgan, 13- Markazi, 14- Ilam, 15- Hormozgan, 16- Hamedan, 17- BoyerAhmad, 18- Ahvaz, 19- Yazd, 20- Mazandaran, 21- Esfahan, 22- YellowWhite, 23- Jiroft13, 24- Oltan, 25- Darab2, 26- Darab1, 27- Darab14, 28- SafiAbad1, 29- Golpayegan, 30- Varamin, 31- YekehSeud, 32- Shaban)

عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و درصد روغن همبستگی مثبت و بالا با عملکرد نشان داد و در شرایط تنش خشکی وزن هزار دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد نشان داد. با استفاده از شاخص‌های SSI، MP، GMP، TOL، YP، YS، STI می‌توان تا حدود زیادی ژنوتیپ‌ها را بر اساس تحمل به تنش از یکدیگر جدا کرد که بر اساس این شاخص‌ها و با در نظر گرفتن

نتیجه‌گیری

در این بررسی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد از نظر صفات مورد اندازه‌گیری در شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان دادند که بیان‌کننده تنوع ژنتیکی و امکان گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بود. در بررسی همبستگی صفات، در شرایط بدون تنش تعداد کپسول در بوته، شاخص برداشت،

عملکرد در دو شرایط محیطی ژنوتیپ‌های داراب ۱۴، شعبان، یکم
سعود به عنوان متحمل‌ترین شناسایی شدند.

References

1. Askari, A., Zabet, M., Ghaderi M. G., and Shorvazdi, A. 2016. Choose the most important traits affecting on yield of some sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) in normal and stress conditions. Journal of Crop Breeding 8: 78-87. (in Persian with English abstract).
2. Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berger, J., Siddique, K. H., and Nayyar, H. 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. Functional Plant Biology 41 (11): 1148-1167.
3. Ayeen, A. 2013. Effect of eliminating of irrigation at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of two sesame genotypes. Seed and Plant 29 (1): 67-79. (in Persian with English abstract).
4. Bharathi, K. K., and Vivekanandan, P. 2009. Correlation and path analysis for seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). Electronic Journal of Plant Breeding 1 (1): 70-73.
5. Boureima, S., Diouf, M., Amoukou, A. I., and Van Damme, P. 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. International Journal of Pure and Applied Bioscience 4 (1): 45-60.
6. Bray, E. A. 1997. Plant response to water deficit. Trends in Plant Science 2 (2): 48-54.
7. Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance maize lines by drought stress tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences 8 (1): 2000-2010. (in Persian with English abstract).
8. Dargahi, Y., Asghari, A., Shokrpour, M., and Rasoulzadeh A. 2012. Effect of water deficit stress on root morphological characters in sesame cultivars. Journal of Production of Crops 5 (4): 151-172. (in Persian with English abstract).
9. Dilip, K., Ajumer, M., and Roy, S. 1991. Response of summer sesame (*Sesamum indicum* L.) to irrigation, rowspacing and plant population. Indian Journal of Agronomy 37: 758-762.
10. Duta, P., Jana, K., Bandypadhyay, P., and D. Maity. 2000. Response of summer (*Sesamum indicum* L.) to irrigation. Indian Journal of Agronomy 54: 613-616.
11. Eshghi, A. Gh., Muzaffari, J., and Azizov, A. 2011. Evaluation of different sesame genotypes in terms of tolerance to limited irrigation conditions using multivariate analysis methods. First National Congress of Advanced Agricultural Sciences and Technologies, Zanjan University, 10-21 September. p. 58. (in Persian).
12. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., and Ghasemi-Golezani, K. 2010. Evaluation of water use efficiency and seed yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Suitable Production 20 (1): 39-51. (in Persian with English abstract).
13. Eskandari, H., ZehtabSalmasi, S., Ghassemi-Golezani, K., and Gharineh, M. H. 2009. Effects of water limitation on grain and oil yields of sesame cultivars. Journal of Food, Agriculture and Environment 7 (2): 339-342.
14. Fanaee, H., Naroe Rad, M., and Mohammad Ghasemi, M. 2014. Evaluation of seed yield, yield components and tolerance to drought stress of spring canola genotypes. Seed and Plant 30 (2): 269-287. (in Persian with English abstract).
15. Farahbakhsh, S., and Farahbakhsh, H. 2014. Effect of Drought Stress on Yield and Yield Components of Sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 776-783. (in Persian).
16. Faraji, F. 2016. Evaluation of some soybean genotypes (*Glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding 8: 30-36. (in Persian with English abstract).
17. Farshadfar, A. 2000. Selection for Drought tolerance in bread wheat lines, Journal of Agricultural Sciences and Industries 14 (2): 161-171.
18. Farshadfar, A., Zamani, M. R., Matlabi, M., and Imam Jomeh A. A. 2001. Selection for drought tolerance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32 (1): 65-77. (in Persian).
19. Fernandez, GCJ. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Pp. 257-270. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
20. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agriculture Research 29: 897-912.
21. Golestani, M., and Pakniat, H. 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame (*Sesamum indicum* L.) lines. Journal of Science Technology of Agriculture and Natural Resources 11 (41): 141-149. (in Persian).
22. Hamrouni, I., Salah, H. B., and Marzouk, B. 2001. Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. Phytochemistry 58 (2): 277-280.
23. Hassanzadeh, A., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Jamaati-e-Somarin, Sh., Saeidi, M., and Gholipouri, A. 2009. Investigation of water stress on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan region. Research Journal of Environmental Sciences 3 (2): 239- 244.
24. Heidari, M., Galnvi, M., and Hassani, M. 2011. Effects of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in Sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. African Journal of Biotechnology 10 (44): 8816- 8822.

25. Heydari Sharif Abad, H. 2001. The plants and salinity. Research Institute of Forests and Rangelands. pp: 199.
26. Jian, S., Yue-Liang, R., Mei-Wang, L., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., and Hong-Ying, Z. 2010. Effect of drought stress on Sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. Chinese Journal of Oil Crop Sciences 4: 525- 533.
27. Kandasamy, G., Manchoram, V., and Thangovelu, S. 1990. Variability of metric traits and character association in sesame in two. Sesame and Safflower Newsletter 5: 10-15.
28. Kargar, S. M. A., Ghanadha, M. R., Bozorgipour, R., Khajeh Ahmad Atari, A. A., and Babaei, H. R. 2004. Evaluation of drought tolerance indices in some soybean genotypes in limited irrigation conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35 (1): 129-142. (in Persian with English abstract).
29. Kassab, O. M., Mehanna, H. M., and Aboelill, A. 2012. Drought impact on growth and yield of some sesame varieties. Applied Sciences Research 8 (8): 4544-4551.
30. Kathiresan, G., and Gnanamurthy, P. 2000. Studies on seed yield-contributing characters in sesame. Sesame and Safflower Newsletter 15: 29-32.
31. Khajehpour, M. R. 2004. Industrial plants. Jahad University Publications of Isfahan Industrial Branch. 564 pages.
32. Khammar, M. 2007. Evaluation of drought stress on different cultivars of sesame (*Sesamum indicum* L.). Master's Thesis. University of Zabol. 144 pages.
33. Kolaeiyan, A., and GholamiSefidKuhi, M. 2012. Introducing the best method for determining the effective rainfall of rice cultivation in Ghaemshahr. Third National Conference on Water Resources Management. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (in Persian with English abstract).
34. Lalpantluangi, P. C., and Pankaj, SH. 2018. Character association and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes under foothill condition of Nagaland. The Pharma Innovation Journal 7 (5): 82-87.
35. Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products 30 (3): 372-379.
36. Mahmood, S., Iram, S., and Athar, H. R. 2012. Intra-specific variability in sesame (*Sesamum indicum* L.) for various quantitative and qualitative attributes under differential salt regimes. Journal of Research (Science), Bahauddin Zakariya university , Multan, Pakistan 14 (2): 177-186.
37. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2010. Investigation of the effect of drought stress on yield components and grain yield of four sesame cultivars. Fifth National Conference on New Ideas. Azad University of Khorasgan Branch (Isfahan). (in Persian with English abstract).
38. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement 13 (2): 75-88. (in Persian with English abstract).
39. Moghribashi, M., and Razmjoo, J. 2012. Effect of Seed Treatment with PEG and Irrigation Regimes on Yield, Yield Component and Yield Oil of Sesame (*Sesame indicum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 10 (1): 91-99. (in Persian).
40. Mollasadeghi, V., Gharib Eshghi, A., Shahryari, R., and Serajamani, R. 2013. Study on morphological traits of bread wheat genotypes and their relation with grain yield, under the condition of drought stress after anthesis and normal irrigation. International Journal of Farming and Allied Sciences 2 September. 1284-1291.
41. Mousavi, S. F., and Akhavan, S. 2007. Irrigation Principles, Press Kankash, 415. (in Persian).
42. Naderi, A., Majidi-Hevan, E., Hashemi-Dezfoli, A., and Nourmohammadi, G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Plant and Seed Journal 15 (4): 390-402. (in Persian with English abstract).
43. Naeimi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Sanavi, S. A. M. M., Sadat Noori, S. A., and Jabari, H. 2008. Evaluation drought Tolerance in different varieties by evaluation indices of stress in end of growth season. Journal of Crop Production 1 (3): 83-89. (in Persian with English abstract).
44. Najafi, H., and Safari, M. 2012. Evaluation of effect of drought stress on yield and yield components and oil percentage in sesame cultivars. Proceedings of the 11th national Seminar of irrigation and evaporation reduction. Bahonar Kerman University. Kerman. Iran.
45. Nourouzpour, Gh., Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of Black Cumin (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (2): 305-315. (in Persian with English abstract).
46. Padmavathi, N., and Thangavelu, S. 1996. Association of various yield components in sesame. Sesame and Safflower Newsletter 11: 40-45.
47. Paknejad, F., Majidi, E., Noormohammadi, G., Seadat, A., and Vazan, F. 2007. Evaluation of Drought Stress on Effective Traits at Accumulative Assimilate of Grain in Different Cultivars of Wheat. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University 13 (1): 137-149. (in Persian with English abstract).
48. Pandey, R. K., Herrera, W. A. T., Villegas, A. N., and Pendleton, J. W. 1984. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. Agronomy Journal 76: 557-560.
49. Poor-Esmaeili, H. A., Fanaeib, H. R., and Saberib, M. H. 2014. Evaluation of drought tolerant cultivars and lines of sesame using stress tolerance indices. Scientific Journal of Crop Science 3 (6): 66-70.

50. Pouresmaiel, H. A., Saberi, M. H., and Fanaei, H. R. 2013. Evaluation of terminal drought stress tolerance of *Sesamum Indicum* L. genotypes under the Sistan region conditions, International Journal of Science and Engineering Investtigations 2: 58-61.
51. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99: 127-136.
52. Rezaeizad, A. 2007. Responses of Sunflower genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. Journal of Seedlings and Seeds 23 (1): 43-58. (in Persian).
53. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A. A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 57-68. (in Persian with English abstract).
54. Roebbelen, G. R., Downwy, K., and Ashri, A. 1989. Oil crops of world. McGraw-Hill Publisher, New York.
55. Rosielle, A. A., and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.
56. Ruziev, B. R. 1973. The responses of wheat varieties to irrigation in Kaska-Darya Province. Byulleten V.Sesoyuzongc Ordena Lenina Institute Rasteniye Dstva Imeni. N.I. Vavilovia 33: 16-23.
57. Saeidi, A., Tohidi-Nejad, E., Ebrahimi, F., Mahmoodi-Nejad, G., and Shirzadi, M. H. 2012. Investigation of water stress on yield and some yield components of sesam genotypes (*Seamum indicum* L.) in jiroft region. Journal of Applied Sciences Research 8 (1): 243-246.
58. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lensculinaris* L.) under hydroponics conditions. Journal of Environmental Sciences 3 (1): 103-109.
59. Sarmadnia, Gh. H. 1993. The Importance of Environmental Tensions in Agriculture. First Congress of Agriculture and Plant Breeding of Iran, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Karaj, University of Tehran. 30 pages.
60. Shahrabi, B., Farahmandfar, E., Hassanlo, T., Shirani Rad, A. H., and Tabatabaee, S. A. 2013. Evaluation of drought tolerance in rapeseed varieties based on physiological and agronomical characteristics at Yazd region. Journal of Crop Production 6 (4): 97-77. (in Persian with English abstract).
61. Shiri, M., Valizadeh, M., Majidi, E., Sanjari, A., and Gharib Eshghi, A. 2010. Evaluation of wheat tolerant indices to moisture stress condition Electronic. Journal on Crop Production 3 (3): 143-161. (in Persian with English abstract).
62. Shokooh-Far, A. R., and Yaghoubi-Nejad, S. 2012. Effect of drought stress on yield components of different sesame cultivars. Journal of Agronomy and Plant Breeding 8 (4): 19-29.
63. Singh, A. J., and Byerlee, D. 1990. Relative variability in wheat yields across countries and over time. Journal of Agricultural Economics 1: 30-32.
64. Singh, J., and Patel, A. L. 1996. Water status, gaseous exchange proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. Annals of Biology 12: 77-81.
65. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. Field Crop Research 98: 222-229. (in Persian with English abstract).
66. Soleimani, A., Bihamta, M. R., Peyghambari, S. A., and Maali-Amiri, R. 2017. Evaluation of late season drought in barley genotypes using some drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding 9 (23): 166-176. (in Persian with English abstract).
67. Taiz, L., and Zeiger, E. 1991. Plant Physiology, Benjamin/Cummings, California.
68. Ward, J. H. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Journal of the American Statistical Association 58: 236-244.
69. Weise, E. A. 2000. Oilseed crops. Blackwell Sci., Ltd Oxford, UK. 364p.
70. Wright, P. R., Morgan, J. M., Jossop, R. S., and Cass, A. 1995. Comparative adaptation of canola and Indian mustard to soil water deficit. Field Crops Research 42: 1-13.
71. Zabet, M., and Samadzadeh, A. R. 2014. Evaluation of water stress tolerance in some sesame genotypes. Journal of Applied Crop Breeding 2 (2): 185-197. (in Persian).
72. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., Asghari, A., and Zeinalabedini, M. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in Canola. Journal of Crop Breeding 8 (20): 77-90. (in Persian with English abstract).
73. Zare, M., Zinali Khaneghah, H., and Danshianov, J. 2004. Evaluation of drought tolerance of some soybean genotypes. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35 (4): 859-867. (in Persian with English abstract).



Evaluation of Drought Tolerance in Some Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes Based on Stress Tolerance Indices

H. Asadi¹, R. Baradaran^{2*}, M. J. Seghatoleslami², S. G. Mousavi²

Received: 16-08-2020

Accepted: 03-01-2021

Introduction

Sesame is one of the oldest crops. Ethiopia is commonly accepted as the origin of domestic sesame. Sesame is a diploid ($2n = 26$) plant that grows as a bush. Sesame has a special place among oil plants due to its high oil content and quality as well as its high oil durability. Drought stress is a condition that cells and tissues are in a state where their inflammation is incomplete. In other words, dehydration occurs when the amount of transpiration exceeds the amount of water absorbed. Drought is one of the most important causes of declining agricultural productivity worldwide. Drought has destructive and detrimental effects on different stages of plant growth and reduces yield and yield components in sesame genotypes. Due to the serious problem of limited water resources and drought and its effect on yield reduction, this study to evaluate drought tolerance of sesame genotypes based on tolerance indices to identify and group sensitive, tolerant and resistant genotypes and select resistant genotypes and identify correlations of related traits. Drought tolerance was performed through field studies.

Materials and Methods

In order to evaluate the genetic diversity of different sesame genotypes under non-stress and drought stress conditions, an Augmented design was conducted in three blocks on 32 genotypes in the southeastern fields of Bojnourd in 2018. Genotypes used were obtained from Karaj Seed and Plant Breeding Research Institute in the amount of 1.5 grams per sample. In this experiment, one plot of land was allocated to the drought stress environment and the other to the stress-free environment. The distance between these two environments was considered to be five meters so that the humidity of the two adjacent environments did not affect each other. With the onset of stress flowering on the target medium, application and irrigation of the dry stress plot based on 200 mm and the non-stress plot based on 100 mm evaporation from the pan was performed. Cumulative evaporation from the pan determined the arrival time of irrigation in each of the environments. SAS PLUS software for calculating variance analysis, principal component analysis and mean comparison, S-PLUS software for drawing 3D and bipod diagrams, SPSS software for calculating the correlation of traits and correlation of tolerance indices and cluster tolerance analysis, respectively, from EXCEL Action was taken.

Results and Discussion

The studied genotypes showed a significant difference at the level of 1% probability in terms of traits measured under non-stress and drought stress conditions, which indicated genetic diversity and the possibility of selecting drought tolerant genotypes. Darab 14 genotype with 2344 kg.ha^{-1} had the highest grain yield and the Markazi genotype with 1148 kg.ha^{-1} had the lowest grain yield in non-stress conditions. Under drought stress conditions, Darab 14 genotype with 1360 kg.ha^{-1} had the highest grain yield which showed a 58% decrease compared to non-stress conditions. Also, the lowest grain yield was observed in Pakistani genotype with 624 kg.ha^{-1} , which was 53% less than non-stress conditions. Based on the results, Darab 14 genotype showed the highest values of MP, GMP, TOL and STI tolerance indices and the correlation analysis between yield under stress and non stress conditions with drought tolerance indices also showed that STI, GMP, MP and TOL indices the most suitable indices are for screening sesame genotype. Using three-dimensional diagrams of YS, YP and STI, the genotypes were divided into two groups A and C under drought stress conditions. In order to investigate the correlation between different agronomic traits in comparing the grain yield of genotypes and determine their relationships, a simple correlation was calculated in both non-stress and drought stress environments, which showed a positive and significant correlation between yield and yield components in both conditions.

Conclusions

This study showed that comparison genotypes significant differences in terms of measurable traits in non-stress and drought stress conditions. Using MP, GMP, TOL, SSI and STI indices, genotypes can be separated to

1- Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
2- Associated Professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

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

a large extent based on stress tolerance. Based on these indices and considering the performance in two environmental conditions Darab 14, Shaban and Yekehsaud is were identified as the most tolerant.

Keywords: Sesame, Tolerant cultivars, Water requirement, Yield



مقاله پژوهشی

عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت تاثیر کاربرد برگی سیلیکون، کود نیتروژن و تنش آبی در مرحله‌ی زایشی

وحید براتی^{۱*}، احسان بیژن‌زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز انجام طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ شد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری [مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله گل‌دهی] به عنوان کرت‌های اصلی و دو سطح کاربرد برگی سیلیکون [صفر میلی‌مولار (شاهد) و ۳ میلی‌مولار] و سه سطح کود نیتروژن [صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (شاهد)، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار] که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج این آزمایش نشان داد که تنش آبی تعداد پنجه بارور در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش داد. اما، این کاهش در وزن هزار دانه شدید و در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با سایر سطوح نیتروژن بیشترین (۳۶ درصد) بود. همچنین، تنش آبی عملکرد دانه را در سطوح مختلف نیتروژن به طور متفاوتی کاهش داد (۲۴، ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش به ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) و بیشترین مقدار کاهش در شرایط استفاده از بالاترین سطح کاربرد کود نیتروژن رخ داد. کاربرد برگی سیلیکون سبب کاهش اثرات تنش و در نتیجه بهبود وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل، عملکرد زیست‌توده و در نهایت شاخص برداشت و عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد دانه (۵۰۲۱ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد سیلیکون بود و کمترین عملکرد دانه (۲۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده سیلیکون به دست آمد. به طور کلی، کاربرد برگی سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی قابل توصیه است. همچنین، با توجه به افزایش حساسیت بوته‌ها به تنش آبی در سطوح بالای کود نیتروژن، کاربرد سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط قطع آبیاری پس از گلدهی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده، کلروفیل، وزن هزار دانه

مقدمه

وابسته به فراهمی آب و نیتروژن است. همچنین، کمبود آب در مراحل گلدهی و پر شدن دانه‌ها سبب عقیمی گلچه‌ها و در نهایت کاهش تعداد دانه در سنبله، تولید پنجه‌های نابارور و کاهش وزن تک دانه‌ها می‌شود (Barati et al., 2016; Hay and Walker, 1989). بنابراین، درک برهمکنش قابلیت دسترسی به آب و نیتروژن در خاک به‌ویژه در رابطه با گیاه تازه معرفی شده‌ی تریتیکاله به کشاورزان جنوب ایران برای دسترسی به ثبات عملکرد در این مناطق مهم است. به طور سنتی کشاورزان مناطق جنوبی ایران برای دستیابی به عملکرد بالا، حداکثر کود نیتروژن توصیه شده را به کار می‌برند و یا حتی تحت تاثیر عرف منطقه بیش از نیاز نیتروژنی گیاه از کود نیتروژن استفاده می‌کنند. کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن در مناطقی که با عدم اطمینان در فراهمی آب برای آبیاری در مراحل پس از گلدهی مواجه هستند، علاوه بر افزایش هزینه‌ها ممکن است با اثرات نامطلوبی در عملکرد نهایی غلات همراه باشد (Ercoli et al., 2008; Barati et al., 2015). بر اساس نظر برخی از پژوهشگران از جمله فردریک و کامبراتو (Frederick and Camberato, 1995) در شرایط مطلوب رطوبتی بالاترین عملکرد دانه گندم نان (*Triticum*)

در مناطق گرم و خشک ایران از جمله جنوب استان فارس که با محدودیت منابع آب‌های زیرزمینی و بارندگی روبه‌رو هستند، مراحل زایشی تریتیکاله (*Triticosecale Wittmack*) تحت تاثیر تنش آبی قرار می‌گیرد. همچنین، عنصر نیتروژن نیز از عوامل محدودکننده عملکرد در مناطق جنوبی ایران است. پاسخ غلات به کوددهی نیتروژن بیش از آن‌که به مقدار و زمان کاربرد کود وابسته باشد، با قابلیت دسترسی به آب در خاک، مقدار و توزیع بارندگی رابطه مستقیم دارد (Barati et al., 2015). پژوهشگران زیادی اثبات کرده‌اند که رشد و نمو در مراحل اولیه زندگی غلات، مانند مرحله‌ی تولید پنجه،

۱- استادیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۲- دانشیار گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: v.barati@shirazu.ac.ir

DOI: 10.22067/jcsc.2020.88386

به‌سزایی داشته باشد، پژوهش جامعی که به بررسی اثر کود نیتروژن و کاربرد برگی سیلیکون در شرایط تنش آبی پس از گلدهی در غلات به‌ویژه گیاه تریتیکاله در مناطق جنوبی ایران بپردازد، بسیار کمیاب است. بنابراین، این پژوهش به بررسی اثر برهمکنش سطوح مختلف کود نیتروژن و سیلیکون بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه‌ی تریتیکاله در شرایط تنش آبی انتهای فصل پرداخته است.

مواد و روش‌ها

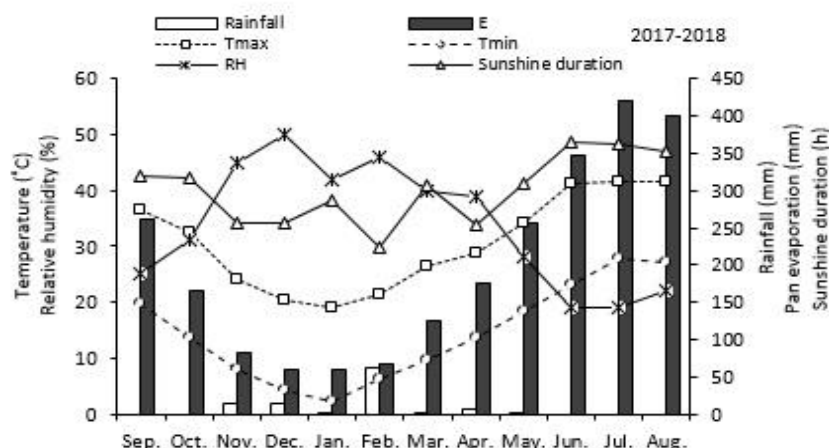
آزمایش حاضر در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز (طول جغرافیای 54° و $30'$ شرقی و عرض جغرافیایی 28° و $50'$ شمالی و با ارتفاع 1180 متری از سطح دریا) در سال زراعی $97-1396$ در منطقه‌ی داراب استان فارس اجرا شد. منطقه داراب دارای آب و هوای خشک است. میانگین دراز مدت بارندگی سالیانه‌ی این منطقه 250 میلی‌متر است، که این مقدار بارندگی عمدتاً در مرحله رشد رویشی غلات در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد. شرایط آب و هوایی منطقه در سال $97-1396$ در شکل ۱ آمده است. به منظور بررسی ویژگی‌های خاک، نمونه‌ای مرکب (عمق $30-0$ سانتی‌متر) از خاک مزرعه به‌طور تصادفی برداشته شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. جدول ۱ نتایج آزمون خاک را نشان می‌دهد.

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها در این آزمایش شامل: دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی (۱- آبیاری بدون تنش آبی (مطلوب): آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- آبیاری با تنش آبی (کم آبیاری): آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله‌ی گلدهی (قطع آبیاری پس از مرحله گلدهی)) بود. همچنین، عامل فرعی اول شامل سه سطح کود نیتروژن به‌صورت اوره (46 درصد نیتروژن) [۱- صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (شاهد)، ۲- کاربرد 100 کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ۳- کاربرد 150 کیلوگرم نیتروژن بر هکتار] و عامل فرعی دوم شامل دو سطح کاربرد سیلیکون [صفر و 3 میلی‌مولار] بود. کود نیتروژن در سه مرحله [سه برگی (کد زیداکس ۱۳)، پنجه‌زنی (کد زیداکس ۲۳) و ساقه رفتن (کد زیداکس ۳۱)] (Zadoks et al., 1974) و به مقدار مساوی به خاک مزرعه افزوده شد. کاربرد سیلیکون در اواسط مرحله‌ی گلدهی (ZGS65) (Zadoks et al., 1974) انجام شد. در زمان اعمال تیمار سیلیکون، به‌منظور جلوگیری از اثرات جانبی جذب آب در این تیمار، کرت‌های شاهد نیز با آب معمولی بدون سیلیکون با حجمی معادل تیمار سیلیکون محلول‌پاشی شدند.

aestivum L.) با مصرف مقدارهای بالای کود نیتروژن به‌دست آمد. اما، در شرایط تنش آبی کاربرد سطوح بالای نیتروژن سبب افزایش حساسیت به تنش آبی و کاهش عملکرد دانه شد. ون هرواردن و همکاران (Van Herwaarden et al., 1998) این حساسیت گیاهان دریافت‌کننده‌ی سطوح بالای کود نیتروژن به تنش آبی را به تعلق بیشتر به‌واسطه‌ی رشد رویشی زیاد و تخلیه‌ی بیشتر رطوبت از پروفایل خاک نسبت دادند.

در شرایط عدم اطمینان از فراهمی آب برای آبیاری در مراحل پس از گلدهی، کشاورزان همواره با این تردید روبه‌رو هستند که کود نیتروژن را به مقدار حداکثر ممکن (با توجه به آزمون خاک یا عرف منطقه) برای شرایط مطلوب رطوبتی به‌کار ببرند و یا این‌که مقدار مصرف کود نیتروژن را کمتر از مقدار توصیه شده برای شرایط تنش آبی استفاده کنند. یکی از راه‌های که ممکن است قابل پیشنهاد باشد این است که کشاورزان مقدار بهینه‌ی کود نیتروژن را برای شرایط مطلوب رطوبتی در مراحل رشد رویشی غلات به‌کار ببرند. اما، اگر با کمبود آب برای آبیاری در مراحل پس از گلدهی روبه‌رو شدند، با کاربرد مواد شیمیایی کاهنده‌ی سطح تنش مانند سیلیکون اثرات مخرب تنش تشدید شده به‌واسطه‌ی استفاده از سطوح بالای کود نیتروژن را کاهش دهند. به عبارت دیگر، کشاورزان با کاربرد سیلیکون از کاهش شدید عملکرد در سطوح بالای کود نیتروژن ممانعت کنند. کاربرد سیلیکون می‌تواند اثرات مخرب تنش‌های غیر زنده از جمله تنش خشکی را به‌وسیله‌ی سازوکارهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیکی کاهش دهد. به‌عنوان مثال، برخی از پژوهشگران (Hattori et al., 2005) نشان داده‌اند که استفاده از سیلیکون کاهش میزان آسمیلایسون خالص گیاه سورگوم در اثر تنش آبی را نسبت به شرایط عدم استفاده از آن کمتر کرد. همچنین، آن‌ها مشاهده کردند که کاهش نسبت شاخساره به ریشه و افزایش تجمع ماده‌ی خشک ریشه در سورگوم تیمار شده با سیلیکون رخ داد. کاهش نسبت شاخساره به ریشه سبب کاهش تعلق و افزایش محتوای نسبی آب گیاه شده و سبب کاهش کمتر عملکرد دانه به‌واسطه‌ی تنش خشکی خواهد شد (Hattori et al., 2005). به‌علاوه، گانگ و همکاران (Gong et al., 2005) نشان دادند که تنش خشکی میزان فتوسنتز را در گندم کاهش داد. اما، استفاده از سیلیکون آن را به حد مطلوب رساند. آن‌ها بهبود فتوسنتز توسط سیلیکون را به عوامل غیر روزه‌ای موثر در فتوسنتز نسبت دادند.

با وجود این‌که مواد شیمیایی کاهنده‌ی اثرات نامطلوب تنش آبی از جمله سیلیکون ممکن است در کاهش دغدغه کشاورزان جنوب استان فارس جهت مصرف کود نیتروژن در شرایط تنش خشکی نقش



شکل ۱- بارندگی ماهیانه، تبخیر از تشت تبخیر، طول دوره روشنایی، میانگین کمینه و بیشینه دمای هوا و رطوبت نسبی در طول سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷
 Figure 1- Monthly rainfall, pan evaporation (E), sunshine duration, mean minimum and maximum air temperatures (T_{min} and T_{max} , respectively) and relative humidity (RH) during 2017- 2018 growing season

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

Characteristics	ویژگی	واحد Unit	مقدار Amount
Sand	شن	%	38.67
Silt	سیلت	%	44.54
Clay	رس	%	16.79
O.C	کربن آلی	%	0.99
O.M	ماده آلی	%	1.70
EC	قابلیت هدایت الکتریکی	dS.m ⁻¹	1.08
pH	اسیدیته		7.47
Total N	نیتروژن کل	%	0.09
Available K	پتاسیم قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	325
Available P	فسفر قابل‌دسترس	mg.kg ⁻¹	11
Fe	آهن	mg.kg ⁻¹	5.55
Mn	منگنز	mg.kg ⁻¹	16.31
Cu	مس	mg.kg ⁻¹	1.46
Zn	روی	mg.kg ⁻¹	0.73

آذرماه) در ۲۰ آذر در ردیف‌های به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در ۶ ردیف به طول ۳ متر بر اساس مقدار توصیه شده (۴۵۰ بذر در متر مربع) کاشته شد.

جهت آبیاری زمین، قبل از هر آبیاری در کرت‌های مربوط به تیمار آبیاری مطلوب، محتوای رطوبتی خاک به‌وسیله روش وزنی (Alizadeh, 2001) در فواصل ۳۰ سانتی‌متری تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. در این روش از عمق‌های اشاره شده نمونه‌ای با مته برداشت شد و پس از وزن کردن نمونه‌ی مرطوب، آن را به مدت ۲۴ ساعت در آون (دمای ۱۰۵ درجه

جهت آماده‌سازی کرت‌ها و جلوگیری از نشت جانبی آب و کود نیتروژن اطراف هر کرت فرعی پشته‌ای به عرض نیم متر ایجاد شد. برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب، فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی (آبیاری مطلوب و تنش آبی) دو متر در نظر گرفته شد. اندازه‌ی کرت‌های فرعی ۲×۳/۵ مترمربع بود. با توجه به نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل (۶۰ کیلوگرم بر هکتار) قبل از کاشت به‌صورت نواری زیر بذر استفاده شد. بذر تریپتیکاله (رقم سناباد) از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر (ایستگاه حسن آباد داراب) تهیه و با توجه به تاریخ بهینه کاشت در منطقه (نیمه دوم

با داس کفبر شدند (۵۰ سانتی متر اطراف هر کرت به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد). تعداد ۳۰ بوته در مرحله‌ی دو برگ به طور تصادفی از مرکز هر کرت انتخاب و به وسیله‌ی حلقه‌گذاری دور آن از سایر بوته‌ها متمایز شد و در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، این بوته‌ها جهت اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله و طول سنبله مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، تعداد پنجه‌های بارور از یک متر طولی دو ردیف وسط هر کرت مورد شمارش قرار گرفت و بر اساس آن تعداد پنجه بارور در مترمربع محاسبه گردید. برای محاسبه وزن هزار دانه (برحسب گرم) پنج دسته هزارتایی از بذور توزین و میانگین‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ارتفاع ۱۰ بوته از هر کرت به صورت تصادفی اندازه‌گیری شد.

تجزیه آماری داده‌ها به روش تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, 2004) صورت گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ پرچم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که شاخص کلروفیل برگ پرچم به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر کود نیتروژن قرار گرفت. مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار شاخص کلروفیل برگ پرچم را به ترتیب به مقدار ۳۱ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). بر اساس نظر تایز و زایگر (Taiz and Zeiger, 2010) نیتروژن از جمله عناصر ضروری در رشد و نمو گیاهان است و نقش مهمی در شکل‌گیری مولکول‌های کلروفیل دارد. همچنین، شاخص کلروفیل برگ یک شاخص خوب از مقدار نیتروژن موجود در برگ است و با کاربرد کود نیتروژن افزایش می‌یابد (Li et al., 2009).

شاخص کلروفیل برگ پرچم تحت تاثیر رژیم آبیاری قرار نگرفت (جدول ۲ و ۳). اما، تنش آبی شاخص کلروفیل را به طور جزئی افزایش داد (جدول ۳). احتمالاً، این افزایش به دلیل کم شدن حجم سلول‌ها در شرایط تنش آبی و افزایش تراکم کلروپلاست‌ها در واحد سطح بوده است (Siosemarde et al., 2014). پژوهش‌های دیگری نیز افزایش شاخص کلروفیل را در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) (Bredemeier, 2005) و گندم (Niazi-Ardakani et al., 2020) در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی را نشان داده‌اند. کاربرد برگ سلیکون به طور معنی‌داری سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ پرچم به میزان ۹ درصد نسبت به شرایط بدون کاربرد آن شد (جدول ۳). افزایش شاخص کلروفیل به واسطه‌ی مصرف سلیکون در گندم نان و دوروم (Reza-beigi, 2019) و ذرت

سانتی‌گراد قرار دادیم تا خشک شود. پس از خشک شدن و وزن کردن دوباره، مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شد (Alizadeh, 1999). درصد حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای اندازه‌گیری شدند. محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه‌ای در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۲۱ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود. همچنین، محتوای حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۱۰ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود. مقدار آب قابل دسترس از تفاضل مقدار رطوبت در حالت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به دست آمد (Hanson et al., 2004; Alizadeh, 1999). حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی بر اساس گزارش فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) برابر با ۵۵ درصد از کل آب قابل دسترس در فصل رشد در نظر گرفته شد. بنابراین، هنگامی که مقدار آب قابل دسترس خاک به کمتر از ۵۵ درصد از آن رسید، آبیاری انجام گرفت و رطوبت عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک به ظرفیت مزرعه رسانده شد. مقدار آب مورد نیاز به وسیله رابطه (۱) محاسبه و مقدار آب کاربردی برای هر کرت به وسیله روش حجمی- زمانی این روش مقدار آب محاسبه شده به وسیله رابطه (۱) که بر اساس میلی‌متر بود، تبدیل به لیتر در هر کرت شد و سپس با توجه به دبی خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای هر کرت، زمان مورد نیاز برای آبیاری آن مشخص شد. در کرت‌های مربوط به تیمار تنش آبی نیز تا مرحله گلدهی آبیاری به همین صورت انجام گرفت و پس از گلدهی آبیاری به طور کامل قطع شد. مقدار آب به کار برده شده در تیمار مطلوب و تنش آبی (قطع آبیاری پس از گلدهی) به ترتیب ۶۳۴/۳ و ۳۰۲/۶ میلی‌متر بود. لازم به ذکر است که پس از مرحله‌ی گلدهی تا انتهای رسیدگی بارندگی رخ نداد.

$$D = \sum_{i=1}^n (\theta_{fci} - \theta_i) \Delta Z_i \quad (1)$$

D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i: یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، θ_{fci} : محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، θ_i : محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i مین لایه خاک، ΔZ_i : ضخامت هر لایه (میلی‌متر).

به منظور اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ پرچم در مرحله شیرری (کد زیداکس ۷۵) (Zadoks et al., 1974) از دستگاه کلروفیل متر (SPAD) استفاده شد. بوته‌های تربیتکاله در تاریخ ۲۰ اردیبهشت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. در این مرحله برای تعیین عملکرد نهایی (عملکرد دانه و زیست‌توده) و شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به زیست‌توده) دو متر طولی دو ردیف وسط کرت

آبیاری مطلوب و استفاده از ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن بر هکتار بود و کمترین عملکرد دانه (۱۷۳۷ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده از کود نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۴). اثر برهمکنش رژیم آبیاری $\times$ کود نیتروژن نشان داد که تنش آبی عملکرد دانه را در همه سطوح کود نیتروژن نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد؛ اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کودی متفاوت بود (۲۴، ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) (جدول ۴). بیشترین مقدار کاهش در شرایط استفاده از بالاترین سطح کاربرد کود نیتروژن رخ داد.

کاهش بیشتر عملکرد دانه به‌واسطه‌ی تنش آبی در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با کاربرد کمتر نیتروژن، نشان داد که گیاهانی که کود نیتروژن زیادی دریافت کرده‌اند، حساسیت بیشتری به تنش خشکی داشتند. یافته‌های برخی دیگر از پژوهشگران در مورد گندم نان (Pandy et al., 2001a)، گندم دوروم (Niazi-Ardakani et al., 2008) (Ercoli et al., 2008) و جو (L. Barati et al., 2015; 2020) نیز نتایج پژوهش حاضر در مورد تریتیکاله را تایید می‌کند. هم‌روند با نتایج این آزمایش، فردریک و کامبراتو (Frederick and Camberato 1995) در پژوهشی بر روی گندم نان نتیجه‌گیری کردند که در شرایط مطلوب رطوبتی بالاترین عملکرد دانه با مصرف مقدارهای بالای کود نیتروژن به‌دست آمد. اما، در شرایط تنش آبی کاربرد سطوح بالای نیتروژن سبب افزایش حساسیت به تنش آبی و کاهش عملکرد دانه شد. بنابراین، با توجه به نتایج پژوهش حاضر در مورد تریتیکاله و نتایج پژوهش‌های دیگر در مورد سایر غلات، سطح بهینه‌ی کاربرد کود نیتروژن بستگی به رژیم آبیاری و فهم دقیق پاسخ گیاه به اثر متقابل آب و کود نیتروژن دارد.

اثر برهمکنش تیمار رژیم آبیاری $\times$ سیلیکون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه (۵۰۲۱ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد سیلیکون بود و کمترین عملکرد دانه (۲۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده سیلیکون به‌دست آمد (جدول ۵). این برهمکنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش عملکرد دانه در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، مقدار کاهش در شرایط عدم کاربرد (۴۳ درصد) بیشتر از مقدار کاهش در شرایط کاربرد سیلیکون (۲۸ درصد) بود (جدول ۵). کاربرد سیلیکون بسته به این‌که در چه مرحله‌ای از رشد و نمو غلات در شرایط تنش استفاده شود، ممکن است اجزای متفاوتی از عملکرد دانه را متاثر کند. استفاده از آن در مراحل پس از گلدهی می‌تواند با کاهش اثرات مخرب تنش آبی سبب افزایش جذب عناصر، شاخص سطح برگ و دوام آن، میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه شده و در نهایت بر وزن دانه و عملکرد دانه تاثیرگذار باشد.

(Mussa, 2006) در شرایط مطلوب و تنش نیز مشاهده شده است، که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. بین و همکاران (Yin et al., 2014) دلیل افزایش شاخص کلروفیل و به دنبال آن تاخیر در پیری را افزایش میزان پلی‌آمین‌ها در گیاه سورگوم تیمار شده با سیلیکون دانستند.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار ارتفاع بوته را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۸۳ و ۱۰۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). فراهمی نیتروژن سبب ازدیاد تقسیم سلولی و در نهایت افزایش تعداد گره‌ها می‌شود. چنانچه در دسترس بودن نیتروژن هم‌زمان با فراهمی آب باشد، باعث طولیل شدن سلول‌ها، افزایش طول میانگره‌ها و در نهایت ارتفاع بوته می‌شود (Wallace et al., 2017).

کاربرد برگی سیلیکون و رژیم آبیاری ارتفاع بوته را تحت تاثیر قرار ندادند (جدول ۲). علت عدم تاثیر این دو تیمار بر ارتفاع بوته، اعمال آن‌ها در مرحله‌ای از نمو گیاه (مرحله‌ی گلدهی) بود که بیشینه‌ی ارتفاع بوته وجود داشت. اگرچه نتایج برخی از پژوهشگران تاثیر مثبت سیلیکون (Gong et al., 2003) و تاثیر منفی تنش آبی بر ارتفاع بوته در مراحل رشد رویشی را نشان می‌دهد، نتایج مطالعه‌ی نیازی و همکاران (Niazi-Ardakani et al., 2020) نشان داد که اعمال تنش آبی پس از مرحله‌ی گلدهی تاثیری بر ارتفاع بوته گیاه جو نداشت.

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول سنبله به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار طول سنبله را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۱۱۳ و ۱۶۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش فراهمی نیتروژن در مرحله‌ی برجستگی دوگانه و پس از آن در طول مرحله‌ی گل‌انگیزی سبب افزایش سرعت آغازش سنبلك‌ها شده و نهایتاً طول سنبله افزایش یافته و تعداد بیشتری سنبلك بالغ بر روی سنبله شکل می‌گیرد (Hay and Walker, 1989). برخی دیگر از مطالعات بر روی گندم (Ajam-Norozi et al., 2016) و جو (Niazi-Ardakani et al., 2020) نیز نشان داده‌اند که کاربرد نیتروژن در مراحل رویشی غلات سبب افزایش طول سنبله شده است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش تیمار رژیم آبیاری $\times$ کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۷۰۹۸ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، ارتفاع بوته، طول سنبله و شاخص کلروفیل تریتیاله
Table 2- The ANOVA's mean squares of grain yield, biomass yield, harvest index, 1000-grain weight, seed no. per spike, spike no. m⁻², plant height, spike length and chlorophyll index of triticale

S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	طول سنبله Spike length	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله Spike no. m ⁻²	تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیست توده Biomass yield	عملکرد دانه Grain yield
Replication (R)	2	43.078 ^{ns}	17.433 ^{ns}	4.366 ^{ns}	0.472 ^{ns}	22.314 ^{ns}	0.164 ^{ns}	8.475 ^{ns}	103143.8 ^{ns}	89219.6 ^{ns}
Irrigation Regime (Ir)	1	15.603 ^{ns}	58.523 ^{ns}	208.803 ^{ns}	4400.111 ^{ns}	97.023 ^{ns}	920.212 ^{**}	873.203 ^{**}	23691745.0 [*]	28026436.0 ^{**}
Error (a)	2	6.616	4.251	48.466	643.444	56.470	0.677	3.001	854706.3	16120.3
Silicon (Si)	1	180.096 [*]	229.523 ^{ns}	41.603 ^{ns}	65.610 ^{ns}	50.647 ^{ns}	17.098 ^{**}	91.840 ^{**}	411458.1	1408969.0 ^{**}
N Fertilizer (N)	2	1029.770 ^{**}	12538.233 ^{**}	9589.893 ^{**}	138859.524 ^{**}	674.569 ^{**}	41.836 ^{**}	80.301 ^{**}	355261446.0 ^{**}	40628495.3 ^{**}
Ir × Si	1	1.232 ^{ns}	7.563 ^{ns}	11.903 ^{ns}	51.840 ^{ns}	7.023 ^{ns}	25.959 ^{**}	33.063 ^{**}	2234177.9 [*]	1089936.0 [*]
Ir × N	2	3.658 ^{ns}	5.048 ^{ns}	37.353 ^{ns}	402.041 ^{ns}	14.661 ^{ns}	47.980 ^{**}	31.303 ^{**}	8024874.2 ^{**}	5672250.3 ^{**}
Si × N	2	6.109 ^{ns}	35.648 ^{ns}	7.898 ^{ns}	837.103 ^{ns}	2.586 ^{ns}	0.643 ^{ns}	0.021 ^{ns}	18301.3 ^{ns}	37657.8 ^{ns}
Ir × Si × N	2	0.389	0.423 ^{ns}	5.948 ^{ns}	1677.330 ^{ns}	3.626 ^{ns}	3.406 ^{ns}	0.223 ^{ns}	247662.0 ^{ns}	81999.8 ^{ns}
Error (b)	20	24.123	68.513	31.547	1023.004	14.852	1.956	3.879	436362.8	167781.7
CV ^ε (%)	-	9.3	11.3	6.9	8.8	12.1	4.0	5.3	5.3	9.8

^{ns}, * and ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.
ε: Coefficient of variation

جدول ۳- اثرات رژیم آبیاری، کود نیتروژن و سیلیکون بر شاخص کلروفیل، طول سنبله، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله تریتیکاله

Table 3- Effects of irrigation regime, N fertilizer and silicon on chlorophyll index, spikes length, plant height, spike no. m⁻² and seed no. per spike of triticale

Irrigation regime	رژیم آبیاری	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	طول سنبله Spike length (mm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در مترمربع Spike no. m ⁻²	تعداد دانه در سنبله Grain no. per spike
Without water stress	بدون تنش آبی	52.2 a	74.7 a	83.9 a	374.1 a	33.6 a
With water stress	با تنش آبی	53.6 a	72.1 a	79.1 a	352.0 a	30.3 a
N fertilizer						
N ₀	کود نیتروژن شاهد [£]	42.6 c	38.0 c	49.6 c	242.5 c	23.4 b
N ₁₀₀	۱۰۰ ££	55.6 b	81.0 b	91.5 b	397.7 b	34.9 a
N ₁₅₀	۱۵۰ ¥	60.5 a	101.3 a	103.4 a	449.1 a	37.5 a
Silicon application						
0 mM	شاهد	50.7 b	70.9 a	80.4 a	364.4 a	30.7 a
3 mM	۳ میلی‌مولار	55.1 a	75.9 a	82.5 a	361.7 a	33.1 a

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (شاهد)، ££: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ¥: ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار.

Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test. N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kg N ha⁻¹; N₁₅₀, 150 kg N ha⁻¹ and mM, millimolar.

جدول ۴- اثر برهمکنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن بر وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

Table 4- Interaction effect of irrigation regime × nitrogen on 1000-grain weight, biomass yield, harvest index and grain yield of triticale

رژیم آبیاری Irrigation regime	N fertilizer	کود نیتروژن	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)
بدون تنش آبی Without water stress	N ₀	شاهد [£]	40.2 a	5342 d	43.2 a	2301 d
	N ₁₀₀	۱۰۰ ££	40.2 a	13350 bc	41.9 a	5592 b
	N ₁₅₀	۱۵۰ ¥	40.4 a	17228 a	41.2 a	7098 a
با تنش آبی With water stress	N ₀	شاهد [£]	33.1 b	4756 d	36.2 b	1737 e
	N ₁₀₀	۱۰۰ ££	31.6 b	12576 c	32.7 c	4128 c
	N ₁₅₀	۱۵۰ ¥	25.8 c	13720 b	28.0 d	3833 c

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، ££: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ¥: ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار.

The Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test. N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kgN.ha⁻¹; N₁₅₀, 150 kgN.ha⁻¹.

سپس در مرتبه بعدی با تعداد دانه در سنبله (۰/۴۳۸^{ns}) نشان داد (جدول ۶).

در شرایط بدون تنش آبی، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با تعداد سنبله بارور در متر مربع (۰/۹۱۲^{**}) و سپس در مرتبه‌ی بعدی با تعداد دانه در سنبله (۰/۷۲۷^{**}) داشت. در مقابل در شرایط با تنش آبی، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با وزن هزار دانه (۰/۶۸۹^{*}) و

جدول ۵- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × کاربرد سیلیکون بر وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله
Table 5- Interaction effect of irrigation regime × silicon application on 1000-grain weight, biomass yield, harvest index and grain yield of triticale

رژیم آبیاری Irrigation regime	کاربرد سیلیکون Silicon application	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)
بدون تنش آبی Without water stress	بدون سیلیکون ^E Without silicon	40.4 a	12115 a	41.5 a	4973 a
	با سیلیکون ^{EE} With silicon	40.1 a	11831 a	42.7 a	5021 a
با تنش آبی With water stress	بدون سیلیکون ^E Without silicon	28.6 d	9994 c	29.7 c	2860 c
	با سیلیکون ^{EE} With silicon	31.7 c	10706 b	34.8 b	3604 b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. E: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، EE: ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، ¥: ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار

The Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test. N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kg N ha⁻¹; N₁₅₀, 150 kg N ha⁻¹

تعداد سنبله بارور در متر مربع

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر کود نیتروژن بر تعداد سنبله بارور در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار تعداد سنبله در مترمربع را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به مقدار ۶۴ و ۸۵ درصد افزایش داد. بیشترین تعداد سنبله بارور در مترمربع (۴۴۹/۱) در بالاترین سطح کود نیتروژن حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و شاهد داشت (جدول ۳). افزایش میزان نیتروژن در دسترس گیاه در مراحل برجستگی دوگانه و گل‌انگیزی باعث تحریک رشد رویشی و افزایش پنجه‌زنی در بوته می‌گردد (Hay and Walker, 1989).

تنش آبی تعداد سنبله در مترمربع را نسبت به تیمار آبیاری مطلوب به‌طور جزئی (۶ درصد) کاهش داد (جدول ۳). تنش‌های آبی در مرحله‌ی رویشی سبب ایجاد اختلال در تمایز یافتن پنجه‌ها و یا سقط شدن پنجه‌های نو ظهور می‌شود (McMaster et al., 1994). همچنین، کمبود رطوبت در مرحله‌ی گلدهی، تعداد پنجه‌های بارور را احتمالاً به‌دلیل عدم تلقیح مناسب گلچه‌ها کاهش می‌دهد (Barati and Ghadiri, 2016). اما، در آزمایش حاضر تنش آبی پس از مرحله‌ی گلدهی اعمال شد. بنابراین، تأثیر جزئی و غیرمعنی‌دار بر تعداد سنبله در مترمربع گذاشت.

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (۳۷/۵ دانه در سنبله) و کمترین آن مربوط به شاهد نیتروژن (۲۳/۴ دانه در سنبله)

بود (جدول ۳). تعداد گلچه‌ها در هر سنبله در فاصله‌ی زمانی بین مرحله‌ی طویل شدن ساقه و ظهور سنبله تعیین می‌شود (Li et al., 2001). بنابراین، تعداد دانه در سنبله می‌تواند تحت تأثیر دسترسی به آب و نیتروژن در این دوره باشد. اما، برخی دیگر از پژوهشگران (Christen et al., 1995; Bindraban et al., 1998) معتقدند که حساس‌ترین مرحله‌ی تأثیرپذیری تعداد دانه در سنبله از عوامل محیطی حد فاصل مرحله‌ی ظهور برگ پرچم تا انتهای گلدهی است. در آزمایش حاضر با این که تنش آبی پس از مرحله‌ی گلدهی اعمال شد، اما کاهش جزئی تعداد دانه در سنبله می‌تواند ناشی از تأثیر تنش آبی بر سنبله‌های نو ظهور ثانویه‌ای باشد که در قسمت‌های پایینی گیاه شکل گرفته‌اند.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری و کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). برهم‌کنش تیمار آبیاری × کود نیتروژن نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، کاربرد کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت. اما، در شرایط تنش آبی، کاربرد بالاترین سطح کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌دار و به مقدار ۲۲ درصد نسبت به شاهد نیتروژن کاهش داد (جدول ۴). بررسی این برهم‌کنش از منظر دیگر، نشان داد که تنش آبی سبب کاهش وزن هزار دانه شد. اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کود نیتروژن متفاوت بود (۱۸، ۲۱ و ۳۶ درصد به‌ترتیب در تیمار شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) که بیشترین کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن رخ داد (جدول ۴).

۶). این نتایج نشان می‌دهد که کاهش عملکرد به‌واسطه‌ی تنش آبی اساساً به‌واسطه‌ی کاهش در وزن هزار دانه است. این نتیجه‌گیری منطقی به نظر می‌رسد. زیرا، با قطع آبیاری پس از گلدهی، تنش آبی در مراحل پیشرفته‌تری از زندگی گیاه که پنجه‌های درجه دو یا سه در حال شکل‌گیری هستند، تشدید شده و در چنین شرایطی دانه‌های شکل گرفته در این پنجه‌ها نمی‌توانند به‌طور کامل پر شوند و در نهایت وزن دانه‌ها و عملکرد دانه کاهش می‌یابد. از دیگر عوامل کاهنده‌ی وزن هزار دانه کاهش تعداد سلول‌های اندوسپرم به‌واسطه کمبود آسمیلات در شرایط تنش است (Voltas *et al.*, 1997). علاوه بر این، اختلال در انتقال و یا انتقال مجدد آسمیلات به دانه‌ها یا محدود شدن طول دوره‌ی انتقال از عوامل کاهش وزن دانه‌ها است (Voltas *et al.*, 1998).

معمولاً، کاهش وزن هزار دانه در مناطقی که با تنش رطوبتی انتهایی روبه‌رو هستند، به علت محدودیت منبع رخ می‌دهد. کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن به‌واسطه‌ی افزایش سطح برگ و به دنبال آن افزایش سرعت تخلیه‌ی رطوبت از پروفیل خاک سبب تشدید اثرات مخرب تنش آبی انتهایی فصل می‌شود (Frederick and Camberato, 1994). این تنش آبی تشدید شده سبب کاهش بیشتر میزان فتوسنتز و انتقال مجدد مواد پرورده از اندام‌های رویشی به دانه شده و در نهایت سبب کاهش بیشتر وزن هزار دانه خواهد شد (Frederick and Camberato, 1994; Ercoli *et al.*, 2008).

همبستگی بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه در شرایط تنش آبی (* $0/689$) معنی‌دار و بیشتر از همبستگی آن با تعداد دانه در سنبله ($0/438^{ns}$) و تعداد پنجه بارور در متر مربع ($-0/056^{ns}$) بود (جدول

جدول ۶- همبستگی ساده بین عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در شرایط متفاوت رطوبتی
Table 6- Simple correlation between grain yield and its related traits under different irrigation regimes

رژیم آبیاری Irrigation regime	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	طول سنبله Spike length (mm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله بارور مربع در متر Spike no. m ⁻²	تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield (kg. ha ⁻¹)
بدون تنش آبی without water stress	0.755**	0.951**	0.960**	0.912**	0.727**	0.361 ^{ns}	0.175 ^{ns}	0.930**
با تنش آبی with water stress	0.533 ^{ns}	0.162 ^{ns}	0.392 ^{ns}	-0.056 ^{ns}	0.438 ^{ns}	0.689*	0.872**	0.492 ^{ns}

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

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

برخی دیگر از پژوهشگران نیز کاهش مقدار عملکرد زیست‌توده به علت تنش آبی پس از گلدهی را گزارش کرده‌اند (Niazi-Ardakani *et al.*, 2020). کاهش بیشتر عملکرد زیست‌توده در بالاترین سطح کود نیتروژن را می‌توان به حساسیت بیشتر گیاه و محدودیت بیشتر فتوسنتز نسبت داد (Frederick and Camberato 1995).

برهمکنش رژیم آبیاری × سیلیکون بر عملکرد زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این برهمکنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون شد. اما، مقدار کاهش در شرایط کاربرد و عدم کاربرد متفاوت بود (۱۰ و ۱۸ درصد به ترتیب در شرایط کاربرد و عدم کاربرد سیلیکون). کاهش کمتر در شرایط استفاده از سیلیکون نشان از تحمل بیشتر بوته‌ها به تنش آبی و فتوسنتز بیشتر بوده‌است. برخی دیگر از پژوهشگران از جمله گانگ و همکاران (Gong *et al.*, 2005) نیز مشاهده کردند که تنش رطوبتی سبب کاهش فتوسنتز شد.

عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت

عملکرد زیست‌توده به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمار آبیاری مطلوب و بالاترین سطح کود نیتروژن (۱۷۲۲۸ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین عملکرد زیست‌توده نیز در تیمار تنش آبی و شاهد نیتروژن (۴۷۵۶ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). بررسی این برهمکنش نشان داد که تنش آبی سبب کاهش عملکرد زیست‌توده در همه سطوح کود نیتروژن شد. اما، مقدار این کاهش‌ها در سطوح مختلف کود نیتروژن یکسان نبود (۱۱، ۶ و ۲۰ درصد به ترتیب در تیمار شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) که بیشترین کاهش در بالاترین سطح کود نیتروژن رخ داد (جدول ۴). کاهش عملکرد زیست‌توده به‌واسطه‌ی تنش آبی شدید پس از گلدهی می‌تواند به‌واسطه‌ی کاهش فتوسنتز در این شرایط باشد (Wall *et al.*, 2011). هم‌روند با نتایج این مطالعه،

برداشت را افزوده است. همروند با این مطالعه، برخی دیگر از پژوهشگران (Reza-beigi, 2019) نیز افزایش شاخص برداشت گندم نان و دوروم در شرایط تنش آبی به واسطه‌ی کاربرد سیلیکون را گزارش کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تنش آبی تعداد پنجه بارور در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش داد. اما، این کاهش در وزن هزار دانه شدید و در بالاترین سطح کود نیتروژن در مقایسه با سایر سطوح نیتروژن بیشترین (۳۶ درصد) بود. کاربرد برگی سیلیکون سبب کاهش اثرات تنش و در نتیجه بهبود وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل، عملکرد زیست‌توده و در نهایت شاخص برداشت و عملکرد دانه شد. عملکرد دانه در شرایط تنش آبی و عدم کاربرد سیلیکون با ۴۳ درصد کاهش نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به ۲۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار رسید. در صورتی که در شرایط کاربرد ۳ میلی‌مولار سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی کاهش عملکرد دانه ۲۸ درصد نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی بود و عملکرد دانه به ۳۶۰۴ کیلوگرم بر هکتار رسید. بنابراین، با توجه به نتایج، کاربرد برگی سیلیکون در مرحله‌ی گلدهی در مناطق جنوب استان فارس که مستعد تنش آبی پس از گلدهی هستند، قابل توصیه است. در شرایط مطلوب رطوبتی، بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد (۷۰۹۸ کیلوگرم بر هکتار). تنش آبی عملکرد دانه را در سطوح مختلف نیتروژن به‌طور متفاوتی کاهش داد (۲۴، ۲۶ و ۴۶ درصد کاهش به‌ترتیب در شاهد، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار). بنابراین، با توجه به افزایش حساسیت بوته‌ها به تنش آبی در بالاترین سطوح کود نیتروژن، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار در شرایط قطع آبیاری پس از گلدهی برای دستیابی به بالاترین عملکرد تربیتی‌کاله (۴۱۲۸ کیلوگرم بر هکتار) توصیه می‌شود.

اما، استفاده از سیلیکون اثر تنش رطوبتی را کاهش داده و میزان فتوسنتز در شرایط تنش آبی را افزایش داد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری × کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). این برهمکنش نشان داد که کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن سبب کاهش شاخص برداشت نسبت به شاهد نیتروژن در هر دو شرایط رطوبتی شد. مقدار این کاهش در شرایط مطلوب رطوبتی جزئی و غیر معنی‌دار بود. اما، در شرایط تنش آبی، شدید و معنی‌دار بود (۱۰ و ۲۳ درصد در شرایط کاربرد به‌ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) (جدول ۴). کاهش شدید شاخص برداشت به‌واسطه‌ی کاربرد بالای کود نیتروژن نسبت به شاهد نیتروژن در شرایط تنش آبی ممکن است به پدیده‌ی "hay off" نسبت داده شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که مقدار زیاد کود نیتروژن در مراحل رویشی غلات و در شرایط محدودیت آب در انتهای فصل به‌کار برده شود. در چنین شرایطی زیست‌توده زیادی شکل گرفته و آب موجود در پروفایل خاک زودتر تخلیه شده و مراحل انتهایی گیاه با تنش شدیدتری روبه‌رو خواهد شد (Van Herwaarden et al., 1998). این تنش شدیدتر سبب کاهش بیشتر فتوسنتز و محدودیت در انتقال و انتقال مجدد مواد پرورده به دانه‌ها شده و باعث کاهش وزن آن‌ها خواهد شد و در نهایت نسبت وزن دانه به زیست‌توده (شاخص برداشت) کاهش بیشتری می‌یابد.

شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم آبیاری × سیلیکون قرار گرفت (جدول ۲). در این برهمکنش، تنش آبی شاخص برداشت را هر دو تیمار با کاربرد و بدون کاربرد سیلیکون کاهش داد (به‌ترتیب ۱۹ و ۲۸ درصد). اما، مقدار کاهش در شرایط استفاده از سیلیکون کمتر بود (جدول ۵). کاهش شدت تنش پس از گلدهی به‌واسطه‌ی استفاده از سیلیکون سبب افزایش عملکرد دانه در هر پنجه شده و در نهایت شاخص

References

1. Ajam-noroozi, H., Dadashi, M. R., Faraji, A., Mosanaiey, H., and Pessarakli, M. 2016. The simultaneous effect of seed quality, plant density, and nitrogen fertilizer on physiological and yield characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research 11 (44): 20-32. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, A. 2001. Soil-water-plant relationship. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (in Persian).
3. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guide lines for computing crop water requirements (Irrigation and Drainage Paper 56) Food and Agriculture Organization, Rome.
4. Barati, V., and Ghadiri, H. 2016. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and protein content of two barley cultivars. Journal of Crop Production and Processing 6 (20): 191-207. (in Persian with English abstract).
5. Barati, V., and Ghadiri, H. 2017. Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and two-rowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. Archives of Agronomy and Soil Science 63 (6): 841-855.

6. Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., and Karimian, N. 2015. Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid mediterranean climate. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61 (1): 15-32.
7. Bindraban, P. S., Sayre, K. D., and Soils-Moya, E. 1998. Identifying factors that determine kernel number in wheat. *Field Crops Research* 58: 223-234.
8. Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph.D. Dissertation, Technical University of Munich, Germany.
9. Christen, O., Sieling, K., Richter-Harder, H., and Hanus, H. 1995. Effects of temporary water stress before anthesis on growth, development and grain yield of spring wheat. *European Journal of Agronomy* 4: 27-36.
10. Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., and Arduini, I. 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy* 28: 138-147.
11. Fallah, A., Visperas, R. M., and Alejar, A. A. 2004. The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). *Philippine Agricultural Scientist* 87: 174-176.
12. Frederick, J. R., and Camberato, J. J. 1994. Leaf net CO₂-exchange rate and associated leaf traits of winter wheat grown with various spring nitrogen fertilization rates. *Crop Science* 34: 432-439.
13. Fredrick, J. R., and Camberato, J. J. 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat Southeastern central plain. I. Grain yield and kernel traits. *Agronomy Journal* 87: 521-526.
14. Gong, H. J., Chen, K. M., Chen, G. C., Wang, S. M., and Zhang, C. L. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal of Plant Nutrition* 26: 1055-1063.
15. Gong, H. J., Zhu, X. Y., Chen, K. M., Wang, S., and Zhang, C. L. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Journal of Plant Science* 169: 313-321.
16. Grimes, D., Yamada, H., and Hughes, S. 1987. Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. *Agricultural Water Management* 12: 293-304.
17. Hanson, B., Schwankl, L., and Fulton, A. 2004. Scheduling Irrigation: When and How Much Water to Apply. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, California, USA.
18. Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxova, M., and Lux, A. 2005. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum* 123 (4): 459-466.
19. Hay, R. K. M., and Walker, A. J. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical, Harlow, England.
20. Latiri-Souki, K., Nortcliff, S., and Lawlor, D. W. 1998. Nitrogen fertilizer can increase dry matter, grain production and radiation and water use efficiencies for durum wheat under semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy* 9: 21-34.
21. Li, C., Cao, W., and Dai, T. 2001. Dynamic characteristics of floret primordium development in wheat. *Field Crops Research* 71: 71-76.
22. Li, S. X., Wang, Z. H., Malhi, S. S., Li, S. Q., Gao, Y. J., and Tian, X. H. 2009. Nutrient and water management effects on crop production, and nutrient and water use efficiency in dryland Areas. *Advance in Agronomy* 102: 223-265.
23. Mc-Master, G. S., Wilhelm, W.W., and Bartling, P. N. S. 1994. Irrigation and culm contribution to yield and yield components of winter wheat. *Agronomy Journal* 86 : 1123-1127.
24. Mussa, H. R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt stressed maize (*Zea mayz* L.). *Agriculture and Biology Journal* 2: 293-297.
25. Niazi-ardakani, M., Barati, V., Bijanzadeh, E., and Behpoori, A. 2020. Effects of different nitrogen fertilizer sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress conditions. *Agroecology* 12 (1): 107-126. (in Persian with English abstract).
26. Pandey, R. K., Maranville, J. W., and Admou, A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy* 15: 93-105.
27. Reza-beigi, S. 2019. Effect of foliar application of silicon on yield and yield components of wheat cultivars under late season water stress. M.Sc. Thesis, Shiraz University.
28. SAS. 2004. Statistical analysis software. Version 9. Cary (NC): SAS Institute.
29. Siosemarde, A., Fateh, H., and Badakhshan H., 2014. Responses of photosynthesis, cell membrane stability and antioxidative enzymes to drought stress and nitrogen fertilizer in two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under controlled condition. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12 (2): 215-228. (in Persian with English abstract).
30. Taiz, L., and Zeiger, E. 2010. Plant physiology. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
31. Tale, A., and Haddad, R. 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47: 17-27.

32. Van Herwaarden, A., Farquhar, G., Angus, J., Richards, R., and Howe, G. 1998. 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 1067-1082.
33. Voltas, J., Romagosa, I., and Araus, J. L. 1997. Grain size and nitrogen accumulation in sink-reduced barley under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 52: 117-126.
34. Voltas, J., Romagosa, I., and Araus, J. L. 1998. Growth and final weight of central and lateral barley grains under Mediterranean conditions as influenced by sink strength. *Crop Science* 38: 84-89.
35. Wall, G. W., Garcia, R. L., Wechsung, F., and Kimball, B. A. 2011. Elevated atmospheric CO₂ and drought effects on leaf gas exchange properties of barley. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 144: 390-404.
36. Wallace, J., Frick, B. L., Telford, L., and Martens, J. T. 2017. *Organic Field Crop Handbook*. Canadian Organic Growers, Ottawa, Ontario, Canada.
37. Yin, L. N., Wang, S. W., Liu, P., Wang, W. H., Cao, D., Deng, X. P., and Zhang, S. Q. 2014. Silicon mediated changes in polyamine and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid are involved in silicon-induced drought resistance in *Sorghum bicolor* L. *Plant Physiology and Biochemistry* 80: 268-277.
38. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.



Grain Yield and its Components of Triticale as Affected by Silicon Foliar Application, Nitrogen Fertilizer and Water Stress in Reproductive Phase

V. Barati^{1*}, E. Bijanzadeh²

Received: 27-08-2020

Accepted: 03-01-2021

Introduction

In the dry climate of southern Iran including Fars province, most precipitation occurs in winter, thus winter cereals such as triticale (*Triticosecale* Wittmack) experience water shortage at booting, flowering and grain filling stages in spring. The booting, flowering and grain filling periods are the most sensitive stages to water deficit. Nitrogen fertilizer application is a farmer's common practice to increase yield, but its performance depends mainly on soil water status than the amount and timing of N applications. On the other hand, matching N fertilization with crop water availability is essential for achieving acceptable grain yield. Farmers of southern Iran use N fertilizer beyond the recommended rate. High N fertilizer application in dry areas that water availability limitations frequently occurred during the grain filling stage of cereals increased severity of water stress. Some authors reported that the silicon application reduces the destructive effects of drought stress by physiological, biochemical, and physical mechanisms (Hattori *et al.*, 2005). Therefore, silicon foliar application may decrease water stress severity, especially in high N crops. Therefore, the aims of this study were to investigate the effects of silicon foliar application, different N rates and irrigation regimes on triticale yield in an arid area of southern Iran (Fars province).

Materials and Methods

This research was conducted at the experimental farm of the Darab Agricultural Faculty of Shiraz University. A split factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was carried out in the 2017-2018 growing season. Treatments included two levels of irrigation as the main plots [normal irrigation; irrigation based on the plant's water requirement up to the physiological maturity (IR_N) and deficit irrigation; irrigation based on the plant's water requirement up to the anthesis stage (cutting of irrigation after anthesis) (IR_{DI})]. Also, sub plots were two levels of silicon foliar application [0, and 3 mM] and three N fertilizer levels [N_0 , no nitrogen fertilizer (control); N_{100} , 100 kg N ha⁻¹; N_{150} , 150 kg N ha⁻¹]. Biological yield, grain yield, yield components, plant height, spike length and chlorophyll index of flag leaf were measured. Then, the harvest index (HI) was calculated. Data were analyzed by using SAS 9.1 software (SAS Institute, 2004) and the means were compared using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the IR_{DI} could cause severe water stress in the grain-filling period of the triticale life cycle and consequently reduction of 1000-grain weight, number of grains per spike and number of fertile tillers per m². However, this reduction was more severe for 1000-grain weight than the other grain yield components and was not constant in different N fertilizer levels (18%, 21% and 36% reduction for N_0 , N_{100} and N_{150} kg N ha⁻¹). Foliar silicon application decreased severity of late-season water stress and consequently improved 1000-seed weight, chlorophyll index, biological yield and finally HI and grain yield. With respect to grain yield, under IR_N conditions, the highest grain yield was achieved by N_{150} . Water stress decreased grain yield as a function of N fertilizer (24%, 26% and 46% reduction for N_0 , N_{100} and N_{150} kg N ha⁻¹). Therefore, application of N_{100} could be acceptable for IR_{DI} conditions.

Conclusions

According to the results of this study, the highest triticale grain yield (7098 kg ha⁻¹) achieved by N_{150} in normal irrigation. The IR_{DI} significantly decreased triticale grain yield at all N levels as compared with IR_N . However, this reduction was different in N fertilizer rates (24%, 26% and 46% reduction for N_0 , N_{100} and N_{150}). Therefore, the highest grain yield under IR_{DI} conditions (4128 kg ha⁻¹) was observed in N_{100} . Therefore, with respect to environmental and economical considerations application of 100 and 150 kg N ha⁻¹ were recommended for late-season water stress and normal irrigation conditions, respectively. Silicon foliar application decreased the severity of water stress and consequently increased grain yield (26%) under IR_{DI}

1- Assistant Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz

2- Associate Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz

(*- Corresponding Author Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

conditions. Therefore, the application of 3 mM of silicon at the anthesis stage is recommended for farms of triticale that expose to late-season water stress in southern Iran (Fars province).

Keywords: Biomass yield, Chlorophyll, Harvest index, Mean kernel weight



مقاله پژوهشی

اثر کنترل علف‌های هرز بر رشد و عملکرد محصول در کشت مخلوط افزایشی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) و سیب‌زمینی (*Solanum tubersum* L.)

محمد جلالی^۱، سید وحید اسلامی^{۲*}، سهراب محمودی^۲، احمد آئین^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر کنترل علف‌های هرز بر رشد و عملکرد محصول کینوا در کشت مخلوط افزایشی کینوا و سیب‌زمینی، به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو منطقه جیرفت و کهنوج در سال ۱۳۹۷ انجام پذیرفت. تیمارهای کنترل علف‌های هرز (عدم کنترل (شاهد)، وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات) در کرت اصلی و تیمارهای کشت مخلوط افزایشی کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵، ۵:۱۰، ۵:۱۵، ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع همراه با کشت‌های خالص کینوا (۳۰ بوته در متر مربع) و سیب‌زمینی (۵ بوته در مترمربع) در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، شاخص سطح برگ، زمان گلدهی، زمان بلوغ سنبله، زمان برداشت، میانگین بذر در بوته، عملکرد کینوا، عملکرد سیب‌زمینی و شاخص نسبت برابری زمین (LER) مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج، شاخص‌های رشدی و عملکرد کینوا در شرایط آب و هوایی کهنوج بیش‌تر از جیرفت بود. همچنین، با وجود تأثیر مثبت هر دو روش کنترل علف‌های هرز بر شاخص‌های مورد بررسی، تأثیر وجین‌دستی علف‌هرز در بهبود رشد و عملکرد کینوا بیش‌تر از علف‌کش پاراکوات بود. کشت مخلوط موجب افزایش معنی‌دار تعداد برگ در بوته، سطح برگ و میانگین بذر در هر بوته و کاهش میزان تراکم علف‌های هرز گردید. به‌طوری‌که بیش‌ترین (۱۹ گرم) و کم‌ترین (۱۳/۹ گرم) میانگین وزن بذر در بوته به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط با تراکم‌های ۵:۲۰ بوته و ۵:۵ بوته در مترمربع به‌دست آمد. با این وجود بیش‌ترین میزان عملکرد بذر کینوا (۴۹۵۷ و ۴۸۶۳ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص کینوا و کشت مخلوط با تراکم‌های ۵:۳۰ بوته در مترمربع حاصل شد. همچنین، با افزایش تراکم در کشت مخلوط، میزان عملکرد غده سیب‌زمینی و شاخص LER کل افزایش یافت. بیش‌ترین میزان LER کل تحت تیمار کشت مخلوط ۳۰:۵ بوته در مترمربع در کهنوج حاصل گردید. در مجموع بهترین نتایج در تیمار کشت مخلوط ۵:۳۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد که قابلیت توصیه به کشاورز در دو منطقه جیرفت و کهنوج را دارد.

واژه‌های کلیدی: پاراکوات، تراکم علف‌های هرز، سیستم چندکشتی، کشت خالص، وجین‌دستی

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی یک‌ساله، دو لپه، آلوتراپلوئید ($2n=4x=36$) و خودگرده‌افشان (دگرگرده‌افشانی در آن ۱۰ تا ۱۷ درصد) از خانواده تاج‌خروسیان^۴ و زیر خانواده اسفناجیان^۵ بوده که جزو شبه‌غلات تقسیم‌بندی می‌شود (Adolf et al., 2012; González et al., 2015; Gomez Pando et al., 2015; Tavoosi et al., 2017). منشأ آن کوه‌های آند در آمریکای جنوبی می‌باشد و به‌عنوان محصولی دانه‌ای با سازگاری وسیع و ارزش

غذایی و بیولوژیکی فراوان بوده که در کشورهای آمریکای جنوبی به "خاویار سبز" معروف است (Tavoosi et al., 2017; Walters et al., 2016). بذر کینوا منبعی غنی از عناصر غذایی، فیبر و پروتئین (۱۲/۹ تا ۱۶/۵ درصد) است که توانایی تأمین همه ۱۰ اسیدهای آمینه ضروری برای انسان را دارا می‌باشد؛ همچنین در مقایسه با جو (*Hordeum vulgare* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) دارای کلسیم، فسفر و آهن بیش‌تری است (Vega-Gálvez et al., 2010; Bastidas et al., 2016). در سال‌های اخیر به‌دلیل ارزش غذایی بالای آن در سرتاسر دنیا مقبولیت و تقاضا پیدا کرده است، که این افزایش تقاضا منجر به گسترش تولید آن در کشورهای مختلف شده است (Walters et al., 2016). تأثیرپذیری عمده محصولات زراعی از خشکی باعث رونق کینوا شده و در عین حال این گیاه، ضمن سازگاری با شرایط نامساعد محیطی، دارای پتانسیل بالای رشد و کاهش عملکرد کمتری در قیاس با سایر محصولات می‌باشد (Shahbazian et al., 2007). کینوا در ایران گیاهی جدید به‌شمار می‌رود و امکان کشت و تولید محصول مناسب آن در جنوب کرمان

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت

(*)- نویسنده مسئول: Email: sveslami@birjand.ac.ir

DOI: 10.22067/jcsc.2021.37173.0

4- Amaranthaceae

5- Chenopodiaceae

(جیرفت و کهنوج)، خوزستان، کرج و بلوچستان گزارش شده است (Sepahvand et al., 2011)؛ و از نظر تولید به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و امنیت غذایی خواهد شد (Jamali et al., 2016).

علف‌های‌هرز یکی از عوامل کاهش عملکرد محصولات زراعی قلمداد می‌شوند؛ به‌طوری‌که در جذب نور، آب و مواد غذایی با محصولات زراعی در رقابت می‌باشند که این رقابت پایدار معمولاً منجر به کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گردد (Guglielmini et al., 2017; Lowry and Smith, 2018). از یک‌سو غیریک‌نواخت بودن دوره‌ی رویش علف‌های‌هرز در طول فصل رشد و متفاوت بودن زمان رسیدن آن‌ها به حداکثر رشد (Liebman et al., 2004; Anderson, 2005)، کنترل علف‌های‌هرز را نیازمند چندین مرحله استفاده از علف‌کش‌ها کرده و از سوی دیگر اعتماد بیش‌تر کشاورزان به علف‌کش‌ها و عدم تمایل آن‌ها به استفاده از روش‌های مکانیکی و زراعی جهت کنترل علف‌های‌هرز کرده است (Bond and Lenartsom, 1999). بنابراین، لزوم استفاده از تمام شیوه‌های مدیریتی کنترل علف‌های‌هرز بیش از پیش ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو، سیستم کشت مخلوط در آفریقا، آمریکای جنوبی و بخشی از آسیا رایج شده است (Korres, 2018). سیستم کشت مخلوط شامل کشت دو یا تعداد بیش‌تری از گونه‌های گیاهی (یا ژنوتیپ) است که به‌طور هم‌زمان (یا تا حدی هم‌زمان) در یک مزرعه تولید می‌یابند، که این همزیستی در کشت مخلوط به‌نوعی متمایزکننده‌ی کشت مخلوط از کشت چرخشی و تک کشت آمیخته می‌باشد (Li et al., 2013). از جمله مزایای کشت مخلوط می‌توان به افزایش کمیت و کیفیت محصول (Putnam and Allan, 1992)، کاهش رشد علف‌های‌هرز (Korres, 2018) و کاهش مصرف سموم شیمیایی اشاره نمود. با توجه به مزایای کشت مخلوط، ارزش غذایی بالای کینوا و جدید بودن این محصول در ایران، این مطالعه با هدف بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی دو گیاه کینوا و سیب‌زمینی و روش کنترل علف‌های‌هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد محصول کینوا و میزان رشد علف‌های‌هرز در دو منطقه جیرفت و کهنوج طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو منطقه جیرفت (با عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا) و کهنوج (با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه شرقی با ارتفاع ۵۰۵ متری از سطح دریا) در سال ۱۳۹۷ به مرحله اجرا درآمد. اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی

دو منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. تراکم بهینه سیب‌زمینی ۵/۳ تا ۶/۶ بوته در متر مربع (Hassanpanah et al., 2018) و کینوا ۳۰ بوته در متر مربع (Wang et al., 2020) گزارش شده است. در این تحقیق، تیمارهای کنترل علف‌های‌هرز شامل عدم کنترل (شاهد)، وجین‌دستی (دوبار در طی ۳۰ روز پس از کشت) و کاربرد علف‌کش تماسی پاراکوات (سه روز پس از کشت کینوا به میزان سه لیتر در هکتار) در کرت اصلی و تیمارهای کشت مخلوط افزایشی کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵ (D5)، ۵:۱۰ (D10)، ۵:۱۵ (D15)، ۵:۲۰ (D20) و ۵:۳۰ (D30) بوته در مترمربع و کشت‌های خالص کینوا رقم تی‌تی‌کاکا (MQ) (۳۰ بوته در مترمربع) و سیب‌زمینی رقم سانته (MP) (با تراکم ۵ بوته در مترمربع) در کرت‌های فرعی قرار داده شد و تأثیر آن بر رشد و عملکرد کینوا در دو منطقه جیرفت و کهنوج بررسی گردید. به‌منظور ایجاد بستر مناسب بذر، در اوایل پاییز قبل از کاشت، زمین محل انجام آزمایش در هر دو منطقه تا عمق ۳۰ سانتی‌متر شخم زده شد و به‌منظور خرد کردن کلوخ‌ها و از بین بردن علف‌های‌هرز دو دیسک سطحی و عمود بر هم زده شد و در مرحله‌ی بعد از لولر جهت تسطیح زمین استفاده گردید. کشت غده‌های سیب‌زمینی (به‌عنوان کشت پایه) ضدعفونی شده با قارچ‌کش مانکوزب (با غلظت سه در هزار) در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک و فاصله ۲۵ سانتی‌متری از همدیگر روی ردیف‌های کشت و فاصله بین ردیف‌های کشت ۷۵ سانتی‌متر انجام پذیرفت. بذور کینوا رقم تیتیکاکا (رقم زودرس، بسیار متحمل به شرایط نامطلوب محیطی از جمله شوری، خشکی و سرما)، از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان تهیه گردید و در فواصل ردیف‌های کاشت سیب‌زمینی بسته به تراکم مورد نظر کشت گردید. کشت غده‌های سیب‌زمینی در جیرفت و کهنوج به‌ترتیب در تاریخ‌های ۵ و ۸ دی‌ماه و کشت کینوا با تأخیر پنج روزه نسبت به کشت سیب‌زمینی در هر دو منطقه (در تاریخ‌های ۱۰ دی‌ماه در جیرفت و ۱۳ دی‌ماه در کهنوج) انجام پذیرفت. آبیاری گیاهان به‌صورت قطره‌ای و بسته به مراحل رشد و نمو با دور ۳ تا ۷ روز انجام پذیرفت. پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هر کرت تعداد پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد برگ و سطح برگ اندازه‌گیری شد. تعداد روز تا رسیدن به گل‌دهی بر اساس ۵۰ درصد جمعیت گیاهی هر کرت با مشاهده چشمی ثبت و به‌عنوان روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی گزارش گردید. زمان بلوغ گیاه به‌عنوان مرحله‌ای از رشد که در آن کینوا تمام نمو خود شامل تولید بذر برای بقاء انجام داده باشد، به‌عنوان روز تا بلوغ ثبت شد. زمان برداشت کینوا با زرد و خشک‌شدن سنبله مشخص گردید. پس از حذف اثر حاشیه، سنبله‌های کینوا برداشت و عملکرد کینوا پس از جداسازی بذرها از سنبله‌ها محاسبه گردید. جهت تعیین تراکم علف‌های‌هرز، نمونه‌برداری در هر کرت با استفاده از یک

کوآدرات یک مترمربعی در دو زمان گل‌دهی و قبل از برداشت انجام پذیرفت.

جدول ۱- آمار هواشناسی مربوط به دو محل کشت
Table 1- Meteorological data at two planting regions

منطقه کاشت Planting region	ماه Month	میانگین دما Mean temperature (C°)	مجموع ساعات آفتابی در ماه Sum of monthly number of sunny hours	بارش ماهانه Monthly precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	تبخیر ماهیانه Monthly evaporation (mm)
جیرفت Jiroft	دی 21 Dec- 19 Jan	15.9	208.9	0	50.6	110.1
	بهمن 20 Jan – 18 Feb	15.0	174.7	70.6	58.4	109.1
	اسفند 19 Feb- 20 Mar	17.5	215.9	62.1	60.0	147.3
	فروردین 21 Mar – 20 Apr	25.1	227.6	55.5	43.0	212.9
کهنوج Kahnuij	دی 21 Dec- 19 Jan	17.3	238.1	1.9	52.2	125.2
	بهمن 20 Jan – 18 Feb	16.3	195.1	48.9	58.8	102.3
	اسفند 19 Feb- 20 Mar	18.4	223.5	158.5	64.8	152.8
	فروردین 21 Mar – 20 Apr	26.3	259.3	21.1	44.9	226.3

(جدول ۳)، که این اختلاف ارتفاع بوته احتمالاً به دلیل تفاوت مشاهده شده در تراکم و فلور علف‌های هرز در دو مکان مورد مطالعه و همچنین اختلاف درجه حرارت، میزان بارندگی و ساعات آفتابی در دو منطقه می‌باشد (جدول ۱)، که هر دو عامل می‌تواند شاخص‌های مختلف رشدی گیاه از جمله ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار دهد. براساس داده‌های اقلیمی، میانگین دما، میزان بارش و ساعات آفتابی در کهنوج در طی زمان اجرای این پژوهش بیش‌تر از جیرفت بود. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی کنترل علف‌هرز نشان داد که انجام عملیات وجین‌دستی علف‌هرز موجب افزایش ارتفاع بوته به ترتیب به میزان ۲۱/۴ و ۳/۴۵ درصد نسبت به تیمارهای عدم کنترل علف‌های هرز (شاهد) و کاربرد علف‌کش گردید (جدول ۴). همچنین بررسی برهمکنش منطقه کشت × کنترل علف‌هرز نشان داد که ارتفاع بوته‌های رشد کرده در کهنوج تحت عمل وجین‌دستی علف‌هرز به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دیگر تیمارها بوده است، به‌طوری‌که کنترل علف‌هرز با روش وجین‌دستی در کهنوج منجر به افزایش ۳۱ درصدی ارتفاع بوته کینوا نسبت به تیمار عدم کنترل علف‌هرز (شاهد) در همین محل کشت گردید (شکل ۱). مصرف علف‌کش پاراکوات در هر دو منطقه نیز نسبت به شاهد شرایط بهتری را ایجاد کرد و موجب ارتفاع بوته بیش‌تری در گیاهان کینوا نسبت به شاهد شد. درحالی‌که

برای ارزیابی نسبت برابری زمین (LER) مجموع کل نسبت‌های عملکرد هر محصول در سیستم کشت مخلوط به عملکرد آن تحت سیستم کشت خالص طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Afe and Atanda, 2015).

$$LER = Y_{ab} / Y_{aa} + Y_{ba} / Y_{bb} \quad (۱)$$

در این رابطه Y_{ab} عملکرد سیب‌زمینی در کشت مخلوط با کینوا، Y_{aa} عملکرد سیب‌زمینی در کشت خالص، Y_{ba} عملکرد کینوا در کشت مخلوط با سیب‌زمینی و Y_{bb} عملکرد کینوا در کشت خالص می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD حفاظت شده در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم نمودارها و اشکال با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

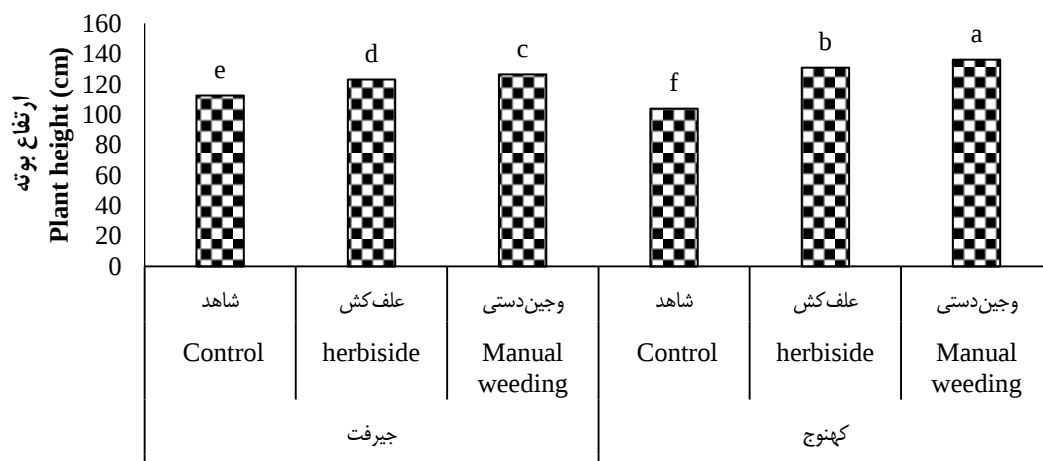
نتایج و بحث

ارتفاع بوته کینوا

شاخص ارتفاع بوته کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر منطقه کشت، کنترل علف‌هرز و برهمکنش منطقه کشت × کنترل علف‌هرز قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی منطقه کشت، ارتفاع بوته کینوا در کهنوج بیش‌تر از جیرفت بود

صحرايي (*Convolvulus arvensis* L.)، فرفيون (*Euphorbia helioscopia* L.)، خرفه (*Portulaca oleracea* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و در کهنوج شامل مرغ، پنيرک، اويارسلام، خرفه، سلمه تره، تاج خروس (*Amaranthus retroflexus* L.)، کينواي وحشي، فرفيون و قياق (*Sorghum halepense* L.) بودند.

در تيمار شاهد ارتفاع بوته کينوا در جيرفت بيش تر از کهنوج گرديد؛ که مي تواند به دليل توان رقابتي بيش تر فلور علف هاي هرز موجود در کهنوج نسبت به جيرفت باشد (شکل ۱). قابل ذکر است گونه هاي علف هرز غالب موجود در مزرعه جيرفت شامل پنيرک (*Malva sylvestris* L.)، مرغ (*Cynodon dactylon* L.)، سلمه تره (*Chenopodium album* L.)، عروسک پشت پرده (*Physalis alkekengi* L.)، اويارسلام (*Cyperus rotundus* L.)، پيچک



شکل ۱- اثر متقابل منطقه کشت و کنترل علف هرز بر ارتفاع بوته کينوا

*- ميانگين هايي با حروف مشابه در هر زمان با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معني دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معني داري با هم ندارند.

Figure 1- The interaction effect of planting region and weed control on quinoa plant height
Means with the same letters are not significantly difference according to LSD test at $p < 0.05$.

(*et al.*, 2009). سرعت رشد کينوا بسته به مرحله رشدی متفاوت مي باشد، به طوري که سرعت رشد کينوا تا ۳۰ روز پس از ظهور (در مقايسه با ساير دوره ها) بسيار کند و از روز ۳۰ تا ۹۰ دارای سرعت رشد بيش تر و سپس کاهش مي يابد، اين کاهش رشد (پس از ۹۰ روز) ممکن است به دليل شروع مرحله رشد زائشي گياه باشد که موجب تخصيص بخش اعظم فتواسيميالاتها برای نمو و تجمع در بذر مي گردد (de Oliveira Vergara *et al.*, 2019). از اين رو به نظر مي رسد که به دليل کند بودن سرعت رشد کينوا در ابتدای فصل رشد، در شرايط عدم کنترل علف هرز (تيمار شاهد)، علف هاي هرز در رقابت با کينوا موفق تر عمل نموده و از طريق سايه اندازی و استفاده بيش تر از منابع موجود (آب، مواد غذايي، نور، فضا و غيره) موجب کاهش رشد و ارتفاع بوته هاي کينوا شد؛ درحالي که تيمارهاي مبارزه با علف هاي هرز، از طريق کاهش رقابت بين علف هاي هرز و کينوا بويژه در ابتدای فصل رشد (در زمان رشد کند کينوا)، تأثير منفي علف هاي هرز بر رشد کينوا را کاهش داده اند.

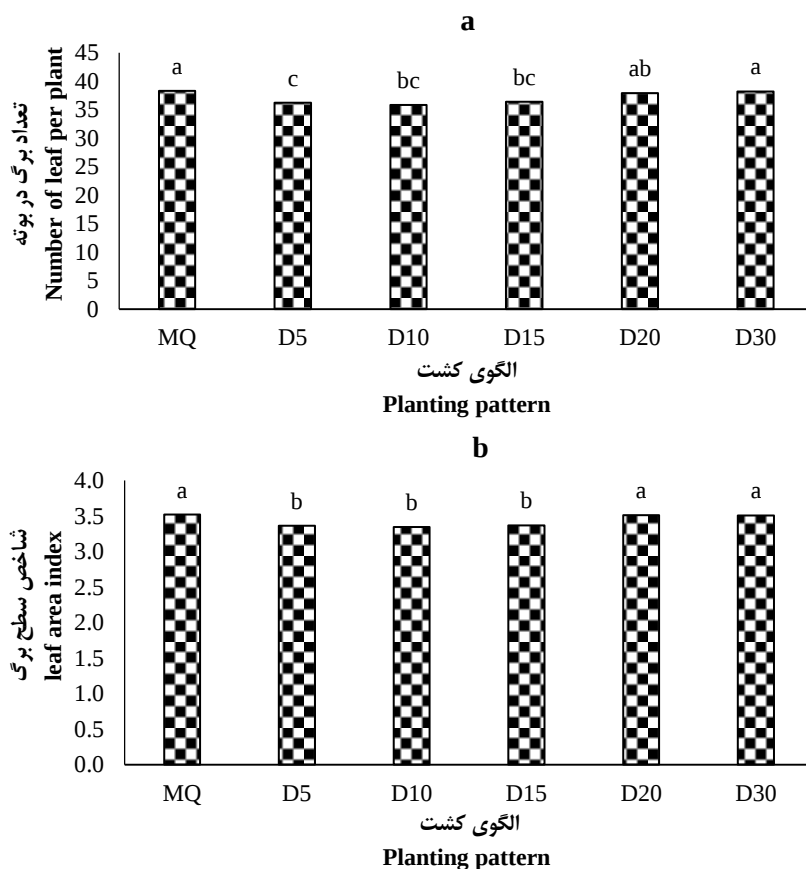
تعداد برگ در بوته و شاخص سطح برگ کينوا

منطقه کشت، الگوي کشت و کنترل علف هرز به طور معني داري تعداد برگ در بوته و شاخص سطح برگ کينوا را تحت تأثير قرار

نتايج پژوهش هاي مختلف نيز نشان دهنده ي تأثير منفي رقابت علف هاي هرز با گياهان زراعي بر ميزان شاخص هاي مختلف رشدی گياه زراعي از جمله ارتفاع گياه مي باشد. در اين مورد کاهش شاخص هاي مختلف رشدی سياهدانه (*Nigella sativa* L.) در اثر رقابت با علف هاي هرز (Seyedi *et al.*, 2014) و کاهش ارتفاع و سرعت رشد لوبيا (*Phaseolus vulgaris* L.) در نتيجه افزايش طول دوره رقابت علف هاي هرز (Ahmadi *et al.*, 2004)، گزارش شده است. علف هاي هرز از یک سو از طريق سايه اندازی و کاهش ميزان نور در دسترس گياه زراعي و يا از طريق توليد برخي مواد شيميايي آلوپاتيک رشد گياه را تحت تأثير قرار مي دهند (Jabran and Chauhan, 2018) و از سوي ديگر رقابت بين علف هاي هرز و گياهان زراعي در استفاده از منابع غذايي موجود، منجر به کاهش منابع غذايي در دسترس گياه و به تبع آن کاهش رشد و ارتفاع گياه زراعي خواهد شد (Zimdahl, 2007). هرچند ارتفاع گياهان در کشت مخلوط مي تواند تحت تأثير گونه گياهي و تراکم کاشت قرار گيرد؛ با اين وجود، در پژوهش حاضر ارتفاع کينوا تحت تأثير الگوي کشت (تراکم کاشت) قرار نگرفت که با نتايج گزارش شده در کشت مخلوط ذرت و سلوسيا (*Celosia argentea* L.) مطابقت دارد (Makinde

ارتفاع بیش‌تر نسبت به بوته‌های کوتاه‌تر توجیه‌پذیر می‌باشد. بررسی تأثیر الگوی کشت بر شاخص تعداد برگ در بوته حاکی از آن است که با افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط، تعداد برگ در بوته افزایش یافت و به بیش‌ترین میزان خود (۳۸ عدد) در کشت مخلوط با تراکم ۵:۳۰ بوته رسید (شکل ۲a). هم‌چنین، بیش‌ترین شاخص سطح برگ به‌طور مشابه (به‌میزان ۳/۵) در کشت خالص کینوا و کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری را با بقیه تیمارها نشان داد (شکل ۲b).

دادند. در حالی که اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها تأثیری بر این شاخص‌ها نداشت ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، صفات تعداد برگ در بوته و شاخص سطح برگ در گیاهان رشد کرده تحت شرایط آب و هوایی کهنوج به‌ترتیب به‌میزان ۸/۹ و ۷/۵ درصد بیش‌تر از جیرفت بود. از آن‌جایی که میانگین ارتفاع بوته کینوا در کهنوج بیش‌تر از جیرفت بود و به‌دلیل وجود همبستگی نزدیک بین دو شاخص ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته (Javanmard et al., 2015)، افزایش تعداد برگ در بوته‌های دارای



شکل ۲- اثر الگوی کشت بر تعداد برگ در بوته (a) و شاخص سطح برگ (b) کینوا

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. MQ: کشت خالص کینوا و حروف D5, D10, D15, D20 و D30 به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵، ۵:۱۰، ۵:۱۵، ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

Figure 2- The effect of planting pattern on number of leaves per plant (a) and leaf area index (b)

Means with the same letter are not significantly difference according to LSD test at $p < 0.05$. MQ: quinoa sole cropping and D5, D10, D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of quinoa: potato at densities of 5:5, 10:5, 15:5, 20:5 and 30:5 plants per m^{-2} , respectively.

تأثیر وجین‌دستی علف‌هرز نسبت به کاربرد علف‌کش در افزایش سطح و شاخص سطح برگ بیش‌تر بود که این احتمالاً به‌دلیل تعداد دفعات بیش‌تر و زمان مناسب‌تر انجام عملیات مبارزه با علف‌های هرز در روش وجین‌دستی نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات می‌باشد (جدول ۴). علف‌های هرز از طریق سایه‌اندازی و کاهش منابع غذایی و میزان نور در دسترس گیاه زراعی (Jabran and Chauhan, 2018)

به‌نظر می‌رسد افزایش تراکم بوته کینوا در کشت مخلوط موجب افزایش شدت رقابت بین گیاهان در جذب نور شده و این موضوع می‌تواند موجب افزایش تعداد برگ و بیش‌ترشدن شاخص سطح برگ شود (Adeniyen et al., 2007). اگرچه تیمارهای کنترل علف‌هرز (وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات) موجب افزایش معنی‌دار هر دو شاخص در مقایسه با تیمار عدم کنترل علف‌هرز (شاهد) گردید،

(Zimdahl, 2007)، شاخص‌های رشد گیاه زراعی از جمله تعداد برگ و شاخص سطح برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. لذا به‌نظر می‌رسد که مبارزه با علف‌های هرز در کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی باعث کاهش شدت رقابت بین کینوا و علف‌های هرز در جذب منابع موجود شده و در نتیجه بوته‌های کینوا به‌دلیل جذب مواد غذایی موجود در ریزوسفر، رطوبت، فضا و نور کافی از رشد مطلوبی برخوردار شده که این امر موجب افزایش تعداد و شاخص سطح برگ در تیمارهای کنترل علف‌هرز در مقایسه با تیمار شاهد شده است.

زمان رسیدن به گلدهی، بلوغ سنبله و برداشت کینوا

تأثیر منطقه کشت بر شاخص‌های زمان رسیدن به ۵۰ درصد گلدهی، بلوغ سنبله ($P \leq 0.01$) و زمان برداشت ($P \leq 0.05$) کینوا معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، زمان رسیدن به ۵۰ درصد گلدهی، بلوغ سنبله و برداشت کینوا در جیرفت به‌طور معنی‌دار طولانی‌تر از کهنوج بود. به‌عبارت دیگر مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد گلدهی در جیرفت ۱۱/۸ درصد، زمان بلوغ سنبله ۶/۷ درصد و زمان برداشت ۴/۵ درصد بیش‌تر از کهنوج به‌طول انجامید که می‌تواند به‌دلیل هوای گرم‌تر کهنوج نسبت به جیرفت باشد، به‌طوری‌که میانگین دمای کهنوج و جیرفت در طی ماه‌های اجرای این پژوهش به‌ترتیب ۲۰/۳ و ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد بود. به‌نظر می‌رسد که شاخص‌های زمان گلدهی، بلوغ سنبله و برداشت کینوا بیش‌تر تحت تأثیر ژنتیک (نوع رقم) و عوامل اقلیمی از قبیل درجه‌حرارت، بارندگی و میزان ساعات آفتابی باشند و کمتر تحت تأثیر تراکم کاشت در واحد سطح قرار گیرند. در این مورد، بررسی ۱۰ رقم کینوا در دو منطقه مختلف نشان داد که زمان بلوغ کینوا تحت تأثیر دمای محیط قرار گرفت و زمان رسیدن به بلوغ در همه ارقام کینوا مورد مطالعه در مکان گرم‌تر (بیش‌تر بودن میانگین دمای حداقل و حداکثر)، نسبت به مکان خنک‌تر کمتر بود (Katwal and Bazile, 2020). در پژوهش حاضر نیز به‌دلیل بیش‌تر بودن میانگین دمای حداقل و حداکثر کهنوج نسبت به جیرفت، زمان بلوغ کینوا در کهنوج سریع‌تر از جیرفت اتفاق افتاد. هم‌چنین، نتایج این پژوهش مبنی بر عدم تأثیر کشت مخلوط بر زمان گلدهی، زمان بلوغ سنبله و زمان برداشت کینوا با نتایج گزارش شده در کشت‌های مخلوط نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) با ذرت (Mpangane, 2000) و ذرت و سویا (*Glycine max* L.) (Osang et al., 2015)، همخوانی دارد.

میانگین وزن بذر کینوا در بوته

منطقه کشت، کنترل علف‌هرز، الگوی کشت و برهمکنش منطقه کشت $\times$ الگوی کشت، میانگین وزن بذر کینوا در بوته را تحت تأثیر قرار داد ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر ساده منطقه کشت، میانگین وزن بذر در بوته تحت شرایط آب و هوایی کهنوج بیش‌تر از جیرفت بود (جدول ۳). کنترل علف‌هرز با دو

روش وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش پاراکوات به‌ترتیب موجب افزایش ۹/۸ و ۶/۵ درصدی میانگین وزن بذر کینوا در بوته نسبت به شرایط عدم کنترل علف‌هرز (شاهد) گردید (جدول ۴). در دو مطالعه جداگانه مبارزه با علف‌های هرز (وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش) موجب افزایش عملکرد دانه ذرت (در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) (در کشت مخلوط با ذرت) شد (Bibi et al., 2007; Gomes et al., 2020). عملکرد دانه وابسته به رشد مناسب برگ‌ها، ساقه‌ها، گل‌ها و باروری کامل آن‌ها، عرضه مستمر مواد پرورده و غیره می‌باشد (Saeidi et al., 2020). به‌نظر می‌رسد که کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی احتمالاً موجب کاهش رقابت و تخصیص بیش‌تر منابع موجود به کینوا شده که در نتیجه آن به‌دلیل افزایش شاخص‌های رشدی گیاه از قبیل ارتفاع بوته، شاخه فرعی، شاخص سطح برگ و تعداد برگ، دریافت نور توسط بوته‌های کینوا تحت تیمارهای وجین‌دستی و کاربرد علف‌کش در مقایسه با تیمار شاهد بیش‌تر بوده و در نتیجه به‌دلیل میزان فتوسنتز بیش‌تر، سرعت رشد گیاه و تجمع ماده خشک نیز افزایش یافته که نهایتاً موجب افزایش عملکرد دانه کینوا شده است. از سوی دیگر، در شرایط عدم کنترل علف‌هرز، جذب نور و مواد غذایی توسط گیاه کینوا به‌دلیل رقابت بین علف‌های هرز و گیاه زراعی کاهش یافته و کمبود مواد غذایی ایجاد شده احتمالاً باعث عدم تکامل و توسعه دانه‌ها و در نتیجه موجب کاهش میانگین وزن دانه در هر بوته گردید. براساس نتایج، افزایش تراکم کاشت کینوا در کشت مخلوط با سیب‌زمینی (از ۵ تا ۲۰ بوته در متر مربع) موجب افزایش میانگین وزن بذر در بوته در هر دو مکان شد؛ به‌طوری‌که میانگین وزن بذر در بوته در کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع (با ۱۹ گرم بذر در هر بوته) اختلاف معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد و کم‌ترین میزان این شاخص در کشت مخلوط با تراکم ۵:۵ بوته در مترمربع (۱۳/۹ گرم در گیاه) حاصل گردید (شکل ۳). هم‌چنین نتایج بررسی برهمکنش منطقه کشت و الگوی کشت بر میانگین وزن بذر نشان داد که بیش‌ترین (۱۹/۶۴ گرم) و کم‌ترین (۱۳/۳۱ گرم) میزان این شاخص به‌ترتیب متعلق به تیمارهای کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع در کهنوج و تراکم ۵:۵ بوته در مترمربع در جیرفت بود (شکل ۳). افزایش تراکم کلزا (*Brassica napus* L.) در کشت مخلوط کلزا و باقلا (*Vicia faba* L.) موجب افزایش تعداد غلاف در هر گیاه، تعداد دانه در هر غلاف و وزن هزار دانه گردید (Zabih and Saeedipour, 2015)، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد بیش‌تر بودن میانگین وزن بذر در بوته در کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم ۵:۵ بوته در مترمربع، به‌دلیل بیش‌تر بودن تعداد برگ و شاخص سطح برگ در این تیمار و به‌تبع آن افزایش میزان فتوسنتز بوده که منجر به افزایش

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کشت مخلوط سیب‌زمینی و کینوا بر صفات مورد ارزیابی کینوا
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of potato and quinoa intercropping on studied traits of quinoa

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Leaves per plant	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان گلدهی Flowering time	زمان بلوغ Spike maturity time	زمان برداشت Harvesting time	میانگین بذر در بوته Average of grains weight per plant	عملکرد کینوا Quinoa yield
Planting region (A)	1	5897.997**	359.23**	2.356**	1040.06**	3821.732**	1002.78*	8.826**	290.45*
Error a خطای اصلی	6	0.495	15.78	0.017	3.04	0.888	126.61	0.221	28.68
Weeds control method (B)	2	270.372**	140.69**	1.053**	1.26**	0.089**	6.19**	27.830**	11925.97**
A × B خطای فرعی	2	106.471**	2.03**	0.001**	5.69**	0.110**	25.44**	0.121**	9.39**
Error b خطای فرعی	12	0.444	7.55	0.023	3.70	0.380	32.82	1.038	165.83
Planting pattern (C)	5	0.832**	29.51**	0.173**	1.17**	0.037**	4.89**	73.924**	760939.57**
A × C خطای فرعی	5	0.146**	5.58**	0.032**	0.56**	0.056**	7.79**	4.724**	2045.76**
B × C خطای فرعی	10	0.482**	8.16**	0.059**	1.59**	0.039**	6.49**	2.069**	1263.95**
A × B × C خطای فرعی	10	0.541**	1.18**	0.033**	1.84**	0.033**	6.89**	0.532**	186.56**
Error خطای باقیمانده	90	0.556	8.11	0.033	6.62	0.620	55.39	1.265	172.06
C.V (%) ضریب تغییرات		3.5	7.7	5.5	5.3	3.7	6.2	7.0	4.3

ns, * and ** are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.
/ به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

میانگین وزن بذر گردید. همچنین هر دو شاخص تعداد برگ و سطح برگ در کهنوج به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از جیرفت بوده که نتایج به‌دست آمده مبنی بر بیش‌تر بودن میانگین بذر در بوته در این مکان را نسبت به جیرفت توجیه می‌نماید.

لازم به ذکر است که هرچند بیش‌ترین میانگین وزن بذر در بوته در کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع حاصل گردید؛ با این وجود بیش‌ترین میزان عملکرد کینوا (۴۹۵۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت خالص و کشت مخلوط با تراکم ۵:۳۰ بوته در مترمربع (۴۸۶۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. از آنجایی‌که میزان عملکرد کل تحت تأثیر میانگین وزن بذر در بوته و تعداد بوته در واحد سطح (مترمربع) می‌باشد، لذا با وجود کمتر بودن میانگین وزن بذر در بوته در این دو تیمار، بیش‌تر بودن عملکرد آن‌ها به‌دلیل تعداد بوته بیش‌تر در واحد سطح (۱۰ بوته بیش‌تر از تیمار کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ بوته در مترمربع) قابل توجیه می‌باشد.

تراکم علف‌های هرز در زمان‌های گلدهی و قبل از برداشت

اثر منطقه کشت، الگوی کشت، کنترل علف‌هرز و برهمکنش کنترل علف‌هرز × الگوی کشت بر تراکم علف‌های هرز در زمان‌های گلدهی و قبل از برداشت معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (شکل ۴). بررسی میزان تراکم علف‌های هرز در هر دو زمان اندازه‌گیری، بیانگر بیش‌تر بودن تراکم علف‌های هرز در کهنوج نسبت به جیرفت بود. از آنجایی‌که تمام اقدامات در مراحل کاشت، داشت و برداشت در دو منطقه مورد بررسی به‌صورت مشابه انجام پذیرفت، تفاوت مشاهده‌شده در میزان تراکم علف‌های هرز در دو مکان مورد مطالعه می‌تواند به اختلاف در بانک بذر علف‌های هرز در دو منطقه نسبت داده شود. در بین تیمارهای کنترل علف‌های هرز، بیش‌ترین میزان تراکم علف‌های هرز در زمان‌های مورد اندازه‌گیری مربوط به تیمار شاهد (عدم کنترل علف‌هرز) بود. انجام عمل وجین‌دستی علف‌هرز تأثیر بیش‌تری در کاهش این شاخص نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات داشت. نتایج هم‌چنین بیانگر وجود رابطه معکوس بین میزان تراکم علف‌های هرز و تراکم کینوا در کشت مخلوط کینوا با سیب‌زمینی بود (شکل ۴). به‌عبارت دیگر، با افزایش تراکم کینوا (از ۵ تا ۳۰ بوته در مترمربع) در کشت مخلوط با سیب‌زمینی میزان تراکم علف‌های هرز کاهش پیدا کرد و هم‌چنین افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط موجب کاهش تراکم علف‌های هرز نسبت به تک کشتی هر دو گیاه کینوا و سیب‌زمینی شد که این امر نشان از اثر تسهیل‌کنندگی کینوا در کاهش تراکم علف‌های هرز و کم کردن رقابت آن‌ها با سیب‌زمینی دارد. این اثر گیاهان کینوا بر کاهش تراکم علف‌های هرز حتی در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز مشهود بوده و اثر مثبت کشت مخلوط سیب‌زمینی با کینوا را توجیه می‌نماید.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اصلی منطقه کشت بر ویژگی های مختلف کینوا و عملکرد سببزمینی

منطقه کاشت Planting region	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Leaves per plant (#)	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان ۵۰٪ گلدهی 50% flowering time (days)	زمان بلوغ سنبله Spike maturity time (days)	زمان برداشت Harvesting time (days)	میانگین بذر در بوته Average of grains weight per plant (g.plant ⁻¹)	عملکرد سببزمینی Potato yield (kg.m ⁻²)
جیرفت Jiroft	120.6	35.55	3.31	50.9	108.6	122.3	15.9	3.46
کهنوج Kahnooj	123.7	38.71	3.56	45.5	101.7	117.0	16.4	3.51
LSD (5 %)	1.52*	0.94	0.06	0.85	1.32	2.46	0.37	0.07

* در هر ستون، میانگین هایی که اختلاف آن ها از مقدار LSD کمتر باشد تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

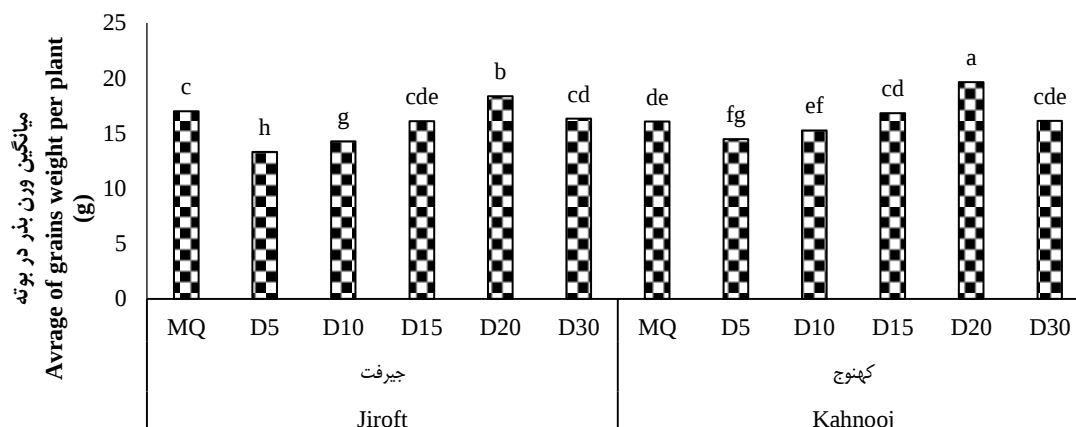
*In each column, means that their difference is lower than LSD have no significant difference at 5% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی کنترل علف هرز بر ویژگی های مختلف کینوا و عملکرد سببزمینی

روش کنترل علف هرز Weed control method	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Leaves per plant (#)	شاخص سطح برگ Leaf area index	زمان ۵۰٪ گلدهی 50% flowering time (days)	زمان بلوغ سنبله Spike maturity time (days)	زمان برداشت Harvesting time (days)	میانگین بذر در بوته Average of grains weight per plant (g. plant ⁻¹)	عملکرد سببزمینی Potato yield (kg.m ⁻²)
شاهد Control	108.81	35.33	3.27	48.02	105.41	120.0	15.3	2.77
علف کش Herbicide	126.94	37.31	3.46	48.33	104.96	119.2	16.3	3.77
وچین دستی Manual weeding	131.32	38.74	3.56	48.25	105.08	119.54	16.8	3.92
LSD (5 %)	1.86*	1.15	0.07	1.04	1.62	3.01	0.45	0.09

* در هر ستون، میانگین هایی که اختلاف آن ها از مقدار LSD کمتر باشد تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

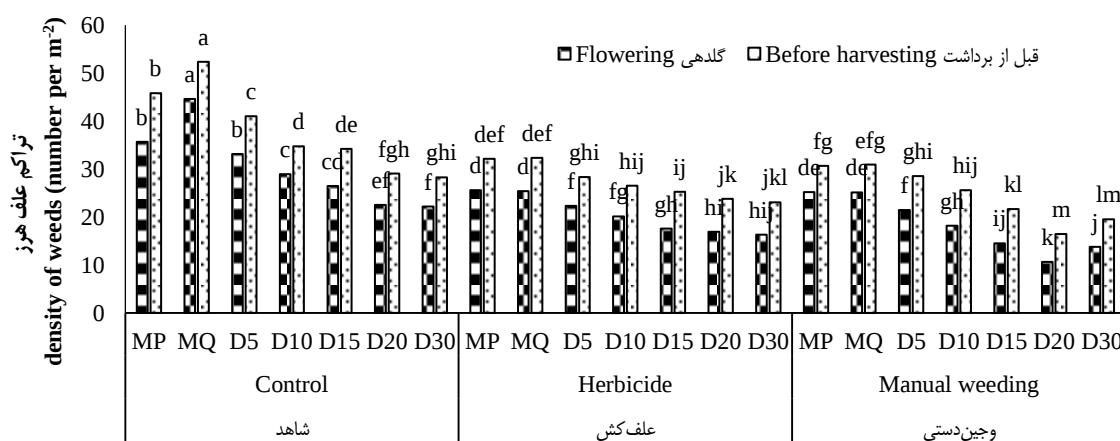
* In each column, means that their difference is lower than LSD have no significant difference at 5% probability level.



شکل ۳- اثر برهمکنش منطقه کشت و الگوی کشت بر میانگین وزن بذر در بوته کینوا

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. MQ: کشت خالص کینوا و حروف D5, D10, D15, D20 و D30 به ترتیب الگوهای کشت مخلوط کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵، ۵:۱۰، ۵:۱۵، ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

Figure 3- The interaction effect of region and planting pattern on average of grains weight per plant
Means with the same letters are not significantly difference by using LSD test at $p < 0.05$. MQ: quinoa sole cropping and D5, D10, D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of quinoa: potato at densities of 5:5, 10:5, 15:5, 20:5 and 30:5 plants per m^{-2} , respectively.



شکل ۴- برهمکنش کنترل علف‌هرز و الگوی کشت بر تراکم علف‌هرز در زمان‌های گلدهی و قبل از برداشت

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. MQ: کشت خالص کینوا: MP: کشت خالص سیب‌زمینی و حروف D5, D10, D15, D20 و D30 به ترتیب الگوهای کشت مخلوط کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵، ۵:۱۰، ۵:۱۵، ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

Figure 4- The interaction effect of weeds control and planting pattern on weeds density at flowering and prior- harvest times
Means with the same letters are not significantly difference by using LSD test at $p < 0.05$. MQ: quinoa sole cropping; MP: potato sole cropping and D5, D10, D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of quinoa: potato at densities of 5:5, 10:5, 15:5, 20:5 and 30:5 plants per m^{-2} , respectively.

در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد تأثیر بیش‌تر تیمار وجین‌دستی نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات در کاهش رشد علف‌های هرز به دلیل تفاوت در تعداد دفعات و زمان انجام عملیات کنترل باشد؛ به گونه‌ای که وجین‌دستی علف‌های هرز در دو مرحله و در طی یک ماه پس از کشت انجام پذیرفت؛ درحالی‌که کاربرد علف‌کش پاراکوات تنها یک مرحله در ابتدای فصل رشد مورد استفاده قرار گرفت، و لذا در

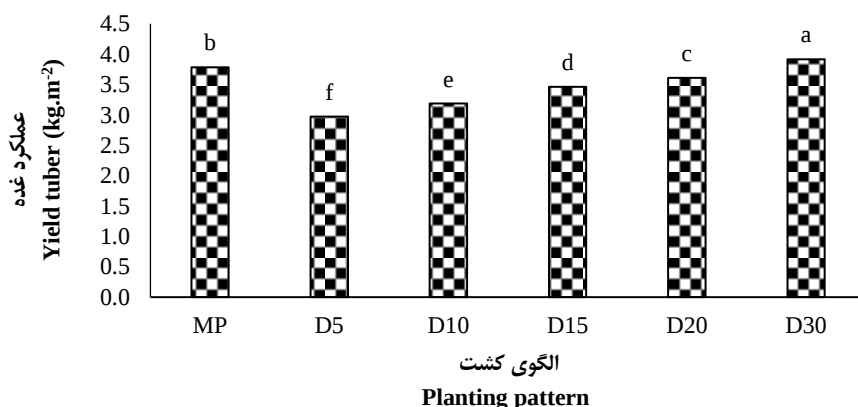
براساس نتایج برهمکنش کنترل علف‌هرز $\times$ الگوی کشت، بیش‌ترین میزان تراکم علف‌های هرز در هر دو زمان اندازه‌گیری مربوط به کشت خالص کینوا در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز بود؛ درحالی‌که کم‌ترین میزان این شاخص به ترتیب مربوط به کشت‌های مخلوط با تراکم ۵:۳۰ و ۵:۲۰ بوته در مترمربع تحت شرایط انجام عمل وجین‌دستی علف‌هرز بود (شکل ۴).

سه گانه آن‌ها به‌طور معنی‌داری، عملکرد غده سیب‌زمینی را تحت تأثیر قرار دادند. براساس نتایج، تیمارهای وجین‌دستی علف‌هرز و کاربرد علف‌کش پاراکوات به‌ترتیب موجب افزایش ۴۱/۵ و ۳۶/۱ درصدی عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد (عدم کنترل علف‌هرز) گردید (جدول ۴). در واقع کنترل علف‌های هرز از طریق کاهش رقابت اعمال شده توسط علف‌های هرز در شرایط تک کشتی و کشت مخلوط موجب افزایش عملکرد سیب‌زمینی شده است. عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تأثیر میزان تراکم بوته کینوا در کشت مخلوط قرار گرفت. با افزایش تراکم کینوا از ۵ تا ۳۰ بوته در مترمربع در کشت مخلوط با سیب‌زمینی، عملکرد غده سیب‌زمینی افزایش یافت (شکل ۵)؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان عملکرد غده سیب‌زمینی (به‌میزان ۳/۹۱ کیلوگرم در مترمربع) در کشت مخلوط با تراکم ۵:۳۰ بوته در مترمربع حاصل شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد (شکل ۵). به‌طورکلی در بین ترکیبات تیماری مختلف اعمال شده، بالاترین میزان عملکرد غده سیب‌زمینی (به‌میزان ۴/۵۴ کیلوگرم در مترمربع) در تیمار کشت مخلوط با تراکم ۵:۲۰ با انجام عملیات وجین‌دستی در کهنوج به‌دست آمد.

تیمار وجین‌دستی اجازه رشد به علف‌های هرز کمتر داده شد. در پژوهش‌های مختلف تأثیر مثبت کشت مخلوط بر کاهش میزان تراکم علف‌های هرز نسبت به سیستم تک‌کشتی (Bibi et al., 2020) گزارش شده است. در کشت خالص، شرایط آلودگی مزرعه به علف‌های هرز به‌دلیل وجود فضاهای خالی موجود برای جوانه‌زنی علف‌هرز، فراهم می‌باشد (Bibi et al., 2020). افزایش پوشش گیاهی و در نتیجه آن افزایش رقابت در سیستم کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص موجب کاهش تعداد و میزان رشد علف‌های هرز می‌گردد (Schippers and Kropff, 2001). لذا کشت مخلوط از طریق ایجاد پوشش گیاهی مناسب در واحد سطح موجب اشغال سریع نیچ خالی بین گیاهان زراعی شده و از این طریق در فرآیندهای جوانه‌زنی بذور و رشد و نمو علف‌های هرز اختلال ایجاد می‌کند (Den Hollander et al., 2007)، و به‌تبع آن میزان تراکم علف‌های هرز کاهش می‌یابد.

عملکرد سیب‌زمینی

اثر اصلی کنترل علف‌هرز و الگوی کشت و اثرات متقابل دوگانه الگوی کشت × کنترل علف‌هرز و منطقه کشت × الگوی کشت و اثر



شکل ۵- اثر الگوی کشت بر عملکرد غده سیب‌زمینی

*- میانگین‌هایی با حروف مشابه با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. MP: کشت خالص سیب‌زمینی و حروف D5, D10, D15, D20 و D30 به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵، ۵:۱۰، ۵:۱۵، ۵:۲۰ و ۵:۳۰ بوته در مترمربع می‌باشند.

Figure 5- The effect of planting pattern on yield tuber

Means with the same letters are not significantly different by using LSD test at $p < 0.05$. MP: potato sole cropping and D5, D10, D15, D20 and D30 letters are intercropping patterns of quinoa: potato at densities of 5:5, 10:5, 15:5, 20:5 and 30:5 plants per m⁻², respectively.

نوع لگوم شامل لوبیا لیما (*Phaseolus lunatus* L.) و گیاه (*Lablab purpureus* L.) مشخص شد کشت مخلوط منجر به ۷/۳ درجه سانتی‌گراد دمای خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر شد. این موضوع منجر به افزایش ۳۸ درصدی در محتوای رطوبتی خاک، و افزایش ۵۶ تا ۷۳ درصدی کارایی مصرف تشعشع گردید (Nyawade et al., 2019). کارایی استفاده از تشعشعی که منجر به تولید ماده خشک سیب‌زمینی می‌گردد، ارتباط عمده‌ای با دمای خاک

با افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط، عملکرد غده سیب‌زمینی افزایش یافت که به‌نظر می‌رسد افزایش تراکم بوته کینوا منجر به پوشش بیش‌تر سطح خاک و سایه‌اندازی شده که احتمالاً موجبات کاهش دمای خاک و هم‌چنین کاهش تبخیر از خاک را محقق ساخته و در نتیجه شرایط بهبود رشد بوته‌ها و عملکرد سیب‌زمینی را در تراکم‌های بالای کشت مخلوط با کینوا در مقایسه با تراکم‌های پایین فراهم نموده است. در یک تحقیق در کشت مخلوط سیب‌زمینی با دو

به‌منظور بررسی میزان بهره‌وری کشت مخلوط، از شاخص‌های مختلف سودمندی استفاده می‌شود که در بین این شاخص‌ها، نسبت برابری زمین در ارزیابی مزیت سیستم کشت مخلوط نسبت به سیستم تک‌کشتی بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadvand and Hajinia, 2016). براساس نتایج، با افزایش تراکم کینوا در کشت مخلوط روند افزایشی در LER کل (مجموع دو گیاه) مشاهده شد (جدول ۵): به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان این شاخص (۲/۱۰) تحت تیمار کشت مخلوط ۳۰:۵ بوته در مترمربع در کهنوج حاصل شده است. مقادیر LER کل تحت کلیه تیمارهای کشت مخلوط (به‌جز در تراکم ۵:۵ بوته در متر مربع) بالاتر از یک بود که بیانگر برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد، که این برتری در پژوهش حاضر می‌تواند به‌دلیل وجود اختلافات مورفولوژیک دو گونه سیب‌زمینی و کینوا باشد که این امر موجب ایجاد اشکوب‌های مختلف و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود شده است.

و محتوای رطوبت آن دارد (Rykaczewska, 2015). در شرایط کمبود آب گیاهان سیب‌زمینی برگ‌های خود را به شکل فنجانی درآورده و منجر به کاهش کارایی مصرف تشعشع و هم‌چنین کاهش جذب آب می‌گردد. دمای بالای سطح خاک تأثیر منفی بر عملکرد سیب‌زمینی دارد (Liao et al., 2016). افزایش دمای خاک در ریزوسفر سیب‌زمینی منجر به ایجاد تنش و کاهش عملکرد غده‌ها می‌شود (Thornton et al. 1996). در مجموع به‌نظر می‌رسد افزایش میزان تولید محصول سیب‌زمینی در سیستم چند کشتی در مقایسه با تک‌کشتی، به وجود اختلاف‌های مورفولوژیک و نیازهای غذایی متفاوت گیاهان سیب‌زمینی و کینوا و در پی آن بهره‌گیری بهتر از عوامل محیطی (نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک) مرتبط می‌باشد.

شاخص نسبت برابری زمین (LER)

جدول ۵- مقادیر LER کل در تیمارهای کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی

Table 5- Total land equivalent ratio (LER) of quinoa and potato in intercropping treatments

الگوی کشت Planting pattern	کنترل علف‌هرز Weed control	منطقه کشت Planting region	
		جیرفت Jiroft	کهنوج Kahnooj
D ₅	شاهد Control	0.89	1.07
D ₁₀		0.99	1.27
D ₁₅		1.23	1.71
D ₂₀		1.53	1.80
D ₃₀		2.05	2.10
D ₅	علف‌کش Herbicide	0.90	0.92
D ₁₀		1.19	1.25
D ₁₅		1.34	1.46
D ₂₀		1.64	1.85
D ₃₀		1.99	2.05
D ₅	وجین‌دستی Manual weeding	0.99	0.85
D ₁₀		1.06	1.12
D ₁₅		1.38	1.44
D ₂₀		1.67	1.87
D ₃₀		1.96	2.01

*- حروف D₅, D₁₀, D₁₅, D₂₀ و D₃₀ به‌ترتیب الگوهای کشت مخلوط کینوا: سیب‌زمینی با تراکم‌های ۵:۵، ۱۰:۵، ۱۵:۵، ۲۰:۵ و ۳۰:۵ بوته در مترمربع می‌باشند.

D₅, D₁₀, D₁₅, D₂₀ and D₃₀ letters are intercropping patterns of quinoa: potato at densities of 5:5, 10:5, 15:5, 20:5 and 30:5 plants per m⁻², respectively.

داشت. براساس نتایج، رابطه معکوسی بین تراکم کینوا در کشت مخلوط کینوا با سیب‌زمینی و میزان تراکم علف‌های هرز وجود داشت. کشت مخلوط کینوا با سیب‌زمینی موجب کاهش تراکم علف‌های هرز در مقایسه با شرایط تک‌کشتی هر دو گیاه شد که خود اثر مثبت کشت مخلوط دو گیاه را بدین لحاظ منعکس می‌کند. در مجموع نتایج تحقیق حاضر نشان داد کشت مخلوط این دو محصول با تراکم مطلوب از نظر اقتصادی نسبت به کشت خالص کینوا و هم‌چنین سیب‌زمینی مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. در مجموع، باتوجه به سابقه بسیار طولانی کشت مخلوط کینوا و سیب‌زمینی در کشورهای

نتیجه‌گیری

با هدف دستیابی به کشاورزی پایدار، گسترش راهکارهای زراعی از قبیل کشت مخلوط گیاهان زراعی در جهت مدیریت مناسب علف‌های هرز، کاهش مصرف سموم شیمیایی و افزایش تولید در واحد سطح ضروری می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط آب و هوایی کهنوج جهت کشت کینوا مناسب‌تر از جیرفت می‌باشد. هم‌چنین، هرچند انجام عملیات وجین‌دستی وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد؛ با این وجود تأثیر بهتری نسبت به کاربرد علف‌کش پاراکوات بر تمام شاخص‌های رشدی گیاه جدید کینوا و عملکرد آن

آمریکای جنوبی به عنوان منشأ هر دو گیاه و نتایج به دست آمده در این پژوهش امکان کشت مخلوط دو گیاه در دو منطقه جیرفت و کهنوج وجود دارد. با این وجود بررسی و مقایسه کشت مخلوط سیب زمینی با کینوا، ارزن و سورگوم در مطالعات آینده پیشنهاد می گردد.

References

- Adeniyi, O. N., Akande, S. R., Balogun, M. O., and Saka, J. O. 2007. Evaluation of crop yield of African yam bean, maize and kenaf under intercropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment Science* 2 (1): 99-102.
- Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. 2012. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany* 92: 43-54.
- Afe, A. I., and Atanda, S. 2015. Percentage yield difference, an index for evaluating intercropping efficiency. *American Journal of Experimental Agriculture* 5 (5): 278-291.
- Ahmadi, A., Rashed, M. M., Baghestani, M. M. and Rostami, M. 2004. The effects of critical period of weed competition on yield, yield components and morphophysiological characteristics of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar, derakhshan (KRD-29). *Entomology and Phytopathology* 72: 31-49.
- 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.
- Anderson, R. L. 2005. A multi-tactic approach to manage weed population dynamics in crop rotations. *Agronomy Journal* 97 (6): 1579-1583.
- Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A. D., Massanés, T., and Gomis, R. 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *Journal of Nutrition and Food Sciences* 6 (3).
- Bibi, S., Khan, I. A., Hussain, Z. A. H. I. D., Zaheer, S. A. J. J. A. D., and Shah, S. M. A. 2019. Effect of herbicides and intercropping on weeds and yields of maize and the associated intercrops. *Pakistan Journal of Botany* 51 (3): 1113-1120.
- Bibi, S., Khan, I. A., Hussain, Z., Zaheer, S., Alsamadany, H., and Alzahrani, Y. 2020. Performance of mungbean under herbicide application and intercropping with maize. *Pakistan Journal of Botany* 52 (3): 873-877.
- Bilalis, D., Papastylianou, P., Konstantas, A., Patsiali, S., Karkanis, A., and Efthimiadou, A. 2010. Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. *International Journal of Pest Management* 56 (2): 173-181.
- Bond, W., and Lenartsom, M. E. K. 1999. Organic weed control, back to the future. *Proceedings of weed Conference*, Brighton, pp. 929.
- de Oliveira Vergara, R., Martins, A. B. N., Pedro, T., Radke, A. K., Gadotti, G. I., Villela, F. A., da Motta Xavier, F., Eberhardt, P. E. R., Cavalcante, J. A., and Meneguzzo, M. R. R. 2019. Plant growth and physiological quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds grown in Southern Rio Grande do Sul, Brazil. *Australian Journal of Crop Science* 13 (5): 678 p.
- Den Hollander, N. G., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2007. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design: I. Characteristics of several clover species. *European Journal of Agronomy* 26 (2): 92-103.
- Gomes, J. K. O., Silva, P. S. L., Silva, K. M. B., Rodrigues Filho, F. F., and Santos, V. G. 2007. Effects of weed control through cowpea intercropping on maize morphology and yield. *Planta Daninha* 25 (3): 433-441.
- Gomez, Pando, L. 2015. Quinoa Breeding. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*: 87-108.
- González, J. A., Eisa, S. S., Hussin, S. A. E. S., and Prado, F. E. 2015. Quinoa: an Incan crop to face global changes in agriculture. In: Murphy, K. and Matangilian, J. *Quinoa: Improvement and sustainable production*, John Wiley and Sons, Inc. p 1-18.
- Guglielmini, A. C., Verdú, A. M. C., and Satorre, E. H. 2017. Competitive ability of five common weed species in competition with soybean. *International Journal of Pest Management* 63 (1): 30-36.
- Hassanpanah, D., Kazemi, M., Mousapour Gorji, A., and Jalali, A. H. 2018. A comprehensive guide to modern potato cultivation. *Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)* p. 323.
- Horvatić, I., Kovačević, M., Jareš, D., Svečnjak, Z., Redovniković, I. R., and Uher, D. 2020. Influence of intercropping maize with climbing bean and fertilization with clinoptilolite on forage yield and quality. *sa55*, p.260.
- Jabran, K., and Chauhan, B. S. 2018. Overview and Significance of Non-Chemical Weed Control. In *Non-Chemical Weed Control* (pp. 1-8).
- Jamali, S., Sharifan, H., Hezarjaribi, A., and Sepahvand, N. A. 2016. The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of two cultivars of quinoa. *Journal of Soil and Water Conservation* 6: 98-110. (in Persian).
- Javanmard, A., Arzheh, J., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Ezan, T. 2015. Evaluation of different intercropping patterns of forage sorghum (*Sorghum bicolor*) and vetch (*Vicia villosa*) different nitrogen fertilizer levels. *Research in Field Crops* 2 (2): 1-20.

23. Katwal, T. B., and Bazile, D. 2020. First adaptation of quinoa in the Bhutanese mountain agriculture systems. PloS one 15 (1), p.e0219804.
24. Kidane, B. Z., Hailu, M. H., and Haile, H. T. 2017. Maize and potato intercropping: a technology to increase productivity and profitability in tigray. Open Agriculture 2 (1): 411-416.
25. Korres, N. E. 2018. Agronomic Weed Control: A Trustworthy Approach for Sustainable Weed Management. In Non-Chemical Weed Control (pp. 97-114).
26. Li, L., Zhang, L., and Zhang, F. 2013. Crop mixtures and the mechanisms of over yielding. In: Levin S.A. (ed.) Encyclopedia of Biodiversity, second edition, Volume 2: 382-395. Waltham, MA: Academic Press.
27. Liao, X., Su, Z., Liu, G., Zotarelli, L., Cui, Y., and Snodgrass, C. 2016. Impact of soil moisture and temperature on potato production using seepage and center pivot irrigation. Agricultural Water Management 165: 230-236.
28. Liebman, M., Mohler, C. L., and Staver, C. P. 2004. Ecological management of agricultural weeds. Cambridge University Press, 532 pp.
29. Lowry, C. J., and Smith, R. G. 2018. Weed control through crop plant manipulations. In: Jabran, K. and Chauhan, B.S. Non-Chemical Weed Control pp. 73-96.
30. Makinde, E. A., Ayoola, O. T., and Makinde, E. A. 2009. Intercropping leafy greens and maize on weed infestation, crop development, and yield. International Journal of Vegetable Science 15 (4): 402-411.
31. Mpangane, P. N. Z. 2000. Grain yield, biological nitrogen fixation and insect-pest infestation in maize-diverse cowpea variety intercropping systems in the Northern Province (Doctoral dissertation, University of South Africa).
32. Nyawade, S. O., Karanja, N. N., Gachene, C. K. K. Gitari, H. I. Schulte- Geldermann, E., and Parker, M. 2019. Intercropping optimizes soil temperature and increases crop water productivity and radiation use efficiency of rainfed potato. American Journal of Potato Research 96: 457-471.
33. Osang, P. O., Richard, I. B., and Degri, M. M. 2015. Assessment of the agronomic performance of two varieties of soybean as influence by time of introduction of maize and cropping pattern. International Letters of Natural Sciences 4: 36-46.
34. Putnam, D. H., and Allan, D. L. 1992. Mechanisms for over yielding in a sunflower/mustard intercrop. Agronomy Journal 84 (2): 188-195.
35. Rykaczewska, K. 2015. The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. American Journal of Potato Research 92: 339-349.
36. Saeidi, S. M., Siadat, S. A., Moshatati, A., Moradi-Telavat, M. R., and Sepahvand, N. A. 2020. Effect of sowing time and nitrogen fertilizer rates on growth, seed yield and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Ahvaz. Iranian Journal of Crop Sciences 21 (4): 354-367. (in Persian).
37. Schippers, P., and Kropff, M. J. 2001. Competition for light and nitrogen among grassland species: a simulation analysis. Functional Ecology 155-164.
38. Sepahvand, N. A., Tavazoa, M., and Kahbazi, M. 2011. Adaptation and evaluation of quinoa, a valuable new crop in Iran. In: Proceedings of 2nd International Symposium on Underutilized Plant Species. Kuala Lumpur, Malaysia.
39. Seyed, S. M., Rezvani, M. P., Ghorbani, R., and Nassiri, M. M. 2013. The effect of different weed-free and weed-infested periods on growth indices of Black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 408-420. (in Persian).
40. Shahbazian, N., Allah-Moradi, E., and Kamkar, B. 2007. Introduction of amaranth and quinoa for stabilization of marginal lands in Iran. First National Conference on Ecology of Iran. 23 p. (in Persian).
41. Tavoosi, M., and Lotfali Ayeneh, Gh. A. 2017. Quinoa cultivation and the results of quinoa. Projects. Deputy of extension, Agricultural research, education and extension organization (AREEO), The Agricultural Education Publication, Karaj, Iran. pp 29. (in Persian).
42. Thornton, M. K., Malik, N. J., and Dwelle, R. B. 1996. Relationship between leaf gas exchange characteristics and productivity of potato clones grown at different temperatures. American Journal of Potato Research 73: 63-77.
43. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., and Martínez, E. A. 2010. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture 90 (15): 2541-2547.
44. Walters, H., Carpenter-Boggs, L., Desta, K., Yan, L., Matanguihan, J., and Murphy, K. 2016. Effect of irrigation, intercrop, and cultivar on agronomic and nutritional characteristics of quinoa. Agroecology and Sustainable Food Systems 40 (8): 783-803.
45. Wang, N., Wang, F., Shock, C. C., Meng, C., and Qiao, L. 2020. Effects of management practices on quinoa growth, seed yield, and quality. Agronomy 10 (3): 445.
46. Zabih, V., and Saeedipour, S. 2015. Effect of different planting pattern of (rapeseed-broad bean) using replacement series method on yield performance of rapeseed and weed biomass. Journal of Agronomy 14 (4): 286-291.
47. Zimdahl, R. L. 2007. Weed-crop competition, a review. Oregon: International Plant Protection Center, Oregon State University. 196 pp.



Effect of Weeds Control on Crop Growth and Yield in Additive Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and Potato (*Solanum tuberosum* L.) Intercropping

M. Jalali¹, S. V. Eslami^{2*}, S. Mahmoodi², A. Aien³

Received: 21-09-2020

Accepted: 03-01-2021

Introduction

Intercropping system is the growth of two or more crops at the same time, which can lead to decreases in the risk of total crop reduction and increases in yield with control of weeds. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a pseudo cereal with high nutritional value which is approximately a new crop in Iran. So, this research was conducted to assess the effects of additive intercropping of quinoa and potato (*Solanum tuberosum* L.), and the methods of weeds control on yield and yield components of quinoa var. Titicaca in Jiroft and Kahnooj regions.

Materials and Methods

This study was carried out as split plot based on a randomized complete block design (RCBD) with four replications at Jiroft and Kahnooj regions. Therefore, weeds control treatments including control (no-hoeing), manual weeding (twice within 30 days after planting) and paraquat herbicide (3 days after planting of quinoa) were arranged in the main plots, while additive intercropping patterns at five levels (Q:P in the levels of 5:5, 10:5, 15:5, 20:5 and 30:5 plants per m⁻²), quinoa sole cropping (30 plants per m⁻²) and potato sole cropping (5 plants per m⁻²) were located in sub-plots. The effects of quinoa and potato intercropping on plant height, leaves number per plant, leaf area, flowering time, spike maturity and quinoa harvest time, average of grain weight per plant, grain yield and density of weeds as well as potato tuber yield were measured at both regions. Data were analyzed as combined analysis of variance (ANOVA) using SAS ver. 9.2. Means were compared using the least significant difference (LSD) at the 5% level (P = 0.05).

Results and Discussion

The results showed that the effects of quinoa and potato intercropping had significant effects on some characteristics of quinoa including leaves number per plant, leaf area, average of grain weight per plant, grain yield of quinoa, tuber yield of potato and density of weeds. However, intercropping had no effect on some characteristics of quinoa such as plant height, flowering time, spike maturity and quinoa harvest time. Based on the results the highest (19 g per plant) and lowest (13.9 g per plant) average of grain weight per plant were obtained in 20:5 and 5:5 plants per m⁻² treatments, respectively. Whereas, the highest grain yield (4957 and 4863 kg.ha⁻¹) were obtained in sole quinoa and 30:5 plants per m⁻² treatments, respectively. The studied growth characteristics and grain rate per plant in Kahnooj were greater than those in Jiroft. Total land equivalent ratio (LER) index increased with increasing quinoa density in intercropping. The highest total LER was obtained in 30:5 plants per m⁻² treatment in Kahnooj region. Moreover, the effect of manual weeding of weeds on the studied properties were more than that of the application of paraquat herbicide. The results also showed that the intercropping of quinoa and potato led to decreases in density of weeds at both flowering and before harvesting times. So that, the lowest density of weeds was related to the intercropping of quinoa and potato with densities of 20:5 and 30:5 plants per m⁻² treatments. Whereas the highest rate of density of weeds were related to the sole cropping of quinoa and potato treatments, respectively. Moreover, the results showed that intercropping resulted in greater tuber yield of potato, so that the highest potato tuber yield was obtained in 30:5 treatments.

Conclusions

Based on the results, although the highest average grains per plant was obtained in the intercropping of 20:5 treatment, the yield of quinoa decreased with the intercropping of quinoa and potato compared with the quinoa sole cropping. Also, the additive intercropping led to decrease in the density of weeds. Although, it seems that for quinoa cropping the climate of Kahnooj is more suitable than Jiroft, the intercropping of potato and quinoa is suitable for Kahnooj and Jiroft regions.

Keywords: Manual weeding, Multiple-cropping system, Paraquat, Sole cropping, Weeds density

1- PhD student, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Birjand

2- Associate Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Birjand

3- Assistant Professor, Centre of Research, Education and Natural Resources, South Kerman, Jiroft

(*- Corresponding Author Email: sveslami@birjand.ac.ir)



مقاله پژوهشی

ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های جدید کینوا در کشت بهاره در منطقه کرج

محمود باقری^{۱*}، زینب عنافجه^۲، ساسان کشاورز^۳، بیژن فولادی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

چکیده

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd. بومی مناطق آند قاره آمریکا می‌باشد. ژنوتیپ‌های مختلف کینوا تنوع بالایی از نقطه نظر صفات مختلفی چون حساسیت به طول روز، موارد مصرف، اندازه و رنگ بذر، میزان مواد تغذیه‌ای و ضدتغذیه‌ای دانه، تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارا هستند. با توجه به اهداف توسعه‌ای کینوا در کشور، نیاز به ژنوتیپ‌های جدید بسیار ملموس می‌باشد. در این پروژه سیزده ژنوتیپ جدید کینوا شامل ژنوتیپ‌های EQ101، EQ102، EQ103، EQ104، EQ105، EQ106، Atlas، Amiralla، Marangani، Sacaca، Blanka Dejunine، Kancolla، Salsada Inia، Rosada De Huncaya در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به مدت دو سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ EQ101، بالاترین عملکرد دانه و ارتفاع بوته، بیشترین درصد پروتئین دانه و کمترین میزان ساپونین را به خود اختصاص داد. ژنوتیپ‌های EQ103 زودرس‌ترین و ارقام Marangani، Kancolla، Rosada و Salsada دیررس‌ترین ارقام بودند. از طرفی ژنوتیپ EQ105 بالاترین درصد روغن دانه را داشت. ژنوتیپ Marangani نیز ضخیم‌ترین ساقه را در بین تمامی ژنوتیپ‌ها دارا بود. در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه سازگار با کشت بهاره در منطقه کرج هستند.

واژه‌های کلیدی: ساپونین، عملکرد دانه، کشت بهاره

مقدمه

با توجه به تغییرات اقلیمی به‌وجود آمده در دنیا و مخصوصاً در ایران، نیاز به تغییرات جدی در الگوی کشت و همچنین تولید پایدار محصولات مختلف کشاورزی کاملاً محسوس می‌باشد. خشکی و کم‌آبی از یک سو و گسترش زمین‌های شور از طرفی دیگر، نیاز به معرفی گیاهان جدیدی را که در عین رشد و تولید مناسب در شرایط نامناسب، بهره اقتصادی مناسب و قابل قبولی برای کشاورزان را داشته باشند بیش از پیش ضروری ساخته است. در این خصوص نیاز به مطالعه و بررسی گیاهان بومی فراموش شده و همچنین گیاهان جدید دارای پتانسیل بالقوه وجود دارد. یک گزینه پیشنهادی مناسب، گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) با خصوصیات

تغذیه‌ای بسیار مناسب و ایده‌آل، متحمل یا مقاوم به طیف وسیعی از تنش‌های غیرزیستی و قیمت جهانی مناسب برای تولیدکنندگان می‌باشد و تحقیقات بر روی این گیاه از سال ۱۳۸۸ در ایران و در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر آغاز شد. سطح زیرکشت جهانی کینوا حدوداً ۲۰۰ هزار هکتار و متوسط عملکرد جهانی آن نیز تقریباً یک تن در هکتار می‌باشد. پرو، بولیوی و اکوادور اصلی‌ترین تولیدکنندگان کینوا می‌باشند و هم‌اکنون این محصول در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا کشت می‌شود و بسیاری از کشورهای دنیا سرمایه‌گذاری‌های علمی پژوهشی چشمگیری در رابطه با این محصول داشته‌اند و تحقیق و توسعه کینوا در دنیا از حدود یک دهه گذشته رشد چشمگیری را تجربه کرد (FAO, 2017). این گیاه سازگار به شرایط صحرایی و آب و هوای گرم و خشک با محدوده دمایی ۴- تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد است، همچنین متحمل به طیف گسترده‌ای از شرایط اسیدی خاک (pH=۵-۶)، در شرایط خاک‌های ضعیف با شوری متوسط و سطح اشباع کم است. طول دوره زندگی این گیاه بسته به رقم و اقلیم بین ۱۰۰ تا ۲۴۰ روز است (Bhargava and Sirvastava, 2013). همچنین کینوا دارای ارزش بیولوژیکی بالا (۷۳ درصد)، شبیه گوشت گاو (۷۴ درصد) و بیشتر از برنج سفید (*Triticum aestivum* L.) (۵۶ درصد)، گندم (*Zea mays* L.) (۴۹ درصد) و ذرت (۳۶ درصد) می‌باشد (Bastidas et al., 2016).

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

۲- محقق بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

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

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

(*) نویسنده مسئول: (Email: m-bagheri@areeo.ac.ir)

DOI: 10.22067/jcsc.2020.37139.0

معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد کینوا می‌شود به‌طوری‌که افزایش شوری از ۵ به ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۷۷ درصدی عملکرد دانه شد (Beyrami et al., 2020).

از طرفی تنوع بالایی از نقطه نظر صفات کمی و کیفی در ژنوتیپ‌های مختلف کینوا وجود دارد که در این خصوص می‌توان به ژنوتیپ‌های مناسب تولید دانه، ژنوتیپ‌های مناسب تولید علوفه، ژنوتیپ‌های متنوع از نقطه نظر صفاتی چون رنگ و اندازه دانه، میزان ساپونین (میزان تلخی)، تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، حساسیت به طول روز، زمان رسیدگی و غیره اشاره کرد و از این جنبه قابل تقسیم‌بندی هستند (Rojas et al., 2003). هر کدام از این ژنوتیپ‌ها می‌توانند مناسب کشت برای اهداف خاص و در مناطق خاصی از کشور باشند.

خوشبختانه ژنوتیپ‌های جدیدی از کینوا در دسترس قرار گرفته‌اند که تاکنون مطالعه‌ای بر روی آن‌ها در داخل کشور صورت نگرفته بود. لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی مقدماتی خصوصیات کمی و کیفی این ژنوتیپ‌ها و مطالعه سازگاری آن‌ها با کشت بهاره در منطقه کرج می‌باشد. نتایج این مطالعه زیربنای تصمیم‌گیری مراحل بعدی تحقیق و توسعه بر روی این ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌سازد.

مواد و روش‌ها

در این پروژه که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد، سیزده ژنوتیپ جدید کینوا شامل ژنوتیپ‌های EQ101, EQ102, Amiralla marangani, EQ103, EQ104, EQ105, EQ106, Amiralla Sacaca, Blanka Dejunine, Kancolla, Salsada Inia, Rosada De Huncaya, Atlas مورد بررسی قرار گرفتند. باید توجه داشت که اثر ژنوتیپ ثابت و اثر سال تصادفی بوده است. به‌طور کلی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این تحقیق را می‌توان به دو گروه متوسط رس و دیررس تقسیم کرد. ژنوتیپ Atlas و ژنوتیپ‌های با پیشوند EQ در گروه متوسط رس و مابقی ژنوتیپ‌ها در گروه دیررس قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های با پیشوند EQ از کشور کانادا، ژنوتیپ Atlas از هلند و مابقی ژنوتیپ‌ها از کشور پرو دریافت شدند. هر کرت آزمایشی شامل سه خط پنج متری بود. فاصله خطوط کشت ۶۰ سانتی‌متر، فواصل کشت روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های کشت در هر تکرار ۱۸۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها (بلوک‌های آزمایشی) دو متر در نظر گرفته شد. عوامل هواشناسی در دوره رشد و نمو محصول در دو سال آزمایش در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

با توجه به ارزش بالای قیمت کینوا در بازارهای اروپا و آمریکا، در صورت صادرات موجب کسب درآمد ارزی خواهد شد، همچنین پتانسیل درآمد اقتصادی بالا در چرخه تولید و عرضه شامل تولیدکنندگان (کشاورزان)، صنایع فرآوری و زنجیره فروش و غیره برای این محصول متصور است (Jacobsen et al., 1993).

با این‌که تنش شوری بر روی تمام مراحل رشدی کینوا تأثیرگذار بوده و تغییرات فیزیولوژیک در آن ایجاد می‌کند اما ارقام کینوای متحمل به شوری، می‌توانند در این شرایط زنده بمانند و تولید قابل قبولی داشته باشند. ژنوتیپ‌های اولیه وارد شده به کشور غالباً روزکوتاه بوده و در شرایط خاصی تولید بذر داشتند که مشکلاتی را در تعیین تاریخ کشت و استفاده مناسب از فصل کشت به همراه داشت. خوشبختانه در تحقیقاتی که در ایستگاه‌های مختلف موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در سطح کشور انجام شد، ژنوتیپ‌های بی‌تفاوت به طول روز، در دو شرایط "روزکوتاه کشت تابستانه و پاییزه" و "روزبلند کشت بهاره"، با تولید محصول و عملکرد مناسب مشاهده شد. چنان‌چه در آزمایشی خصوصیات کمی و کیفی شش ژنوتیپ کینوا را در کرج مورد مطالعه قرار گرفته و ژنوتیپ‌های برتر تعیین شدند (Abasi et al., 2019). سه نمونه کینوا نیز به نام‌های Sajama, SantaMaria, Sajama و Sajama Iranshahr مقایسه شدند که بالاترین عملکرد (۱۲۵۶ کیلوگرم در هکتار) از رقم SantaMaria حاصل شد (Tavoosi and Sepahvand, 2013). در مطالعه دیگری در سال ۱۳۹۳ سه ژنوتیپ کینوا به نام‌های Sajama, SantaMaria و Sajama Iranshahr در اهواز و چهار تاریخ کاشت ۱۰ و ۲۵ مهر و ۱۰ و ۲۵ آبان‌ماه بررسی شد و تاریخ کاشت ۱۰ مهرماه بالاترین عملکرد (۴/۲ تن در هکتار) را در این منطقه تولید کرد (Tavoosi and Sepahvand, 2015). در تحقیقی که سپهوند و پرکاسی نیز در کرج انجام دادند ژنوتیپ SantaMaria با ۲۴۹۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد را داشت (Sepahvand 2015).

در بررسی واکنش ۱۲ ژنوتیپ کینوا در شهرکرد نشان داده شد که ژنوتیپ‌های Q26, Giza1, Q29, RedCarina و Titicaca به‌ترتیب با عملکرد ۲۵۰۶، ۲۳۰۴، ۲۰۳۱، ۱۸۱۷ و ۱۱۲۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را به خود اختصاص دادند (Molaei, 2017). در تحقیق دیگری ۱۰ ژنوتیپ مختلف کینوا در دو منطقه مشهد و میمه بررسی و بهترین ژنوتیپ‌ها برای هر منطقه مشخص شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ژنوتیپ‌های Q26 و RedCarina در هر دو منطقه میمه اصفهان و مشهد از نقطه نظر صفت عملکرد در برترین گروه تیماری قرار گرفته و لذا برای کشت بهاره در مناطق سرد و معتدل کشور قابل توصیه دانسته شدند (Bagheri et al., 2019). بیرامی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند شوری باعث کاهش

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی ماهیانه در طول فصل رشد کینوا

Table 1- The monthly meteorological parameters during the growth season of quinoa

ماه (Month)	دمای حداقل Tmin (°C)		دمای حداکثر Tmax (°C)		سرعت باد Wind (km.h ⁻¹) speed		رطوبت نسبی Relative humidity (%)		تسعیخ خورشیدی Solar radiation (h)		بارندگی Precipitation (mm)	
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
	year1	year1	year1	year1	year1	year1	year1	year1	year1	year1	year1	year1
اردیبهشت Apr.-May.	9.76	10.5	23.98	23.25	8.35	11	54.84	45.82	240.2	302.6	37.63	12.45
خرداد May.-June.	16.65	17.2	33.65	33.78	9.68	10.84	45	35.64	309.4	356.8	40.06	2.82
تیر June.-July.	20.57	19.4	39.37	38.12	7.06	10.32	23.28	31.7	378.5	351.8	0	0
مرداد July.-Aug.	21.21	21.17	37.46	38.71	7.41	8.5	30.03	33.05	352.7	320.5	0	0

به شدت تکان داده شدند (۴ ضربه در ثانیه). کف حاصل به مدت ۱۰ ثانیه حل شد، سپس یک لرزه نهایی به آن داده شد و ارتفاع کف از بالای آب اندازه‌گیری شد. میزان ساپونین به‌ازای هر گرم وزن دانه تازه با استفاده از رابطه (۱) برآورد شد (Kozioł, 1991).

$$\text{Saponin (mg)/Fresh weight} = (0.423) * \text{foam height (cm)} + 0.008 / \text{Sample weight (g)} \quad (1)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل صفات اندازه‌گیری شده مشخص نمود که کلیه صفات به‌جز روز تا جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ژنوتیپ قرار گرفتند (جدول ۲). اما صفات ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، قطر ساقه، درصد روغن و روز تا رسیدگی از اثر متقابل ژنوتیپ در سال تأثیر نپذیرفتند. اثر سال نیز برای عملکرد دانه، روز تا گرده‌افشانی، میزان ساپونین و درصد روغن معنی‌دار شد. آزمون بارتلت نشان داد که صفات مورد بررسی در دو سال تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند لذا تجزیه مرکب انجام شد و از آنجا که هدف بررسی ژنوتیپ‌های برتر بوده، میانگین دو سال مورد تجزیه قرار گرفت.

نتایج این آزمایش در مورد اکثر صفات بررسی شده با نتایج تحقیقات مطالعه صفات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در مناطق مشهد، اصفهان، ایرانشهر و شهرکرد مطابقت دارد (Bagheri *et al.*, 2019; Miri, 2017; Molaei, 2016). با توجه باید در نظر داشت که منشاء متفاوت (از کشورهای پرو، کانادا و هلند) و خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این آزمایش باعث وجود تفاوت معنی‌دار در صفات مختلف شد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ برای صفات مورد مطالعه، مقایسات میانگین صفات در سطح یک درصد برای صفات مورد مطالعه انجام پذیرفت که نتایج مربوطه در جدول ۳ آورده شده است.

آماده‌سازی زمین در فروردین و کشت بذور در نیمه دوم اردیبهشت انجام شد. تهیه بستر کاشت شامل شخم، کودپاشی، دیسک و ایجاد جوی و پشته بود. کشت به‌صورت ردیفی (جوی و پشته) انجام شد، بدین صورت که وسط پشته با فوکا شیار داده، بذور به‌صورت دستی کشت شدند و بر روی بذور مخلوطی از ماسه بادی، کود دامی الک شده و خاک نرم ریخته شد و عمق کاشت حدود ۲-۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود ازته به میزان ۱۵۰ کیلوگرم ازت در هکتار در سه مرحله کاشت، ۲۰-۱۵ سانتی‌متری بوته‌ها و شروع گلدهی، کود مونوفسفات پتاسیم به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار به‌صورت تزریق با سیستم آبیاری، یک ماه پس از کشت و محلول‌پاشی کود کامل ماکرو میکرو و کود سولوپتاس به میزان ۳ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب در مراحل ظهور گل‌آذین و پرشدن دانه استفاده شد. اولین آبیاری درست پس از کشت بذور انجام شد. آبیاری دوم به فاصله سه روز پس از کشت و آبیاری‌های بعدی به‌طور متوسط هفته‌ای یکبار انجام شد. علف‌کش سوپرگلانت جهت مبارزه با علف‌های هرز باریک برگ در مرحله بحرانی علف‌های هرز، یعنی ۴۰ روز پس از کاشت استفاده شد و کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ نیز با وجین دستی صورت گرفت. در این آزمایش صفات روز تا جوانه‌زنی، روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع گیاه، طول گل‌آذین، قطر ساقه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، میزان ساپونین دانه، درصد روغن و درصد پروتئین دانه بررسی و ثبت شدند. در پایان تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD=5%) و با کمک نرم‌افزار SAS انجام شد. برای بررسی میزان ساپونین، نمونه‌های بذر با استفاده از پروتکل توصیف شده توسط Kozioł (۱۹۹۱) آزمایش شدند. بدین صورت که ۵ گرم بذر خشک شده به لوله تست به طول ۱۶۰ میلی‌متر و قطر ۱۶ میلی‌متر منتقل و ۵ میلی‌لیتر آب اضافه شد. لوله‌ها به مدت ۳۰ ثانیه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر ارتفاع بوته به سه گروه قابل تفکیک می‌باشند. چنان که ژنوتیپ EQ101 و EQ106 به ترتیب با ارتفاع بوته ۱۸۵/۶۷ و ۱۸۴/۳۳ سانتی‌متر و قرار گرفتن در گروه تیماری a بالاترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص دادند و ژنوتیپ‌های EQ102، EQ103، EQ104 و EQ105 به ترتیب با میانگین ارتفاع بوته ۱۶۹/۶۷، ۱۶۴/۶۷، ۱۶۳/۸۳ و ۱۵۸/۶۷ سانتی‌متر در رتبه‌های بعدی از نظر این صفت قرار گرفتند. جالب است که تمامی این ژنوتیپ‌ها با پیشوند EQ و با منشأ کشور کانادا می‌باشند. رقم Atlas که منشأ هلندی دارد با متوسط ارتفاع بوته ۱۵۷/۳۳ در رتبه بعدی قرار گرفته و تمامی ژنوتیپ‌های با منشأ کشور پرو با ارتفاع بوته پایین در رتبه‌های پایین این صفت قرار گرفتند. در این بین رقم Salsada با میانگین ارتفاع بوته ۱۰۶/۹۴ سانتی‌متر و قرار گرفتن در گروه تیماری g پایین‌ترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۳). ارتفاع بالای بوته اگر همراه با عملکرد دانه مناسب نباشد، صفت مطلوبی نخواهد بود تراکم بوته در واحد سطح برگ بر میزان جذب نور توسط پوشش گیاهی اثر گذاشته و در صورتی که پوشش مزرعه بتواند حداکثر نور ورودی را جذب کند، عملکرد افزایش خواهد یافت (Sarjamei et al., 2014)، در غیر این صورت حجم و وزن بالای گل‌آذین و ساقه نسبتاً ضعیف کینوا، احتمال ورس را افزایش می‌دهد، در این صورت اگر هدف تولید علوفه باشد ارتفاع بیشتر بوته قطعاً امتیاز به شمار می‌آید. در مطالعه‌ای که در ترکیه روی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا انجام شد ارتفاع بوته بین ۳۵ تا ۹۳ سانتی‌متر بدست آمد، و رقم Q11 بیشترین ارتفاع بوته را داشت (Naneli et al., 2017). در مطالعات دیگر نیز ارتفاع بوته تحت تاثیر مکان و شرایط محیطی بود (Hirich et al., 2014)

ارقام Rosada، Blanka، Kancolla و Marangani از لحاظ طول گل‌آذین در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش به ترتیب با متوسط طول گل‌آذین ۶۳/۱۶، ۶۲/۲۲، ۶۱/۳۱ و ۶۰/۸۱ سانتی‌متر، بالاترین طول گل‌آذین را به خود اختصاص دادند، در حالی که رقم Atlas با میانگین طول گل‌آذین ۴۲/۵۰ سانتی‌متر و قرار گرفتن در گروه تیماری f کمترین طول گل‌آذین را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در مطالعه‌ای نانلی و همکاران (Naneli et al., 2017) اظهار داشتند که استفاده از ژنوتیپ‌های با گل‌آذین بلند در مطالعات اصلاح نژاد مهم خواهد بود. زیرا بین ژنوتیپ‌ها از نظر طول گل‌آذین بین مکان‌ها، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت، همچنین طول گل‌آذین و عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌داری با هم داشتند.

از نظر قطر ساقه، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این آزمایش دارای اختلاف معنی‌دار (در سطح یک درصد) بودند. این در حالی است که مطالعات قبلی بر روی ژنوتیپ‌های دیگر کینوا خلاف این موضوع را نشان داده بود و در آن مطالعات ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از نظر

صفت قطر ساقه تفاوت معنی‌داری نشان نداده بودند (Bagheri et al., 2019; Miri, 2017; Molaei, 2017). در هر صورت تنوع موجود در منشأ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این آزمایش و تفاوت‌های ژنتیکی موجود و اثر احتمالی عوامل محیطی می‌تواند عامل این تناقض باشد. رقم Marangani با میانگین قطر ساقه ۱۴/۳۶ میلی‌متر بالاترین قطر ساقه را به خود اختصاص داد. و ژنوتیپ‌های EQ104، EQ106 و Atlas با متوسط قطر ساقه ۱۰/۷۷ میلی‌متر حائز حداقل قطر ساقه بودند (جدول ۳). بوته کینوا در فصول پرباران و همچنین مصارف بالای کود ازته به ورس حساسیت دارد، لذا ژنوتیپ‌های با قطر ساقه بیشتر، در مقایسه با ارقام با ارتفاع بلند مقاومت بیشتری به ورس خواهند داشت. بلم و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند افزایش ارتفاع گیاه بر اثر افزایش تراکم در واحد سطح با تجمع بیشتر ماده خشک در واحد سطح همراه است، ولی این امر به کاهش قطر ساقه منجر شده و شرایط لازم برای بروز ورس در گیاهان را فراهم می‌آورد. در تحقیقی با بررسی سازگاری ارقام گیاه کینوا نشان داده شد که رقم sagima بیشترین قطر ساقه (۳/۵۰ سانتی‌متر) و رقم Q29 کمترین قطر ساقه (۲/۱۱ سانتی‌متر) را دارا بودند (Shirin nejad et al., 2019). در مطالعه دیگری کمترین قطر ساقه در ژنوتیپ QP2 مشاهده شد (Sifti et al., 2016). مهم‌ترین صفت مرتبط با عملکرد، یعنی وزن هزار دانه نیز در بین ژنوتیپ‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود. در این صفت ژنوتیپ‌های Sacaca، EQ102 و EQ103 به ترتیب با مقدار عددی ۲/۷، ۲/۶۸ و ۲/۶۸ گرم در گروه برتر و رقم Marangani با میانگین وزن هزاردانه ۱/۱۶ گرم در پایین‌ترین گروه تیماری قرار گرفت. متوسط وزن هزاردانه در کینوا حدود ۲ تا ۶ گرم و در ژنوتیپ‌های زراعی معمول در کشور، بین ۲ تا ۳ گرم می‌باشد. ولیکن همان‌طور که ذکر شد، برخورد مرحله پرشدن دانه با دمای بالای مردادماه، منجر به ریز شدن دانه‌ها و کاهش وزن هزاردانه شد (جدول ۳). اما به‌طور کلی رابطه مثبت و معناداری بین عملکرد دانه و وزن هزاردانه وجود داشت (Bhargava et al., 2007; Mignon and Bertero, 2007)، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌هایی که دارای وزن هزار دانه بیشتری بودند از عملکرد دانه‌ی بالاتری نیز برخوردار بودند. در مطالعه‌ای که در مصر بر روی کینوا انجام شد وزن هزاردانه ژنوتیپ‌های کینوا را بین ۳/۵ تا ۴/۷ به‌دست آمد (Abdelazim, 2018). در مطالعه دیگری نیز این صفت بین ارقام و سال‌های مختلف متفاوت بود. به‌طوری‌که کمترین وزن هزاردانه مربوط به ژنوتیپ Puno با ۱/۳ گرم و بیشترین وزن هزاردانه متعلق به ژنوتیپ Zeno با ۳/۳ گرم بود (Parger et al., 2018).

جدول ۲ - تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ژنوتیپ‌های کینوا
Table 2- Analysis of variance of the measured traits of quinoa genotypes

منابع تغییر Variation source	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	طول گل‌آذین Inflorescence length	قطر ساقه Shoot diameter	وزن هزاردانه 1000- weight	درصد روغن %Oil	درصد پروتئین %Protein	میزان ساپونین Amount of saponin	عملکرد Yield	روز تا جوانه‌زنی Days to germination	روز تا پراکنش Days to Pollination	روز تا رسیدن فیزیولوژیک Days to physiological maturity
سال Year	1	86.20 ^{ns}	33.35 ^{ns}	3.62 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.72 [*]	0.33 ^{ns}	3.08 ^{**}	212370.5 [*]	11.54 ^{ns}	4.63 [*]	2.17 ^{ns}
اشباه ۱ Error 1	4	31.36	16.71	0.53	0.06	0.08	0.12	0.06	9633.47	2.38	0.18	0.67
ژنوتیپ Genotype	12	4724.08 ^{**}	175.92 ^{**}	7.47 ^{**}	0.69 ^{**}	5.25 ^{**}	6.36 ^{**}	13.23 ^{**}	809693.41 ^{**}	1.17 ^{ns}	327.01 [*]	620.96 ^{**}
ژنوتیپ*سال Genotype* Year	12	0.73 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.02 [*]	0.08 ^{ns}	0.11 [*]	0.22 [*]	45876.07 ^{**}	1.20 [*]	0.54 [*]	0.39 ^{ns}
اشباه ۲ Error 2	48	9.88	7.59	0.86	0.01	0.04	0.05	0.10	17037.04	0.58	0.25	0.27
ضریب تغییرات CV(%)	-	2.2	4.7	7.7	4.6	5.4	1.4	9.7	8.4	22.0	0.7	0.3

ns و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪، درصد ۵ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد. **، * و ns indicate significant at 1% probability level, 5% probability and non-significance level, respectively.

جدول ۳ - مقایسه میانگین دو ساله صفات مورد اندازه‌گیری ژنوتیپ‌های کینوا
Table 3- Comparison of the mean traits measured of quinoa genotypes

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	قطر ساقه Shoot diameter (mm)	وزن هزاردانه 1000- weight (gr)	درصد روغن %Oil	درصد پروتئین %Protein	میزان ساپونین Amount of saponin (mg.g ⁻¹)	عملکرد Yield (kg.ha ⁻¹)	روز تا جوانه‌زنی Days to germination	روز تا پراکنش Days to Pollination	روز تا رسیدن فیزیولوژیک Days to physiological maturity
سالسادا Salsada	106.94	59.15	12.39	2.48	2.95	16.67	5.25	1676.11	4	71.67	152
ساکا Sacaca	119.94	58.08	12.29	2.77	2.94	16.85	4.95	1984.44	3.67	75.17	150
مارانگانی Marangani	117.76	60.81	14.36	1.64	2.41	15.57	4.11	796.78	3.33	71.67	152
بلانکا Blanka	124.94	62.22	11.13	1.97	3.70	15.66	5.00	1231.78	3.67	75.67	149
کانکولا Kancolla	118.43	63.16	13.43	2.29	2.71	17.69	4.56	1874.44	3.33	74.67	152
روزانا Rosada	119.80	61.31	11.20	2.32	4.68	17.71	3.91	1178.22	4	73	152
ای‌کیو ۱۰۱ EQ101	185.67	52.50	12.27	2.60	4.49	18.17	0.48	2231.48	3	59.83	132
ای‌کیو ۱۰۲ EQ102	163.83	58.83	12.43	2.72	3.61	16.63	3.00	1617.74	3	61	130
ای‌کیو ۱۰۳ EQ103	169.67	57.17	11.43	2.73	2.97	15.03	2.35	1456.59	4	59	130
ای‌کیو ۱۰۴ EQ104	158.67	59.50	10.77	2.16	2.72	15.42	1.79	1508.74	3	60	135
ای‌کیو ۱۰۵ EQ105	164.67	59.50	12.77	2.02	5.16	15.46	2.60	1444.11	4	61	132
ای‌کیو ۱۰۶ EQ106	184.33	59.50	10.77	2.13	4.72	16.40	1.67	1633.63	3	58	129.83
اتلس Atlas	157.33	42.50	10.77	2.18	4.40	15.60	3.03	1590.52	3	58.83	134
LSD=5%	3.47	2.93	1.01	0.15	0.28	0.30	0.47	183.74	1.15	0.70	0.66

ارزیابی عملکرد دانه که بی‌شک مهم‌ترین صفت مورد بررسی می‌باشد نشان داد، ژنوتیپ EQ101 با متوسط عملکرد ۲۲۳۱/۴۸ کیلوگرم در هکتار و قرار گرفتن در گروه تیماری a بالاترین عملکرد را به خود اختصاص داد. در صورتی که رقم Marangani با متوسط عملکرد ۷۹۶/۷۸ کیلوگرم در هکتار در پایین‌ترین سطح آماری قرار گرفت (شکل ۱). با توجه به تجارب قبلی در مورد فصل کشت، تاریخ کشت و منطقه کشت، پیش‌بینی عملکرد بالاتر از این اعداد بود. ولیکن برخورد مرحله گرده‌افشانی و پرشدن دانه به دمای بسیاری بالای تبر و مرداد، علاوه بر کاهش تعداد دانه تشکیل شده، موجب کاهش وزن هزاردانه نیز شد و در نهایت با کاهش اجزای عملکرد، عملکرد کل دانه کاهش پیدا کرد. استیک و همکاران (Stikic et al., 2012) نیز دلیل کاهش عملکرد کینوا در آزمایش خود را به بارندگی کم و درجه حرارت بالا در طول مرحله حساس یعنی از گلدهی تا پر شدن دانه نسبت دادند. محققین دیگر نشان دادند که ژنوتیپ Sajama با میانگین عملکرد بذر ۹۲۹/۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بذر را داشت و ژنوتیپ Santamaria با میانگین بذر ۸۲۴/۵ و Sajama-Iranshahr با ۷۳۰/۳ کیلوگرم در هکتار در رده‌های بعدی قرار گرفتند (Sepahvand and Parcası, 2015). در مطالعه‌ای دیگر

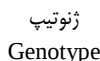


Figure 1- Grain yield of studied genotypes of different origin

بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از نظر میزان ساپونین تنوع زیادی وجود دارد. محتوای ساپونین در بذر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا بین ۰/۲ تا ۵ درصد (۰/۲ تا ۵۰ میلی گرم در گرم وزن تازه) می‌باشد. ارقام با ساپونین بیش از ۱۰ میلی گرم در گرم، ارقام تلخ محسوب می‌شوند که ارقام زراعی کینوا موجود در کشور غالباً جزو این گروه نیستند. ارقام با ساپونین بین ۱ تا ۱۰ میلی گرم در گرم ارقام

(پوست‌گیری)، تر (شستشو) و یا ترکیبی (پوست‌گیری و شستشو) انجام می‌گیرد.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان ساپونین در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در این تحقیق به‌طور متوسط بین ۰/۴۸ تا ۵/۲۵ میلی‌گرم در گرم می‌باشد. ژنوتیپ EQ101 با میزان ساپونین ۰/۴۸ میلی‌گرم در گرم (۰/۰۴ درصد)، حداقل میزان ساپونین را دارا بوده و در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق، تنها ژنوتیپی است که در گروه ارقام کینوا شیرین قرار دارد. که با مطالعات El Hazzam و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

مرور اجمالی جدول ۳ نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های با منشاء کانادایی مقادیر پایین‌تری از ساپونین را در مقایسه با ارقام پروی دارند. ارقام پروی Salsada، Blanka و Sacaca به‌ترتیب با میزان ساپونین ۵/۲۵، ۵/۰۰ و ۴/۹۵ میلی‌گرم در گرم و قرار گرفتن در گروه تیماری بالاترین میزان ساپونین را به خود اختصاص داده‌اند. علی‌رغم مزیت ظاهری ارقام شیرین، متأسفانه این ارقام غذای مناسبی برای پرندگان بوده و معمولاً مزارع ارقام کینوا شیرین با مشکل هجوم پرندگان و تلفات بالا مواجه هستند (Graf et al., 2015). مضاف به این‌که معمولاً وجود ساپونین در گیاهان سطح مقاومت یا تحمل به آفات و بیماری‌ها را بالاتر می‌برد و لذا وجود ساپونین علی‌رغم ایجاد تلخی دارای مزیت می‌باشد. به‌طوری‌که ژنوتیپ جسی در مطالعه Prager و همکاران (Parger et al., 2018) به‌دلیل شیرین بودن مقاومت کمی در برابر هجوم حشرات و آفات داشت. در بررسی محتوای ساپونین ژنوتیپ‌های کینوا در ایتالیا نشان داده شد که این میزان بین ۰/۱ تا ۱/۸ درصد متغیر بود و ژنوتیپ Q12 کمترین مقدار را دارا بود و این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ شیرین برای استفاده در برنامه‌های بهبود ژنتیکی بعدی انتخاب شد (Santis et al., 2016). در مطالعه مروی که آنکلی و همکاران (Angeli et al., 2020) بر روی خصوصیات ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در مکان‌های متفاوت انجام دادند میزان ساپونین را تا ۶/۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک گزارش کردند. به‌طوری‌که ژنوتیپ جسی (با صفر میلی‌گرم در گرم) شیرین‌ترین (Prager et al., 2018) و ژنوتیپ Q52 با ۶/۱ میلی‌گرم در گرم تلخ‌ترین ژنوتیپ بود (Ahumada et al., 2016).

تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های کینوا برای صفت درصد پروتئین، اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد را نشان داد (جدول ۲). جدول مقایسات میانگین نمایانگر آن است که درصد پروتئین در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بین ۱۸/۱۷-۱۵/۰۳ درصد متغیر می‌باشد. تحقیقات پیشین اعداد متفاوتی برای میزان پروتئین در دانه کینوا بیان کرده‌اند که در مجموع بین ۱۰ تا ۲۳ درصد متغیر بوده است (Bhargava and Sirvastava, 2013; Singh et al., 2016; FAO, 2017). ژنوتیپ EQ101 با ۱۸/۱۷ درصد پروتئین و قرار گرفتن در گروه تیماری برتر بالاترین میزان پروتئین دانه را به خود اختصاص داده

است. ژنوتیپ‌های Rosada و Kancolla نیز به‌ترتیب با ۱۷/۶۹ و ۱۷/۷۱ درصد پروتئین دانه در رتبه بعدی از نظر این صفت قرار دارند. کمترین میزان پروتئین نیز مربوط به ژنوتیپ EQ103 با ۱۵/۰۳ درصد می‌باشد که منجر به قرار گرفتن این ژنوتیپ در پایین‌ترین گروه تیماری شده است (جدول ۳). درصد بالای پروتئین موجود در دانه‌های کینوا، عاری بودن این دانه‌ها از گلوتن و شامل بودن تمامی اسیدهای آمینه ضروری، یکی از اصلی‌ترین دلایل برای ارزش غذایی بسیار بالا در این ماده غذایی است. میزان پروتئین نمونه‌ها تفاوت زیادی نداشتند و در حدود ۱۲/۴ درصد بود. در مطالعه مروی Angeli و همکاران (Angeli et al., 2020) میزان پروتئین ژنوتیپ‌های کینوا در مکان‌های مختلف از ۱۱ تا ۱۸ درصد متغیر بود. چنانچه رقم Cahuil در شیلی دارای کمترین (Miranda et al., 2012) و رقم Salsedo نیز در شیلی واجد بیشترین میزان پروتئین بودند (Reguera et al., 2018).

درصد روغن در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بین ۵/۱۶-۲/۴۱ متغیر می‌باشد (جدول ۳). ژنوتیپ‌های EQ105 و Marangani به‌ترتیب با ۵/۱۶ و ۲/۴۱ درصد بالاترین و کمترین درصد روغن را بین سیزده ژنوتیپ مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. مطابق بررسی‌های پیشین، میزان روغن در دانه‌های کینوا بین ۲ تا ۹ درصد می‌باشد (Kozioł, 1993) که این مطالعه نیز موید این مطلب بود. در مطالعه‌ای بیشترین میزان روغن را در ژنوتیپ Q52 در ایتالیا با ۷/۸ درصد (Pulvento et al., 2010) و کمترین مقدار در ژنوتیپ ساجما در پرو با ۴/۱ درصد روغن گزارش شد (FAO, 2007).

ویژگی تعداد روز تا گرده‌افشانی در کینوا صفت بسیار مهمی می‌باشد و نقش انکارناپذیری در تعیین تاریخ کشت کینوا دارد. تاریخ کشت ارقام مختلف کینوا باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که حتی‌الامکان دوره گرده‌افشانی مصادف با متوسط دمای شبانه‌روزی بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد. در این محدوده دما بالاترین درصد تشکیل دانه را شاهد خواهیم بود. ژنوتیپ‌های Blanka، Sacaca و Kancolla با متوسط ۷۵/۳۳، ۷۵ و ۷۴/۶۷ روز واجد بالاترین تعداد روز تا گرده‌افشانی شدند و به کلامی دیگر ارقام دیرگل‌ده می‌باشند، لذا ضروری است که نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها تاریخ کشت زودتری داشته باشند. از سوئی دیگر، ژنوتیپ EQ106 با متوسط ۵۸ روز تا گل‌دهی زودگل‌ده‌ترین ژنوتیپ بود (جدول ۳). محققین زیادی تاثیر شرایط محیطی را بر زمان گرده‌افشانی گزارش دادند (Bois et al., 2006; Curti et al., 2016). همچنین در تحقیقی در ترکیه گرده‌افشانی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در محدوده زمانی ۷۶ تا ۹۱ روز انجام شد (Naneli et al., 2017).

تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک تعیین‌کننده زودرسی، متوسط‌رسی و دیررسی ارقام می‌باشد. اهمیت این صفت به‌خصوص از

بیشترین زمان تا رسیدگی فیزیولوژیک را طی نمود (Sifti et al., 2016).

نتیجه‌گیری

مطالعه انجام شده نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تمامی صفات مورد مطالعه دارای تنوع و اختلاف معنی‌دار بودند و نتایج حاصل برای میزان درصد پروتئین، روغن و ساپونین منطبق با تحقیقات پیشین در داخل و خارج از کشور می‌باشد. تمامی ژنوتیپ‌های کینوا مورد مطالعه در این تحقیق با کشت بهاره در منطقه کرج سازگاری داشتند. کشت در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه منجر به برخورد مرحله گرده‌افشانی و پرشدن دانه با دمای بالای تیر و مرداد شده و با کاهش اجزای عملکرد شامل تعداد دانه تشکیل شده و وزن هزاردانه موجب کاهش عملکرد شد. مضاف به این‌که رسیدگی دانه‌های کینوا در فصول مرداد و شهریور، به دلیل نبود غذای کافی برای پرندگان در این مقطع زمانی، خسارت هجوم پرندگان را در پی دارد. پیشنهاد می‌شود که بررسی‌های تکمیلی بر روی سازگاری این ژنوتیپ‌ها برای کشت تابستانه در منطقه کرج و بر روی تاریخ مناسب کشت برای هر ژنوتیپ انجام پذیرد. همچنین تحقیقات بیشتر بر روی این ژنوتیپ‌ها در مناطق مختلف کشور و فصول مختلف کشت صورت گیرد و نیز پیشنهاد می‌شود تا تحقیقات بر روی تعداد بیشتری از ژنوتیپ‌ها، در مناطق مختلف و در فصول کشت و تاریخ‌های کشت مختلف انجام و ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط، مناطق و فصول کشت انتخاب و در هر فصل کشت بهترین تاریخ کشت برای هر ژنوتیپ مشخص شود.

دو جنبه بسیار حیاتی و قابل بحث می‌باشد. ژنوتیپ‌های زودرس تعداد دور آبیاری‌های کمتری را نیاز دارند و لذا صرفه‌جویی در مصرف آب، به‌خصوص در مناطق کم‌آب را به دنبال دارند. از طرفی دیگر، در کشت بهاره کینوا، اگر به دنبال کشت دوم بعد از برداشت کینوا باشیم، این امکان در ارقام زودرس‌تر قابل حصول‌تر است. مخصوصاً که با تغییر تاریخ کشت بهاره کینوا از اردیبهشت و خرداد به اسفند و فروردین در مناطق معتدل کشور، امکان کشت دوم مخصوصاً با ارقام زودرس کاملاً محتمل خواهد بود. از نقطه نظر این صفت، ارقام Rosada, Kancolla, Marangani و Salsada با میانگین ۱۵۲ روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، دیررس‌ترین ارقام می‌باشد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، دیگر ارقام با منشاء پرو این تحقیق، وضعیت نسبتاً مشابهی با این رقم داشته و دیررس می‌باشند. نتیجه این‌که علاوه بر دقت در تاریخ کشت زود بهاره این ارقام، امکان کشت این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان کشت دوم در مناطق سرد و معتدل سرد ممکن نمی‌باشد و برداشت مصادف با بارش‌های آبان و آذر خواهد بود. از سویی دیگر ژنوتیپ EQ106 در فاصله ۱۲۹/۸۳ روز از زمان کشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، زودرس‌ترین ژنوتیپ این تحقیق بوده و همراه با سایر ژنوتیپ‌های با منشاء کانادایی در حدود ۴ ماه و اندی قابلیت کشت تا برداشت دارند. یادآوری می‌شود که با توجه به اثر متقابل تاریخ کشت و دوره رسیدگی، پیش‌بینی می‌شود که در کشت تابستانه این ژنوتیپ‌ها در مناطق معتدل و یا کشت پاییزه آن‌ها در مناطق گرمسیری کشور مثل خوزستان، جیرفت، هرمزگان و ایرانشهر، تعداد روز تا رسیدگی اعداد کمتری از کشت بهاره باشد (جدول ۳). در تحقیقی در گرگان نشان داده شد که ژنوتیپ QP3

References

1. Abasi, S., Cordnaeich, A., and Bagheri, M. 2019. Evaluation of genetic diversity of new chenopodium quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars based on agromorphological traits. 15th National Congress of Agronomy and Plant Breeding, September 2019, Karaj, Iran.
2. Abdelazim Sayed, A. A. 2018. Chemical and technological evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivated in Egypt. Journal of Acta Scientific Nutritional Health 2 (7): 42-53.
3. Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., and Benítez, R. 2016. Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): UN subproducto con alto potencial biológico. Rev. Colomb. Cienc. Journal of Quimico Farm 45: 438-469.
4. Bagheri, M., Zamani, M. R., Shouride, H., Molaei, A. R., Mansourian, A. R., and Heydari, F. 2019. Evaluation of compatibility of quinoa Genotypes in Mashhad and Isfahan. Final Research Project Report, Agricultural Research and Information Center, Registration No. 53795 (in Persian with English abstract).
5. Balem, Z., Modolo, A. J., Trezzi, M. M., Vargas, T. O., Baesso, M. B., Brandelero, E. M., and Trogello, E. 2014. Conventional and twin-row spacing in different population densities for maize (*Zea mays* L.). African Journal of Agriculture Research 23: 1787-1792.
6. Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A. D., Massanes, T., and Gomis, R. 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. Journal of Nutrition and Food Science 6 (3): 104-114.
7. Beyrami, H., Rahimian, M. H., Salehi, M., and Yazdani-Biouki, R. 2020. Effect of different levels of irrigation water salinity on quinoa (*Chenopodium quinoa*) yield and yield components in spring planting. Journal of Crop Production 12 (4): 111-120.
8. Bhargava, A., and Srivastava, S. 2013. Quinoa Botany, Production and Uses. CABI.

9. Bhargava, A., Shukla, S., and Ohri, D. 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Field Crops Research 101: 104-116
10. Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffaillac, J. P., and Rocheteau, A. 2006. The response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature effects on germination, phenology, growth, and freezing. Euran Journal of Agronomy 25: 299-308.
11. Curti, R. N., Vega, A. J., Andrade, A. J., Bramardi, S. J., and Bertero, H. D. 2016. Adaptive responses of quinoa to diverse agro-ecological environments along with an altitudinal gradient in North West Argentina. Journal of Field Crops Research 189: 10-18.
12. El Hazzam, Kh., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., EL Kacimi, K., and Yasri, A. 2020. An insight into saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A Review. Journal of Molecules 25 (5): 1059.
13. FAO. 2017. Faostat. Available at: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
14. FAO/INFOODS Databases "Food Composition Database for Biodiversity Version 4.0–BioFoodComp4.0. 2007. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i7364e.pdf>.
15. Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeon, M. E., Raskin, I. 2015. Innovations in healthvalue and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 14: 431-445.
16. Hirich, A., Choukr-Allah, R., and Jacobsen, S. E. 2014. Quinoa in Morocco- Effect of sowing dates on development and yield. Journal of Agronomy and Crop Science 1-7.
17. Jacobsen, S., and Stolen, O. 1993. Quinoa - Morfology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. Euran Journal of Agronomy 2 (1): 19-29.
18. Koziol, M. J. 1991. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Journal of Science Food Agriculture 54: 211-219.
19. Koziol, M. J. 1993. Quinoa: a potential new oil crop. New crops. Wiley, New York. Latinreco. 1990. Quinua. Hacia su cultivo comercial. Latinreco S.A. Quito, Ecuador.
20. Martinez, E. A., Veas, E., Jorquera, C., San Martin, R., and Jara, P. 2009. Re-introduction of quinoa into arid Chile: cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. Journal of Agriculture Crop Science 195: 1-10.
21. Mignone, C. M., and Bertero, H. D. 2007. Identificación del período crítico de determinación del rendimiento en quinoas de nivel del mar. Proceedings of the Congreso Internacional de la Quinua, 23-26 October; Iquique.
22. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E., López, J., Rodríguez, M. J., Henríquez, K., and Fuentes, F. 2012. Genetic diversity and comparison of physicochemical and nutritional characteristics of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes cultivated in Chile. Journal of Food Science Technology 32: 835-843.
23. Miri, Kh. 2017. Evaluation of compatibility of quinoa genotypes to Iranshahr region. Final report of the research project. Baluchestan Agriculture and Natural Resources Research and Training Center (IRANSHAHR). Agricultural Research and Extension Research Organization. (in Persian with English abstract).
24. Molaei, A. 2016. Evaluation of adaptation and response of some quinoa cultivars to day length in Shahrekord. Final report of the research project. Chaharmahal & Bakhtiari Province Agricultural and Natural Resources Research and Training Center. Agricultural Research and Extension Research Organization. (in Persian with English abstract).
25. Naneli, I., and Dokuyucu, T. 2017. Response of the quinoa genotypes to different locations by grain yield and yield components. International Journal of Agriculture Innovations and Research 6 (3): 446-451.
26. Prager, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mastand, B., and Graeff-Honninger, S. 2018. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. Agronomy Journal 8 (10): 1-19.
27. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A. D., Andria, R., Iafelice, G., and Marconi, E. 2010. Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa* genotypes grown under rain-fed conditions in a typical mediterranean environment in south Italy. Journal of Agronomy and Crop Science 196: 407-411.
28. Reguera, M., Conesa, C. M., Gil-Gomez, A., Haros, C. M., Perez-Casas, M. A., Briones-Labarca, L., Bolanos, L., Bonilla, I., Alvarez, R., Pinto, K., Mujica, A., and Bascunan-Godoy, L. 2018. The impact of different agroecological conditions on the nutritional composition of quinoa seeds. Peer Journal, e4442.
29. Rojas, W., Barriga, P., and Figueroa, H. 2003. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. Journal of Food Reveiws International 9: 167-177.
30. Santis, G., Maddaluno, C., Ambrosio, T., Rascio, A., Rinaldi, M., and Troisi, J. 2016. Characterisation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) accessions for the saponin content in Mediterranean environment. Italian Journal of Agronomy 11 (774): 277-281.
31. Sarjamei, F., Khorasani, S., and Nezhad, N. 2014. Effect of planting methods and plant density, on morphological, phenological, yield and yield component of baby corn. Journal of Advance in Agriculture and Biology 2 (1): 20-25.

32. Sepahvand, N. A. 2013. Evaluation of compatibility, agronomic, phenological characteristics and qualitative value of quinoa crop in Iran. Final Research Project Report, Agricultural Research and Information Center, Registration No. 44026.
33. Sepahvand, N. A., and Prcasi, A. 2015. Study of adaptation and agronomic characteristics of quinoa in Iranshahr. 13th Iranian Conference on Agronomy and Plant Breeding Sciences and Third Iranian Seed Science and Technology Conference. (in Persian with English abstract).
34. Shirinnezhad, R., Torabi, M., and Mahmoudi, F. 2019. Evaluation of compatibility of quinoa cultivars in different planting dates and their effects on morphological, physiological and biochemical parameters. Second international and sixth national conference vs. Conventional Agriculture 1-7. (in Persian with English abstract).
35. Sifti, E., Ramezanpour, S., Soltanloo, H., Salehi, M., and Sepahvand, N. A. 2016. Investigation of some morphophenological traits related to yield and early maturity in cultivars Modified quinoa (*Chenopodium quinoa*). Journal of Crop Production 8 (2): 153-169. (in Persian).
36. Singh, S., Singh, R., and Singh, K.V. 2016. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), functional superfood for today's world: A Review. Journal of World Scientific News 58: 84-96.
37. Soliz-Guerrero, J. B., Rodriguez, D. J., Rodriguez-Garcia, R., Mendez-Padilla, G., and Angulo-Sanchez, J. L. 2002. Quinoa saponins: concentration and composition analysis. International Journal of Janick and A. Whipkey (eds.), Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA p. 110-114.
38. Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S. E., Milovanovic, M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. Journal of Cereal Science 55: 132-138.
39. Stuardo, M., and San Martin, R. 2008. Antifungal properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) alkali treated saponins against Botrytis cinerea. Industrial Crops and Products. Journal of Crop Product 27: 296-302.
40. Tavoosi, M., and Sepahvand, N. A. 2013. Effect of planting date on yield and phenological and morphological characteristics of different genotypes of new quinoa in Khuzestan. First International Congress and 13th Iranian Genetic Congress. Shahid Beheshti University. (in Persian with English abstract).
41. Tavoosi, M., and Sepahvand, N. A. 2013. Evaluation of different genotypes of quinoa for yield and other phenological characteristics in khuzestan. 12th Iranian Genetic Congress, Shahid Beheshti University. (in Persian with English abstract).



Evaluation of Quantitative and Qualitative Characteristics of New Quinoa Genotypes in Spring Cultivation at Karaj

M. Bagheri^{1*}, Z. Anafjeh², S. Keshavarz³, B. Foladi⁴

Received: 19-10-2020

Accepted: 27-12-2020

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) is native to the Andean region of South America. Various genotypes of quinoa have a high diversity regarding different traits such as sensitivity to daylength, seed size and color, nutritional and anti - nutritional value of seeds, tolerance to biological and non - nutritional stresses. Considering the development goals of the quinoa, the need for new genotypes is very tangible. Fortunately, new genotypes of quinoa have become available that have not been studied domestically. Therefore, the purpose of this study is to investigate the quantitative and qualitative characteristics of these genotypes and to study their compatibility with spring cultivation in Karaj region. The results of this study provide the basis for deciding the next steps of research and development on these genotypes.

Materials and Methods

In this study, 13 new genotypes of quinoa including Atlas, EQ 101, EQ 102, EQ103, EQ104, EQ105, EQ106, Amiralla Marangani, Amiralla Sacaca, Blanka Dejunine, Kancolla, Salsada Inia and Rosada De Huncaya, have been studied in a randomized complete block design with three replications for two years (2018-2019) at Seed and Plant Improvement Institute, Karaj. Genotypes with the prefix EQ were obtained from Canada, Atlas genotype from the Netherlands and the rest of the genotypes from Peru. Each plot consisted of three rows with 500 cm length and 60 cm × 10 cm of plant density. The distances between replications and planting plots per replication were 180 cm and 200 cm. Data were analyzed using SAS software and means were compared using the least significant difference (LSD) at the 5% level ($P = 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that all traits except days to germination were significantly affected by genotype. However, plant height, inflorescence length, stem diameter, oil percentage and days to maturity did not affect by genotype interaction per year. The effect of year was also significant for grain yield, days to pollination, saponin content and oil percentage. Different origin (from Peru, Canada and the Netherlands) and different morphological characteristics of the studied genotypes caused significant differences in different traits. The EQ101 genotype, showed the highest grain yield and plant height, highest protein content and the lowest amount of saponin. While Marangani genotype with an average yield of 796.78 kg ha⁻¹ had the lowest yield. EQ103 was the earliest and Marangani, Kancolla, Rosada and Salsada genotype were the late genotypes, respectively. On the other hand, EQ105 genotype revealed the highest seed oil content. Marangani genotype had the thickest shoot among all genotypes. Canadian Genotypes have lower levels of saponin than Peruvian genotypes. EQ101 with saponin content of 0.48 mg g⁻¹ (0.04%) had the lowest saponin content and among the studied genotypes in this study, it is the only genotype that belong to sweet quinoa cultivars.

Conclusions

The studied genotypes demonstrated significant diversity and differences in all studied traits. In some traits, the difference between the two groups of genotypes (Canadian or Peruvian) was quite obvious. In this study all quinoa genotypes were compatible with spring cultivation in Karaj region. Genotypes compatible with spring (long day) cultivation usually do not have a problem with summer and autumn cultivation and will most likely be cultivated in all seasons and regions of the country.

Keywords: Saponin, Seed yield, Spring planting

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

2- Researcher of Seed and Plant Improvement Department, Research and Education Center of Agricultural and Natural Resources of Khuzestan, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

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

4- Expert of Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: m-bagheri@areeo.ac.ir)



مقاله پژوهشی

واکنش عملکرد ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) به کاربرد فسفر و شاخص‌های کارایی آن

کامران میرزاشاهی^{۱*}، منصور معیری^۲، فریدون نورقلی پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

به منظور بررسی تاثیر فسفر بر عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی فسفر در ارقام گلرنگ، این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل الف) فسفر در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل و ب) ارقام "گلدشت و صفه"، در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی صفی‌آباد دزفول طی دو سال (۱۳۹۱ و ۱۳۹۳)، اجرا گردید. نتایج نشان داد که برهمکنش تیمارها بر تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق، معنی‌دار بود. در هر دو رقم با افزایش مصرف فسفر، صفات مذکور افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین تعداد طبق بارور (۲۵۲ عدد)، و تعداد دانه در طبق (۲۳/۱۷ عدد)، در سطح ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. برهمکنش سال در فسفر بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه و برهمکنش سال در رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید. بیشترین وزن هزار دانه (۴۲/۴۱ گرم)، و عملکرد دانه (۲۱۸۴ کیلوگرم در هکتار)، با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل گردید. رقم صفه با عملکرد دانه و روغن، ۱۹۷۹ و ۵۹۹ کیلوگرم در هکتار، برتر از رقم گلدشت بود. مصرف فسفر باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف (۶۹ درصد)، و جذب (۸۵ درصد)، گردید. لذا، با توجه به بیشترین نسبت فایده به هزینه (۳۵/۵۱): مصرف ۵۰ کیلوگرم فسفر با بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب (به ترتیب ۰/۷ و ۰/۶۹ کیلوگرم در کیلوگرم)، و نیز انتخاب رقم صفه، قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، کارایی مصرف فسفر، گلرنگ، نسبت فایده به هزینه

مقدمه

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و پس از نیتروژن و پتاسیم از نظر کمی، مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید محصول به‌شمار می‌آید. این عنصر، در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا، و سازوکارهای انتقال انرژی دخالت دارد. همچنین، جزئی از پروتئین‌ها و یاخته‌ها بوده و به عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشاء یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیک، نقش ویژه‌ای ایفاء می‌کند. افزون بر این، فسفر برای تشکیل دانه و توسعه‌ی ریشه ضروری می‌باشد. از این رو، استفاده بهینه از آن یکی از مولفه‌های حائز اهمیت در مدیریت زراعی محسوب می‌گردد (Wei et al., 2017). از طرفی، به دلیل شیمی

پیچیده فسفر در خاک و مطالعات صورت گرفته، بازیابی فسفر در سال اول هشت تا ۳۰ درصد و به‌ندرت پس از ۳۰ سال به ۵۰ درصد، می‌رسد و بقیه آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می‌یابد (Wang et al., 2010). از این رو، ایجاب می‌نماید که جهت حفظ تولید، همه ساله کودهای حاوی فسفر در اراضی دارای کمبود، مصرف شوند. اما، عدم رضایت‌مندی کامل از این روش، به دلیل فرآیندهای اثرگذار بر کاهش قابلیت استفاده آن از یک سو و دلایل زیست‌محیطی و اقتصادی از سوی دیگر، در دو دهه اخیر باعث شد تا دانشمندان روش‌های مختلفی برای بهبود کارایی فسفر از جمله، شیوه وفق دادن گیاهان با شرایط طبیعی خاک‌ها را مد نظر قرار داده و نسبت به انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌هایی که مواد غذایی خاک و کود را با کارایی بالا مصرف می‌کنند، اقدام نمایند (Park et al., 2011). اثر بهینه کودهای شیمیایی فسفر حتی در شرایط کم آبی، به‌ویژه در مرحله رشد زایشی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) می‌تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه سودمند باشد (Heshmati et al., 2017). کاهش عملکرد گلرنگ در پاسخ به کمبود فسفر، بسیار بیشتر از نیتروژن و پتاسیم است (Abbadi and Gerendas, 2011). در این ارتباط نیز، اثرگذاری بسیار معنی‌دار فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ گزارش شد (Golzarfar et

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

۲- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

۳- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

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

(Mirzashahi et al., 2015) و اهمیت شناسایی ارقام فسفر کارا و تحقیقات کم انجام شده در این زمینه برای محصول گلرنگ در ایران، این پژوهش به صورت مزرعه‌ای اجرا گردید. نتایج این تحقیق می‌تواند مشخص نماید که کدام یک از ارقام برای تولید مقدار مشخصی از دانه به مقدار کمتری از فسفر نیاز دارد. این امر می‌تواند به عنوان یک راهبرد سودمند برای شرایط کمبود فسفر در نظر گرفته شود. افزون بر این، به دلیل روند رو به رشد مصرف روغن‌های گیاهی و هزینه زیاد تامین روغن مورد نیاز از طریق واردات؛ نتایج این تحقیق در راستای توسعه کشت گیاه روغنی گلرنگ و در چارچوب مدیریت به‌زراعی (Noushahi et al., 2019)، این محصول موثر خواهد بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد (دزفول) در دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ و در مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا، بر روی یک خاک سری Clayey, mixed, Hyperthermic- Aridic Haplustepts انجام شد. این منطقه بر اساس معیار دومارتن، دارای رژیم آب وهوایی نیمه خشک می‌باشد. برخی ویژگی‌های هواشناسی محل آزمایش در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۴-۱۳۹۳، در جدول ۱ گنجانده شده است. ابتدا قطعه زمینی انتخاب و بعد از عملیات تهیه زمین (آبیاری اولیه، دیسک و تسطیح)، نقشه طرح در محل مورد نظر پیاده و یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و صفات لازم مطابق با دستورالعمل‌های موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (Ali Ahyaie and Behbahani Zadeh, 1993). نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک مورد آزمایش فاقد شوری (کمتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر) و از نظر کربن آلی و به تبع آن نیتروژن کل خاک، فقیر بود. افزون بر این، درصد کربنات کلسیم معادل زیاد و مقادیر فسفر و پتاسیم قابل استفاده، کم بود (جدول ۲).

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- مصرف فسفر در پنج سطح (بدون مصرف فسفر "شاهد"، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۲- دو رقم گلرنگ (گلدشت و صفه). محل تامین بذرهای مورد نظر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان بود. کاشت بذر گلرنگ با تنظیم کارنده آزمایشی چغندرقد (Beta Vulgaris) و به صورت ردیفی و بنا به توصیه بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها پنج سانتی‌متر صورت پذیرفت.

(al., 2012). بررسی اثرات فسفر بر تعداد طبق در بوته، در رقم گلدشت نشان داد که بهترین تیمار از نظر حصول به عملکرد بهینه، تیمار مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل بود (Vafaie et al., 2013). بررسی اثر کود فسفر و آزوسپیریوم بر گلرنگ مشخص نمود که بیشترین ارتفاع و تعداد طبق در بوته از مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار به دست آمد (Heidari et al., 2014). همچنین، بررسی سطوح مختلف نیتروژن و فسفر بر عملکرد دانه گلرنگ در مناطق دیم نشان داد که بهترین تیمار فسفر برای دستیابی به عملکرد بهینه در مراغه و سرارود، به ترتیب ۹۰ و ۳۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار بود (Haghighati Malek and Ferri, 2014). در یک مطالعه گلخانه‌ای مشخص گردید که کاربرد فسفر منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته و عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه، در مقایسه با تیمار بدون مصرف فسفر گردید (Bonfim- Silva et al., 2017). بررسی صورت گرفته، در مورد اثر مصرف فسفر بر گلرنگ نشان داد که با افزایش فسفر، نسبت به تیمار عدم مصرف فسفر به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد ماده خشک گلرنگ گردید (Abbadi, 2017). همچنین، در شرایط دیم مقدار کود فسفر خالص برای دستیابی به عملکرد مطلوب گلرنگ ۳۵ کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. از سویی، با مصرف دو تن در هکتار کود دامی می‌توان این مقدار را نیز به نصف، کاهش داد (Afzal et al., 2017). از طرفی، در بررسی صورت گرفته دیگر در شرایط دیم، مقدار ۴۴ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار، با عملکرد دانه ۱۹۱۴ کیلوگرم در هکتار توصیه گردید (Sofy et al., 2020). مطالعات صورت گرفته حاکی از این است که تفاوت بین گیاهان از منظر کارایی بسته به نوع عنصر و نوع گونه و حتی رقم در هر گونه گیاهی و عوامل محیطی می‌تواند متفاوت باشد (Blackwell et al., 2019). مطالعه صورت گرفته در خاکی با مقدار فسفر قابل دسترس ۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد که شاخص کارایی فسفر ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)، از ۰/۹۲۵ در سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل به ۰/۸۷۴ در سطح ۳۰۰ کیلوگرم کود کاهش معنی‌دار یافت. در این دو سطح کود، کارایی استفاده از فسفر از ۱۴۹ به ۱۳۶ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم فسفر و مقدار کارایی جذب از ۰/۸۴۶ به ۰/۷۳۲ کاهش داشت (Ghaderi and Nourgholopour, 2020). همچنین، مشخص گردید که کارایی جذب فسفر در گلرنگ، از ۰/۷ میلی‌گرم بر میلی‌گرم وزن خشک گیاه در سطح مصرف ۰/۲۵ گرم فسفر خالص در هر گلدان، به ۰/۲۱ میلی‌گرم بر میلی‌گرم وزن خشک گیاه، در سطح مصرف ۲ گرم فسفر خالص در هر گلدان، کاهش داشت (Abbadi and Gerendas, 2011). از این رو، با توجه به کمبود فسفر در سطح وسیعی از مزارع کشور و نیز خوزستان (Tehrani et al., 2012;)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های هواشناسی منطقه محل آزمایش طی دو سال (۱۳۹۱-۹۲ و ۱۳۹۳-۹۴)

Table 1- Some meteorological properties of the test site over two years (2012-13 and 2014-15)

سال (Year)	ماه (Month)	حداکثر (Max.)	درجه حرارت حداقل (Min.)	میانگین (Mean)	میانگین بارندگی (mm)
2012-13	شش ماه دوم 6 months	25	12.35	18.68	44.65
2013	سه ماه اول First 3 months	35.27	20.50	27.89	32
2014-15	شش ماه دوم 6 months	26.40	20.38	23.39	27.35
2015	سه ماه اول First 3 months	36.80	19.10	27.95	6

جدول ۲- میانگین دو ساله برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Two years mean of some physical and chemical properties of the test site soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی O.C (%)	آهک T.N.V	نیترژن کل Total N	فسفر P	پتاسیم K	روی Zn	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	بافت Texture
0-30	1.15	7.79	0.62	47.25	850	7.18	162	1.25	5.8	0.78	3.3	Clay Loam

برای اندازه‌گیری محتوای فسفر دانه، از روش خاکستری خشک استفاده شد. در نهایت، مقدار فسفر از طریق روش طیف‌سنجی نوری و با دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد (Emami, 1996). برای محاسبه شاخص‌های کارایی فسفر بر حسب کیلوگرم در کیلوگرم، از روابط زیر استفاده گردید (Sepehr et al., 2008; Ozturk et al., 2005; Rose and Wissuwa, 2012):

$$PUE = \frac{Y_0}{Y_t} \quad (1)$$

$$PupE = \frac{P_{up0}}{P_{up_t}} \quad (2)$$

$$PutE = \frac{Y}{P_{up_t}} \quad (3)$$

در این رابطه‌ها، PUE: کارایی مصرف فسفر، Y_0 : عملکرد دانه در تیمار شاهد، Y_t : عملکرد دانه در تیمار کود فسفر، PupE: کارایی جذب فسفر، P_{up0} : جذب فسفر در تیمار شاهد، P_{up_t} : جذب فسفر در تیمار کود فسفر، PutE: کارایی استفاده فسفر و Y : عملکرد دانه، می‌باشد. مقدار روغن دانه گلرنگ با استفاده از روش استخراج پیوسته سوکسله اندازه‌گیری شد (Hosseini, 2007). برای بررسی اقتصادی نتایج از نسبت فایده به هزینه (درآمد ناشی از افزایش عملکرد محصول در هر تیمار نسبت به تیمار شاهد به هزینه کود فسفر مصرفی در هر تیمار)، استفاده گردید (PRII, 1996). پس از اطمینان از همگنی واریانس‌ها، با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) انجام گرفت. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

بر اساس نتایج حاصل از آزمون خاک اوره و سولفات پتاسیم، به‌ترتیب هرکدام به میزان ۳۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تعیین و مصرف شدند. نیترژن به میزان یک سوم و فسفر و پتاسیم تماماً هنگام کاشت مصرف شدند. مابقی کود اوره در دو تقسیم مساوی (شروع ساقه رفتن و اوایل گلدهی)، به‌صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. نحوه کاربرد کودهای شیمیایی به‌صورت خاک کاربرد و مخلوط با خاک سطحی صورت گرفت. ابعاد هر کرت ۱۵ متر مربع ("شش خط به طول پنج متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متری")، بود. بوته‌ها در مرحله ۳ تا ۴ برگی تنک و به تراکم ۲۵ بوته در متر مربع رسیدند. برای جلوگیری از تداخل خاک کرت‌های مجاور، بین هرکرت دو متر و همچنین بین تکرارها پنج متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری به‌صورت نشتی و کنترل شده به‌وسیله سیفون انجام گردید. سایر مراقبت‌های لازم زراعی در طول دوره رشد صورت گرفت. قبل از برداشت از هر تکرار تعداد طبق‌های بارور در متر مربع (در سه کادر یک متر مربعی از هر کرت) و تعداد دانه‌های پر (با شمارش دانه‌های پر در ۲۰ طبق) و پس از برداشت وزن هزار دانه (با سه بار شمارش از سه گروه تصادفی هزار دانه‌ای در هر کرت)، محاسبه شدند. عمل برداشت محصول (به ابعاد ۸ متر مربع)، پس از حذف اثر حاشیه و نیم متر از بالا و پایین هر کرت بر روی چهار خط وسط به طول چهار متر انجام گردید. در نهایت تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، جذب فسفر توسط دانه (حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد فسفر دانه)، و شاخص‌های کارایی مصرف، جذب و استفاده فسفر اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث

تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال، رقم و فسفر بر تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که با افزایش میزان فسفر مصرفی در هر رقم، تعداد طبق بارور در متر مربع در هر دو سال آزمایش افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۴). بررسی نتایج مندرج در جدول ۴ نشان می‌دهد که به‌استثنای سطح صفر فسفر، تعداد طبق بارور در سال اول و نیز میانگین دو سال در رقم صفه به‌ویژه در سطوح ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، بیشتر از رقم گلدشت بود. به‌طوری‌که، بیشترین تعداد طبق بارور در متر مربع در سال اول (۲۹۲ عدد) و نیز میانگین دو سال (۲۵۲ عدد)، در رقم صفه در سطح ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده گردید (جدول ۴). در سطح صفر فسفر در سال اول تعداد طبق بارور در رقم گلدشت، هرچند بدون تفاوت معنی‌دار، بیشتر از رقم صفه بود. علت این امر شاید داشتن تعداد شاخه فرعی بیشتر و نهایتاً تعداد طبق بیشتر، در راستای جبران کمبود دو جزء دیگر عملکرد، یعنی تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در این تیمار باشد؛ چرا که عملکرد دانه برآیند حاصل ضرب اجزای عملکرد محسوب می‌گردد (Hashemi dezfouli *et al.*, 1995). از طرفی، در سال دوم تعداد طبق بارور در هر سطح از فسفر مصرفی در دو رقم، تقریباً برابر بود (جدول ۴). همچنین، تعداد دانه در طبق در هر دو سال آزمایش و نیز میانگین آن‌ها در هر دو رقم مورد آزمایش روند افزایشی نشان داد (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در طبق در سال اول (۲۳ عدد) و در سال دوم (۲۶/۳۳ عدد)، به‌ترتیب از مصرف ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مربوط به رقم صفه بود (جدول ۴). افزون بر این، میانگین دو ساله بیشترین تعداد دانه در طبق (۲۳/۱۷ عدد)، هم در سطح ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد که با سطح مصرف ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با تعداد دانه در طبق به تعداد، ۲۲/۳۳ عدد، تفاوت معنی‌دار ملاحظه نشد (جدول ۴). لذا، رقم صفه از حیث تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق، نسبت به رقم گلدشت برتری داشت. تعداد طبق بارور در متر مربع، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد، همراه با تعداد دانه در طبق همبستگی بالایی با عملکرد دانه گلرنگ دارند، به‌طوری‌که با افزایش درجه فراهمی فسفر هم‌زمان با تامین سایر عناصر غذایی از جمله، نیتروژن، افزایش معنی‌دار صفات مذکور مهیا خواهد شد. این امر، از طریق افزایش سنتر کلروفیل، تولید مقدار بیشتری از کربوهیدرات‌های فتوسنتزی راه برای تولید تعداد مریستم‌های آغازنده شاخه‌های فرعی فراهم می‌کند. افزون بر این، در گلرنگ به‌ازای هر شاخه فرعی معمولاً یک طبق نیز تشکیل خواهد شد؛ که این امر، موجب افزایش اجزای عملکرد دانه در گیاه خواهد شد

(Paludo *et al.*, 2017). نتایج مشابهی در این باره گزارش شده است (Bonfim-Silva *et al.*, 2019). گزارش شده است که تفاوت‌های ژنتیکی زیادی بین ارقام گلرنگ وجود دارد. تعداد طبق بارور در گیاه، و به تبع آن تعداد دانه در هر طبق، از جمله‌ی این متغیرها می‌باشند که نقش تعیین‌کننده‌ی در عملکرد دانه گلرنگ بر عهده دارد (Arsalan and Cuplan, 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) دو ساله صفات مورد بررسی در گلرنگ

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	تعداد طبق N. seed per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil (%)	عملکرد روغن Oil yield	دانه فسفر Seed phosphorus uptake	کارایی مصرف فسفر P. use efficiency	کارایی جذب فسفر P. uptake efficiency	کارایی استفاده فسفر P. utilization efficiency
سال Year	1	13953.75**	1234.70**	1440570.15**	29.74*	188326.23*	0.65**	.01**	0.04*	15006.26**
سال در تکرار Year × Rep	4	314**	12.64**	25897.45	3.20**	5800.62**	5.69**	.03**	0.03*	5044.41*
مقدار فسفر Phosphorus Rate	4	11595.98**	66.33**	1868513.06**	12.83**	193658.37**	49.50**	0.38**	0.45**	1185.80**
سال × مقدار فسفر Year × P rate	4	3042.21**	40.69**	86885.36*	8.26**	20490.89*	1.96**	0.004**	0.01**	349.71**
رقم Cultivar	1	4386.15*	2854.39**	150700.82*	268.73**	178080.73**	23.84**	0.002**	0.02**	13299.01**
سال × رقم Year × Cultivar	1	5208.02**	425.28**	370.02**	0.01**	654.88**	1.68**	0.001**	0.01**	376.39**
مقدار فسفر × رقم P rate × Cultivar	4	2536.28**	5.26**	12843.28**	.08**	3166.86**	0.97**	0.002**	0.003**	282.88**
سال × مقدار فسفر × رقم Year × P rate × Cultivar	4	2705.98**	9.01**	682.98**	9.10**	3786.09**	0.45**	0.001**	0.002**	358.68**
خطا Error	36	632.111	6.475	26069.650	5.267	3785.658	1.250	0.004	0.01	1478.261
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	12.4	6.5	8.4	8.2	11.3	13.1	9.3	14.6	16.5

معنی‌دار در سطح یک درصد، * Significant at P<0.05, ** Significant at P<0.01, * without significant difference

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارها بر تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق گلرنگ
Table 4-Comparison of the mean effect of interaction of treatments on the number of fertile head per square meter and number of seed in head of safflower

برهمکنش تیمارها Interaction of treatments (P rate×Cultivar)	تعداد طبق بارور در متر مربع Number of fertile heads in per ²			تعداد دانه در طبق Number of seed in head		
	میانگین دو سال Mean of 2 years			میانگین دو سال Mean of 2 years		
	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014
(G*-0) - گلدشت	232 ^{ab}	122 ^e	176 ^d ^{ef}	12.33 ^e	13.33 ^g	28.83 ^g
(S**-0) - صفه	178 ^{bc}	122 ^e	150 ^f	16.67 ^d	15.33 ^f	16 ^f
(G-50) - گلدشت ۵۰	153 ^c	176 ^d	165 ^{ef}	18.33 ^{cd}	19.33 ^e	18.83 ^e
(S-50) - صفه ۵۰	202 ^{bc}	174 ^d	188 ^{cde}	23 ^a	22 ^c	22.33 ^{ab}
(G-100) - گلدشت ۱۰۰	207 ^{bc}	206 ^c	206 ^{bc}	18.67 ^{cd}	20.33 ^{de}	19.50 ^{de}
(S-100) - صفه ۱۰۰	222 ^b	204 ^c	213 ^{bc}	21.33 ^{ab}	25 ^b	23.17 ^a
(G-150) - گلدشت ۱۵۰	189 ^{bc}	215 ^{cb}	202 ^{bcd}	21.33 ^{ab}	19.33 ^e	20.33 ^{cd}
(S-150) - صفه ۱۵۰	292 ^a	213 ^b	252 ^a	20 ^{bc}	26.33 ^a	23.17 ^a
(G-200) - گلدشت ۲۰۰	216 ^b	219 ^a	218 ^b	19.67 ^{bc}	21 ^{cd}	20.70 ^{cde}
(S-200) - صفه ۲۰۰	283 ^a	218 ^a	251 ^a	16.33 ^d	26 ^{ab}	21.17 ^{bc}

- در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

- In each column means with same letter (s) are not significantly difference by using Duncan multiple rang test at $P \leq 0.05$ probability. * G (Goldasht cultivar), ** S (Soffeh cultivar)

وزن هزار دانه و عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال در مقادیر فسفر و سال در رقم بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه در سال اول (۴۹/۳۲ گرم) و در سال دوم (۳۵/۶۳ گرم)، در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد، هرچند که در سال دوم تفاوت آماری بین سطوح فسفر مصرفی وجود نداشت (جدول ۵). میانگین دو ساله وزن هزار دانه حاکی از این بود که با مصرف فسفر، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری افزایش داشت. بر این اساس، بیشترین وزن هزار دانه (۴۲/۴۱ گرم)، در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). استفاده از کودهای فسفر به‌دلیل افزایش رشد ریشه و به تبع آن افزایش جذب مواد غذایی، سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. از طرفی، برای تولید دانه در گیاهان زراعی، وزن هزار دانه، نشان‌دهنده سلامتی گیاه در طول دوره پر شدن دانه می‌باشد (Jalilian and Heydarzadeh, 2015). از سویی، در هر دو سال مورد بررسی و نیز میانگین دو ساله، وزن هزار دانه رقم گلدشت (۴۶/۲۰ گرم)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم صفه (۳۲/۴۱ گرم)، بود (جدول ۶). وزن هزار دانه بیشتر در رقم گلدشت را می‌توان به تفاوت ژنتیکی دو رقم ربط داد. به عبارت دیگر، وزن هزار دانه از ویژگی‌های متأثر از اثر رقم می‌باشد و تولید بذر سنگین‌تر چنانچه پیشتر ذکر گردید، بیشتر نتیجه انتقال مناسب فتوآسیمیلات‌ها به بذر می‌باشد (Alizadeh and Carapetian, 2006). از طرفی، تجزیه واریانس

مرکب نتایج نشان داد که برهمکنش سال در کود فسفر بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در هر دو سال آزمایش با مصرف فسفر عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون مصرف فسفر (شاهد)، به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۵). در سال اول بیشترین عملکرد دانه (۲۰۸۷ کیلوگرم در هکتار)، از مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد. در سال دوم بیشترین عملکرد دانه (۲۴۴۸ کیلوگرم در هکتار)، در سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده گردید که البته با سطوح ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). بیشترین میانگین دو ساله عملکرد دانه (۲۱۸۴ کیلوگرم در هکتار)، در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد که نسبت به عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف فسفر، ۷۱ درصد بیشتر بود (جدول ۵). پژوهشگران پاسخ متفاوت ارقام گلرنگ به سطوح مختلف کود فسفر را گزارش نموده‌اند (da Anicesio et al., 2015; Sofy et al., 2020). اثر مثبت کود فسفر بر گلرنگ که بر اجزای عملکرد (تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه)، و در نتیجه بر افزایش عملکرد دانه منعکس می‌شود، به دلیل نقش مستقیم این عنصر در فرآیندهای سوخت و ساز گیاه از جمله، در تقسیم و رشد سلول، انتقال انرژی، ساخت مواد آلی، تنفس و فتوسنتز است. همچنین، هرگاه گیاه بتواند مقدار بیشتری از تابش خورشیدی را جذب نماید، می‌تواند با مقدار بیشتری از ذخایر فتوسنتزی در مرحله رشد رویشی، وارد مرحله زایشی شود. در نتیجه، علاوه بر تولید محصول بیشتر، قادر خواهد بود که مقدار بیشتری از آسمیلات‌های

فتوستنتزی را به دانه منتقل نماید و از این طریق باعث افزایش عملکرد دانه شود. از طرفی، تامین بهینه فسفر در هنگام گلدهی باعث افزایش گرده‌افشانی در گیاه می‌شود، چرا که فسفر نقش مهمی در گرده‌افشانی گیاهان دارد. از این رو به نظر می‌رسد، فسفر از راه افزایش اجزای عملکرد می‌تواند موجب بهبود عملکرد دانه و روغن گردد (J. da Silva et al., 2015; Heshmati et al., 2017; Ahmadpour Abnavi et al., 2019). همچنین، عملکرد دانه تحت اثر معنی‌دار رقم قرار گرفت، به‌طوری‌که عملکرد دانه رقم صفه (۱۹۷۹ کیلوگرم در هکتار)، در مقایسه با عملکرد دانه رقم گل‌دشت (۱۸۷۹ کیلوگرم در هکتار)، به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۱A).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح فسفر بر صفات مورد بررسی در گلرنگ

Table 5- Mean comparison of the main effect of phosphorus levels on studied trait in safflower

تیمارها Treatments	وزن هزار دانه 1000-weight seed (g)			عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)			عملکرد روغن Oil yield (kg.ha ⁻¹)			جذب فسفر دانه Seed phosphorus uptake (kg.ha ⁻¹)
Phosphorus levels (kg.ha ⁻¹)	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	میانگین دو سال Mean of 2 years
0	41.43 ^{bc}	31.75 ^b	36.59 ^c	1205.00 ^c	1350.17 ^d	1277.58 ^c	306.94 ^c	366.73 ^d	336.84 ^c	5.33 ^c
50	44.48 ^b	35.30 ^a	39.89 ^b	1715.00 ^b	1944.83 ^c	1829.92 ^b	473.85 ^b	540.31 ^c	507.10 ^b	7.78 ^b
100	49.32 ^a	35.51 ^a	42.41 ^a	2087.00 ^a	2281.50 ^b	2184.25 ^a	594.75 ^a	641.23 ^b	617.99 ^a	9.46 ^a
150	39.10 ^c	35.63 ^a	37.36 ^c	1952.00 ^a	2396.67 ^{ab}	2174.33 ^a	540.63 ^{ab}	707.10 ^a	623.85 ^a	9.86 ^a
200	44.88 ^b	35.65 ^a	40.27 ^b	1913.00 ^{ab}	2448.33 ^a	2180.67 ^a	517.91 ^{ab}	753.64 ^a	635.78 ^a	10.27 ^a

- در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

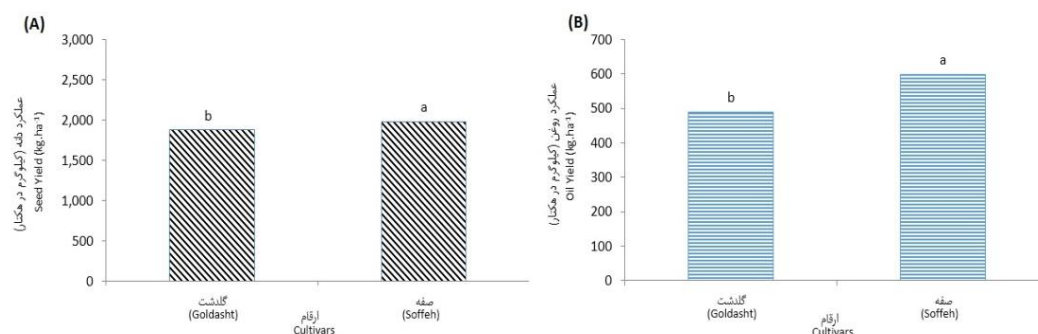
- In each column means with same letter(s) are not significantly difference by using Duncan multiple rang test at $P \leq 0.01$ probability.

درصد روغن و عملکرد روغن

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که فقط اثر رقم بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج دلالت بر این داشت که درصد روغن در رقم صفه به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم گل‌دشت بود، به‌طوری‌که درصد روغن در رقم صفه در مقایسه با درصد روغن رقم گل‌دشت، بیش از ۱۵ درصد بود (جدول ۶). همچنین، برهمکنش سال در مقادیر کود فسفر بر عملکرد روغن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که در سال اول بیشترین عملکرد روغن (۵۹۵ کیلوگرم در هکتار)، در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و در سال دوم (۷۵۳ کیلوگرم در هکتار)، از سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. به عبارت دیگر، با مصرف فسفر در هر دو سال آزمایش عملکرد روغن افزایش معنی‌داری در مقایسه با تیمار بدون مصرف فسفر داشت (جدول ۵). از طرفی، میانگین دو ساله عملکرد روغن نیز از سطح صفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سیر

بنابراین، تفاوت عملکرد دو رقم را می‌توان به تفاوت در اجزای عملکرد (تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) و در نهایت به برآیند آن‌ها نسبت داد که منجر به تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه شده است (جدول ۶). اختلاف بین عملکرد و سایر ویژگی‌های ارقام گلرنگ در آزمایش‌های دیگر گزارش شده است. در این باره، بررسی شاخص‌های گیاهی در ۱۰ رقم گلرنگ در ترکیه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین صفات مورد مطالعه (ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، درصد روغن و عملکرد روغن و دانه)، بود که این تفاوت‌ها به پتانسیل ژنتیکی آن‌ها ربط داده شد (Killi et al., 2016).

صعودی داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن (۶۳۶ کیلوگرم در هکتار)، از مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید که البته با سایر سطوح فسفر مصرفی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). لذا، به دلیل این که عملکرد روغن بیشتر تابع عملکرد دانه است تا درصد روغن دانه، بنابراین روند افزایش عملکرد روغن مشابه افزایش عملکرد دانه در دو رقم و همچنین در سطوح کود مصرفی مزبور بود (شکل ۱B). نتایج مشابهی در این باره توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Jalilian and Heydarzadeh, 2015). جدا از عامل ژنتیک، این ویژگی تا حدود زیادی به‌وسیله مصرف کود از جمله، تامین مقدار بهینه فسفر تعیین می‌شود. مصرف بهینه فسفر به‌دلیل افزایش بیوسنتز اسیدهای چرب موجب افزایش عملکرد روغن در گلرنگ را فراهم می‌کند (Ebrahimian and Soleymani, 2013).



شکل ۱- اثر رقم بر عملکردهای دانه و روغن گلرنگ

Figure 1- The effect of cultivar on seed yield (A), and oil yield (B) of safflower

 Column with same letter(s) are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at $P \leq 0.05$ probability.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی رقم بر صفات مورد بررسی در گلرنگ

Table 6- Comparison mean of the main effect of cultivar on studied indices in safflower

تیمارها Treatments	وزن هزار دانه 1000- weight seed (g)			درصد روغن Oil percent			جذب فسفر دانه Phosphorus uptake seed (kg.ha ⁻¹)		
رقم Cultivar	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years
گلدشت (Goldasht)	48.08 ^a	44.33 ^a	46.20 ^a	25.10 ^b	26.49 ^{ab}	26 ^b	7.52 ^b	8.10 ^b	7.79 ^b
صفه (Soffeh)	39.61 ^b	25.21 ^b	32.41 ^b	29.31 ^a	30.74 ^a	30 ^a	9.35 ^a	9.23 ^a	9.29 ^a

- در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

 - In each column means with same letter(s) are not significantly difference by using Duncan multiple rang test at $P \leq 0.01$ probability.

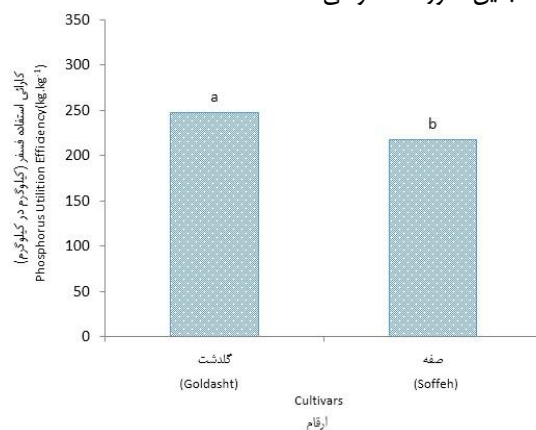
نیز گزارش شده است (Abbadi, 2017). همچنین، میزان جذب فسفر در رقم صفه به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم گلدشت بود (جدول ۶). این موضوع را می‌توان به متفاوت بودن عملکرد و نیز غلظت فسفر دانه بین دو رقم مرتبط دانست. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فسفر بر کارایی مصرف فسفر و کارایی جذب فسفر در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی رقم بر کارایی استفاده فسفر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، نتایج نشان داد که رقم گلدشت کارایی استفاده‌ی بیشتری (۲۴۸ کیلوگرم در کیلوگرم)، در مقایسه با رقم صفه (کارایی استفاده ۲۱۸ کیلوگرم در کیلوگرم)، داشت (شکل ۲). تفاوت گیاهان و یا ارقام درون هر گیاه از منظر تفاوت در کارایی مصرف عناصر غذایی می‌تواند تحت اثر هر دو عامل و یا یکی از این دو عامل؛ یعنی کارایی جذب و استفاده قرار گیرد. از این رو، کارایی مصرف عناصر غذایی از جمله فسفر در واقع تحت اثر هر دو عامل کارایی؛ یعنی کارایی جذب و استفاده است که به‌ترتیب، نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه در جذب فسفر و تولید ماده خشک گیاهی به‌ازای هر واحد فسفر جذب شده می‌باشد (Akhtaret *et al.*, 2008; Duan *et al.*, 2009; Rose and Wissuwa, 2012). بر این اساس، رقم گلدشت از نظر صفت کارایی استفاده که در واقع همان شاخص کارایی فیزیولوژیک یا داخلی است، نسبت به رقم صفه

جذب فسفر توسط دانه و کارایی استفاده، مصرف و جذب فسفر

تجزیه واریانس دو ساله آزمایش بیانگر این بود که جذب فسفر در سطح احتمال یک درصد تحت اثر سطوح فسفر و رقم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که با افزایش فسفر، میزان جذب فسفر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت. ازطرفی، بیشترین مقدار جذب فسفر بین سطوح ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد، هرچند که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. افزایش جذب فسفر را می‌توان به توسعه ریشه، ترشح اسیدهای آلی و یا ترشح یون پروتون داخل ریزوسفر، مرتبط دانست؛ علاوه بر این، با توجه به پایین بودن فسفر قابل جذب (پایین‌تر از حد بحرانی؛ ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پاسخ به کود فسفر محتمل بود (Devi *et al.*, 2012; Hunter *et al.*, 2014). افزون بر این، میزان جذب در سه سطح مذکور از نظر آماری با سطح مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). جذب فسفر در واقع حاصل ضرب درصد فسفر در عملکرد دانه می‌باشد، لذا بر این اساس، نتایج به‌دست آمده دور از انتظار نبود. افزایش جذب فسفر در نتیجه‌ی مصرف کود فسفر در سایر مطالعات

تامین یک عنصر غذایی زیاد می‌شود، دیگر عناصر غذایی عوامل محدودکننده می‌شوند (Balcha, 2014). ارقام گلرنگ از نظر کارایی مصرف و جذب فسفر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). شاخص کارایی جذب در واقع برآیند برهمکنش مولفه‌های مربوط به ریشه (طول ریشه، قطر ریشه، تراکم سطح ویژه ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی و میزان نیاز اندام هوایی به فسفر ریشه) و خاک (از جمله اسیدیته، فسفر محلول و فسفر قابل استخراج)، می‌باشد (Abbadi et al., 2017). لذا، دو رقم مورد بررسی که شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک برای آن‌ها یکسان بوده، احتمالاً از حیث ویژگی‌های متناسب به ریشه مشابه بوده‌اند. از طرفی، در ارتباط با اهمیت شاخص کارایی جذب نسبت به شاخص کارایی استفاده، اختلاف نظر وجود دارد. به‌طوری‌که، عده‌ای از پژوهشگران کارایی جذب را مهم‌تر از کارایی استفاده و بالعکس، عده‌ای دیگر کارایی استفاده را مورد توجه قرار می‌دهند. از سویی، اهمیت هر دو نوع شاخص از منظر پژوهشگران دیگر یکسان تلقی شده است (Ozturk et al., 2005; Yang et al., 2010).

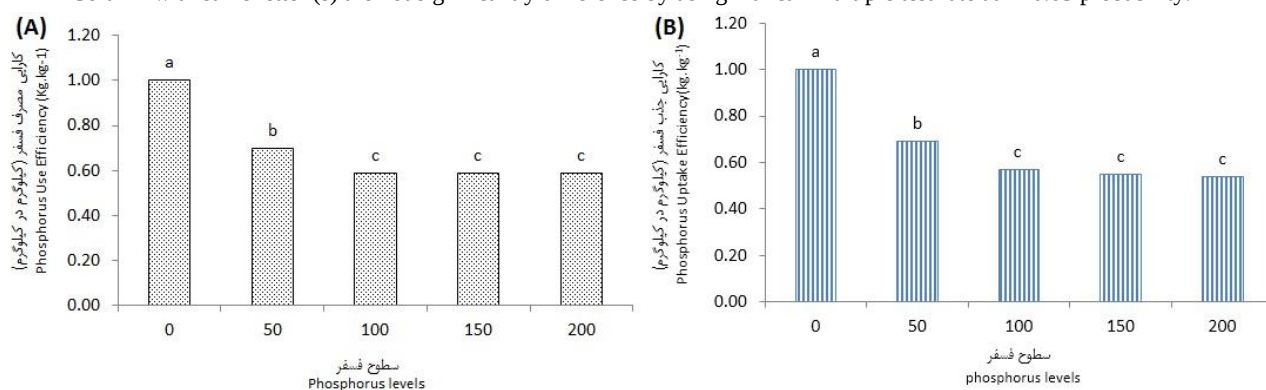
برتری داشت. به بیان دیگر، رقم گل‌دشت سازوکار درونی خود را به‌گونه‌ای تنظیم می‌کند که به‌ازای هر واحد فسفر جذب شده، عملکرد بالایی داشته باشد. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از این بود که با مصرف فسفر در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص‌های کارایی مصرف و جذب فسفر به‌طور معنی‌داری کاهش داشتند (به‌ترتیب ۶۹ و ۸۵ درصد)، به‌طوری‌که تیمار بدون مصرف کود فسفر بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب (۱ کیلوگرم در کیلوگرم)، را داشت. از طرفی، در بین سطوح فسفر مصرفی، بیشترین کارایی مصرف (۰/۷ کیلوگرم در کیلوگرم) و کارایی جذب (۰/۶۹ کیلوگرم در کیلوگرم)، به کمترین مقدار کود مصرفی، یعنی ۵۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص پیدا کرد که با سایر سطوح فسفر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. تفاوت بین کارایی مصرف و کارایی جذب در سطح ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با سایر سطوح مصرفی به‌ترتیب حدود ۱۹ درصد و ۲۵ درصد بود (شکل ۳). بررسی‌هایی در ارتباط با کاهش شاخص‌های کارایی فسفر در اثر کاربرد فسفر در گیاه گلرنگ در شرایط گلدانی گزارش شده است (Abbadi et al., 2017). کاهش شاخص‌های کارایی را می‌توان به قانون عوامل محدودکننده ربط داد؛ بدین صورت که وقتی



شکل ۲- اثر رقم بر کارایی استفاده فسفر در دو رقم گلرنگ

Figures 2- The effect of safflower cultivars on phosphorus utilization efficiency

Column with same letter (s) are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at $P \leq 0.05$ probability.



شکل ۳- اثر سطوح فسفر بر کارایی مصرف و جذب فسفر در گلرنگ

Figure3- The effect of phosphorus levels on use efficiency (A) and uptake efficiency (B) indices in safflower

Column with same letter (s) are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at $P \leq 0.05$ probability.

بررسی اقتصادی نتایج (نسبت فایده به هزینه)

مدیریت بهینه عناصر غذایی یکی از ارکان مهم سامانه کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. در این سامانه، چون تولید اقتصادی محصول همراه با حفظ و پایداری بلند مدت حاصلخیزی خاک مد نظر می‌باشد، ضروری است که با توجه به عملکرد اقتصادی، میزان بهینه کودهای شیمیایی تعیین گردد (Kassray, 1993). از این رو، برای تحلیل

اقتصادی نتایج از نسبت فایده به هزینه (درآمد افزایش عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد به هزینه کود مصرفی)، استفاده گردید (PRII, 1996). بر این اساس، نتایج حاکی از این است که بیشترین نسبت فایده به هزینه به میزان ۳۵/۵۱ از مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و با به‌کارگیری رقم صفه به‌دست آمد (جدول ۷).

جدول ۷- نسبت فایده به هزینه در گلرنگ
Figure 7- Benefit to cost ratio in safflower

تیمارها Treatments	میانگین دو ساله عملکرد دانه Mean of 2 years seed yield (kg.ha ⁻¹)	افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد (۱) Increased seed yield compared to control treatment	درآمد (۲) Income (Extra product price per kg of product)	هزینه استفاده از کود فسفر مصرفی بر حسب تومان (۳) Cost of applied phosphorus fertilizer	نسبت فایده به هزینه* (ستون ۲ تقسیم بر ستون ۳) Benefit to cost ratio
G*-0 (گل‌دشت)	1255	-	-	-	-
S**-0 (صفه)	1301	-	-	-	-
G-50 (گل‌دشت)	1727	472	1458480	55000	26.52
S-50 (صفه)	1933	632	1952880	55000	35.51
G-100 (گل‌دشت)	2162	907	2802630	110000	25.48
S-100 (صفه)	2207	906	2799540	110000	25.45
G-150 (گل‌دشت)	2122	867	2679030	165000	16.24
S-150 (صفه)	2226	925	2858250	165000	17.32
G-200 (گل‌دشت)	2130	875	2703750	220000	12.29
S-200 (صفه)	2231	930	2873700	220000	13.10

* برای محاسبات، هزینه هر کیسه کود سوپر فسفات تریپل ۵۵۰۰۰ هزار تومان و هر کیلو دانه گلرنگ در سال ۹۸-۱۳۹۷ براساس قیمت تعیین شده توسط وزارت جهاد کشاورزی ۳۰۹۰ تومان در نظر گرفته شد.

For calculations, the cost of each bag of triple superphosphate fertilizer was 55,000 Tomans and each kg of safflower seeds in 2018-19 was considered 3090 Tomans based on the price set by the Ministry of Jihad Agriculture. G*(Goldasht) and S** (Soffeh).

نتیجه‌گیری

با توجه به نقش موثر فسفر بر عملکرد دانه و روغن و ضرورت استفاده مناسب از این ماده غذایی با لحاظ نمودن جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی، مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار با بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب فسفر (به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۶۹ کیلوگرم در کیلوگرم) و نیز انتخاب رقم صفه برای دستیابی به بیشترین نسبت فایده به هزینه (۳۵/۵۱)، در شرایط اجرای این آزمایش قابل توصیه می‌باشد. همچنین، پیشنهاد می‌گردد تاثیر منابع مختلف ماده آلی و کودهای زیستی بر عملکرد و نیز بررسی امکان تامین بخشی از فسفر

مورد نیاز گیاه گلرنگ در دستور کار قرار گیرد. از طرفی، مطالعاتی روی آزادسازی فسفات‌های ریزوسفری، پروتون‌ها و اسیدهای آلی در شرایط کمبود فسفر صورت گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه همکاران محترم در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول به‌ویژه همکاران شاغل در بخش تحقیقات خاک و آب که در اجرای این پروژه مساعدت نمودند، قدردانی به عمل می‌آید.

References

- Abbadi, J., and Gerendas, J. 2011. Effects of phosphorus supply on growth, yield, and yield components safflower and sunflower. *Journal of Plant Nutrition* 34: 1769-1787.
- Abbadi, J. 2017. Phosphorous use efficiency of safflower and sunflower grown in different soils. *World Journal of Agricultural Research* 5 (4): 212-220.
- Abbadi, J., Dittert, K., Steingrobe, B., and Claassen, N. 2017. Mechanisms of phosphorous uptake efficiency of safflower and sunflower grown in different soils. *Research in Plant Sciences* 5 (1): 26-42.

4. Afzal, O., Asif, M., Ahmed, M., Awan, F. K., Aslam, M. A., Zahoor, A., Bilal, M., Shaheen, F. A., Zulfiqar, M. A., and Ahmed, N. 2017. Integrated nutrient management of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under rainfed conditions. *American Journal of Plant Science* 8: 2208-2218.
5. Ahmadpour Abnavi, S., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation condition. *Agricultural Science and Sustainable Production* 29 (1): 269-284. (in Persian).
6. Akhtar, M. Sh., Oki, Y., and Adachi, T. 2008. Phosphorus and biomass distribution and Pefficiency by Diversa Brassica cultivars exposed to adequate and p- stress environment. *Journal of Environmental Science and Technology* 1: 111-119.
7. Ali Ahyaiei, M., and Bebahani Zadeh, A. A. 1993. Description of Soil Chemical Analysis Methods. Technical Journal 893. Soil and Water Research Institute. (in Persian).
8. Alizadeh, K., and Carapetian, J. 2006. Genetic variation in a safflower germplasm grown in rainfall cold drylands. *Agronomy Journal* 5: 50-52.
9. Arsalan, B., and Cuplan, E. 2018. Identification of suitable safflower genotypes for the development of new cultivars with high seed yield, oil content and oil quality. *Azarian Journal of Agricultural* 5 (5): 133-141.
10. Blackwell, M., Darch, T., and Haslam, R. 2019. Phosphorus use efficiency and fertilizers: future opportunities for improvements. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 6 (4): 332-340.
11. Balcha, A. 2014. Effect of phosphorus rates and varieties on grain yield, nutrient uptake and phosphorus efficiency of Tef [(*Eragrostis tef* (Zucc)] Trotter. *American Journal of Plant Science* 5: 262-267.
12. Bonfim -Silva, E. M., Dourado, L. G. A., Soares, D. S., Santos, T. M., da Silva, T. J. A., and Fenner, W. 2019. Reactive natural phosphate in safflower fertilization in Cerrado Oxisol. *Journal of Agricultural Science* 11 (15): 142-135.
13. Bonfim-Silva, E. M., Miranda, L. F. S., Das Neves, L. C. R., FreitasSousa, H. H., and Jose, J. V. 2017. Phytometric and productive characteristics of safflower submitted to phosphate fertilization in the Oxisol of the Brazilian Cerrado. *American Journal of Plant Science* 8 (1): 2966-2976.
14. da Anicesio, E. C. A., Bonfim- Silva, E. M., da Silva, T. J. A., and Koetz, M. 2015. Dry mass, nutrient concentration and accumulation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) influenced by nitrogen and potassium fertilizations. *Australian Journal of Crop Science* 9 (6): 552-560.
15. J. da Silva, C., da Silva, A. C., Zoz, T., Victor, B., Toppa, E., Silva, P. B., and Zanotto, M. D. 2015. Genetic divergence among accessions of *Carthamus tinctorius* L. by morphoagronomic traits. *African Journal of Agricultural Research* 10 (25): 4825-4830.
16. Devi, K. N., Singh, L. N. K., Devi, T. S., Devi, H. N., Singh, T. B., Singh, K. K., and Singh, W. M. 2012. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to sources and levels of phosphorus. *Journal of Agricultural Science* 4 (6): 44-53.
17. Duan, H. Y., Shi, L., Ye, X. S., Wang, Y. H., and Xu, F. S. 2009. Identification of phosphorus efficient germplasm in oilseed rape. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1148-1163.
18. Ebrahimian, A., and Soleymani, A. 2013. Growth length and dry matter yield in different stages of safflower as affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4 (5): 963-969.
19. Emami, A. 1996. Plant Analysis Methods. Volume I, Technical Journal No. 982, Soil and Water Research Institute. (in Persian).
20. Ghaderi, J., and Nourgholipour, F. 2020. Effects of Phosphorus on grain yield and phosphorus efficiency indices in canola cultivars in Kermanshah region. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)* 34 (2): 439-453. (in Persian with English abstract).
21. Golzarfar, M., Shiranirad, A. H., Delkhosh, B., and Bitarafan, Z. 2012. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) response to different nitrogen and phosphorus fertilizer rates in two planting seasons. *Zemdirbyste-Agriculture* 99 (2): 159-166.
22. HaghighatiMalek, A., and Ferri, F. 2014. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on safflower yield in dry lands condition. *International Journal of Research in Agricultural Sciences* 1 (1): 2348-23.
23. Hashemi dezfuli, A. H., Koocheki, A., and Banayan, M (Translation). 1995. Maximizing Crop Yields. Mashhad University, Iran. (in Persian).
24. Heidari, M., Sobhkizi, A. R., Mahmoody, M., and Noori, M. 2014. Evaluation of phosphorus fertilizer and azospirillum on number of head, number of branch and plant height on safflower. *International Journal of Biosciences* 5 (1): 455-460.
25. Heshmati, S., Amini Dehghi, M., and Fathi Amirkhiz. 2017. Effects of biological and chemical phosphorus fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids spring safflower in water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 48 (1): 159-169. (in Persian with English abstract).
26. Hosseini, Z. 2007. Description of Common Methods in Food Analysis. Shiraz University, Iran. (in Persian).

27. Hunter, P. J., Teakle, G. R., and Bending, G. D. 2014. Root traits and microbial community interaction on relation availability and acquisition, with particular reference to Brassica. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-18.
28. Jalilian, J., and Heydarzadeh, S. 2015. The effect of cover plants, organic and chemical fertilizers on the qualitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*) . *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 25 (4): 71-85. (in Persian with English abstract).
29. Kassray, R. 1993. An Overview of The Science of plant Nutrition (Translation). Tabriz University, Iran. (in Persian).
30. Killi, F., Kanar, Y., and Tekeli, F. 2016. Evaluation of seed and oil yield with some yield components of safflower varieties in Kahramanmaraş (Turkey) conditions. *International Journal of Environmental and Agricultural Research* 2 (7): 136-140.
31. Mirzashahi, K., Salimpour, S., and Paknejad, A. R. 2015. Fertilizer recommendations for crops and gardens in northern Khuzestan. *Technical Journal*, No. 536. Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (in Persian).
32. Noushahi, H. A., Hussain, M., Bilal, M., Salim, M. A., Idress, F., Jawad, M., Rizwan, M., Atta, B., and Tanveer, K. 2019. Improving phosphorus use efficiency by agronomical and genetic means. *World Journal of Agricultural Science* 15 (2): 47-53.
33. Ozturk, L., Eker, S., Torun, B., and Cakmak, I. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in phosphorus- deficient calcareous soil. *Plant and Soil* 269: 69-80.
34. Paludo, J. S., Bonfim-Silva, E. M., Silva, T. J. A., Zanatto, M. D., Fenner, W., and Koetz, M. 2017. Reproductive components of safflower genotype submitted of bulk density levels in the Brazilian Cerrado. *American Journal of Plant Science* 8 (1): 2069-2082.
35. Park, J. H., Bolan, N., Megharaj, M., and Naidu, R. 2011. Isolation of phosphate solubilizing bacteria, and their potential for lead immobilization in soil. *Journal of Hazardous Materials* 185: 829-36.
36. PRII. 1996. Internal Report. Potash Research Institute of India. Gurgaon, Haryana, India.
37. Rose, T. J. M., and Wissuwa, M. 2012. Rethinking internal phosphorus utilization efficiency: a new approach is needed to improve PUE in grain crops. *Advances in Agronomy* 116: 185-217.
38. Sepehr, E. 2008. Investigation of mechanisms of response of cereals to phosphorus deficiency. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
39. Sofy, S. O., Hama, S. J., and Hamma-Umin, B. O. 2020. Influence of phosphorus fertilizer on yield and oil of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties under rainfed condition. *Applied of Ecology and Environmental Research* 18 (2): 3409-3418.
40. Tehrani, M. M., Balali, M. R., Moshiri, F., and Daryashenas, A. 2012. Recommendation and the estimation of mineral fertilizers in Iran: Challenges and Solutions. *Research of Soil* 26 (2): 123-144.
41. Vafaie, A., Ebadi, A., Rastgou, B., and Moghadam, S. H. 2013. The effects of potassium and magnesium on yield and some physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *International Journal of Agricultural and Crop Sciences* 5 (17): 1895-1900.
42. Wang, X., Shen, J., and Liao, H. 2010. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? *Plant Science* 179 (4): 302-306.
43. Wei, Y., Zhao, Y., Fan, Y., Lu, Q., Li, M., and Wei, Q. 2017. Impact of phosphate solubilizing bacteria inoculation methods on phosphorus transformation and long-term utilization in composting. *Bioresource Technology* 241: 134-41.
44. Yang, G., Zuo, Q., Tang, Y., Shi, J. F., Hui, F. H., and Leng, D. H. 2010. Phosphorus absorbion and utilization of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars.



Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars in Response to Phosphorus Application and Its Efficiency Indices

K. Mirzashahi^{1*}, M. Moayeri², F. Nourgholipour³

Received: 26-10-2020

Accepted: 03-01-2021

Introduction: Phosphorus is the third most important nutrient in crop production after nitrogen and potassium. It is involved in all biochemical processes, energetic compounds, and energy transfer mechanisms. Phosphorus participates in the cellular proteins and cell membrane and nucleic acids. In addition, this element is essential for seed formation and root development. Also, this element recovery in the first year of application estimates to be 8 to 30%, and after 30 years rarely reaches to 50% and its rest is stabilized in the soil and accumulates inaccessibly for most plants. Therefore, in the last two decades, scientists have used various methods to improve the efficiency of phosphorus, including the selection and genetic modification of plants and the adopting agricultural practices such as determining the optimal amount of phosphorus, the right time and method of application and the right fertilizer source. In addition, due to the growing trend of vegetable oil consumption and the high cost of supplying the required oil through imports, the purpose of this study was to determine the optimal rate of phosphorus and selecting the appropriate efficient cultivar in order to extend oilseed crops cultivation.

Materials and Methods: In order to study the response of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.), to phosphorus rates and their efficiency indices, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications during 2012-13 and 2014-15 at Safiabad Agricultural Research Center of Dezful, Khuzestan, Iran. The first factor included five phosphorus levels (0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ as Triple Super Phosphate "TSP"), and the second factor included two cultivars (Goldasht and Soffeh). Safflower seeds were planted by setting up a sugar beet planter, in a row with a distance of 50 cm between rows and a distance of 5 cm between plants. Urea and potassium sulfate were used at 300 and 100 kg ha⁻¹, respectively. One-third of nitrogen and all phosphorus and potassium were used pre planting. The rest of urea fertilizer was applied as top dressing in two equal splitting rates (beginning of stem and early flowering stages). Before harvesting in each replication, the number of fertile heads per square meter (in three boxes of one square meter per plot), and the number of full grains (counting full grains in 20 heads), and after harvesting the weight of 1000 seeds (with three times counts were calculated in three random groups of 1000 seeds per plot). Finally, number of fertile heads per square meter, number of seeds per heads, 1000-seed weight, seed and oil yields, seed phosphorus uptake, and phosphorus efficiency indices were measured.

Results and Discussion: The results showed that the interaction of treatments was significant on the number of fertile heads per square meter and number of seeds per head. In both cultivars, with increasing phosphorus application, the mentioned traits increased significantly. The highest number of fertile heads (252 pieces), and the number of seeds per head (23.17 pieces), were obtained at the level of 150 kg phosphorus ha⁻¹. The interaction between year and phosphorus on 1000-seed weight and seed yield and the interaction between year and cultivar on 1000-seed weight were significant. The highest 1000-seed weight (42.41 g), and seed yield (2184 kg ha⁻¹), were obtained by application of 100 kg phosphorus ha⁻¹. Seed and oil yields of Soffeh cultivar (1979 and 599 kg ha⁻¹, respectively), was superior to Goldasht cultivar. Also, the results showed that Goldasht cultivar had higher utilization efficiency (248 kg kg⁻¹), compared to Soffeh cultivar (218 kg kg⁻¹). Phosphorus application significantly reduced use and uptake efficiency indices (69% and 85%, respectively). So that the treatment without phosphorus application had the highest use and uptake efficiency (1 kg kg⁻¹). The difference between use and uptake efficiency at the level of 50 kg phosphorus ha⁻¹ with other phosphorus levels was about 19% and 25%, respectively.

Conclusions: In general, due to the highest benefit-to-cost ratio (35.51) and use and uptake efficiency indices (0.69 and 0.7 kg .kg⁻¹, respectively), application of 50 kg ha⁻¹ of phosphorus fertilizer and Soffeh cultivar is recommended.

Keywords: Benefit to cost ratio, Phosphorus use efficiency, Safflower, Yield components

1- Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AERRO, Dezful, Iran

2- Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AERRO, Dezful, Iran

3- Assistant Professor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AERRO, Karaj, Iran

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

Contents

Research Articles

- Yield and Water Use Efficiency for Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a Medicinal Plant in Mashhad Condition** 384
P. Rezvani Moghaddam, Gh. A. Asadi, M. Aghavani Shajari, F. Ranjbar
- Effect of Different Intercropping Ratios of Three Bean Ecotypes as Replacement Series on their Physiological Indices** 398
Y. Rameshjan, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Khorramdel
- Evaluation of Plant Models in Simulating Rice Yield under Crop Management in Rasht** 412
P. Aalae Bazkiaei, B. Kamkar, E. Amiri, H. Kazemi, M. Rezaei
- Evaluation of Drought Tolerance in Some Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes Based on Stress Tolerance Indices** 432
H. Asadi, R. Baradaran, M. J. Seghatoleslami, S. G. Mousavi
- Grain Yield and its Components of Triticale as Affected by Silicon Foliar Application, Nitrogen Fertilizer and Water Stress in Reproductive Phase** 447
V. Barati, E. Bijanzadeh
- Effect of Weeds Control on Crop Growth and Yield in Additive Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and Potato (*Solanum tubersum* L.) Intercropping** 464
M. Jalali, S. V. Eslami, S. Mahmoodi, A. Aien
- Evaluation of Quantitative and Qualitative Characteristics of New Quinoa Genotypes in Spring Cultivation at Karaj** 475
M. Bagheri, Z. Anafjeh, S. Keshavarz, B. Foladi
- Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars in Response to Phosphorus Application and Its Efficiency Indices** 488
K. Mirzashahi, M. Moayeri, F. Nourgholipour

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 18

No. 4

2021

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
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://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.18 No.4

2021

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Full Research Papers

- Yield and Water Use Efficiency for Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a Medicinal Plant in Mashhad Condition** 384
P. Rezvani Moghaddam, Gh. A. Asadi, M. Aghavani Shajari, F. Ranjbar
- Effect of Different Intercropping Ratios of Three Bean Ecotypes as Replacement Series on their Physiological Indices** 398
Y. Rameshjan, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Khorramdel
- Evaluation of Plant Models in Simulating Rice Yield under Crop Management in Rasht** 412
P. Aalae Bazkiaei, B. Kamkar, E. Amiri, H. Kazemi, M. Rezaei
- Evaluation of Drought Tolerance in Some Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes Based on Stress Tolerance Indices** 432
H. Asadi, R. Baradaran, M. J. Seghatoleslami, S. G. Mousavi
- Grain Yield and its Components of Triticale as Affected by Silicon Foliar Application, Nitrogen Fertilizer and Water Stress in Reproductive Phase** 447
V. Barati, E. Bijanzadeh
- Effect of Weeds Control on Crop Growth and Yield in Additive Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and Potato (*Solanum tuberosum* L.) Intercropping** 464
M. Jalali, S. V. Eslami, S. Mahmoodi, A. Aien
- Evaluation of Quantitative and Qualitative Characteristics of New Quinoa Genotypes in Spring Cultivation at Karaj** 475
M. Bagheri, Z. Anafteh, S. Keshavarz, B. Foladi
- Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars in Response to Phosphorus Application and Its Efficiency Indices** 488
K. Mirzashahi, M. Moayeri, F. Nourgholipour