

جلد ۱۸ شماره ۲

سال ۱۳۹۹

(شماره پیاپی: ۵۸)

نشریه علمی پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

اثر نیتروژن و تنش کم آبی بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ذرت رقم (SC. 704)..... ۱۳۹
روح الله سرورزاده، حمیدرضا خزاعی، احمد نظامی

اثر محلول پاشی عصاره کودهای آلی بر خصوصیات زراعی و عملکرد کمی و کیفی شش اکوتیپ بادرشبو
(*Dracocephalum moldavica* L.)..... ۱۵۳
رقیه آقایی اوخچلار، رضا امیرنیا، مهدی تاجبخش شیشوان، مهدی قیاسی

ارزیابی کارایی مصرف نور ذرت (*Zea mays* L.) و کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*)
در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط..... ۱۶۷
پرویز رضوانی مقدم، قربانعلی اسدی، بهاره بیچرانلو

اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و موسیر
(*Allium altissimum* Regel.) بر خصوصیات زراعی و نسبت برابری زمین..... ۱۸۱
جواد مشکانی، محمد کافی، سرور خرم دل، فاطمه معلم بنهنگی

شبیه‌سازی اثرات تاریخ کاشت بر رشد و عملکرد نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) توسط مدل
CROPGRO-CHICKPEA..... ۱۹۷
هانیه حاجی شعبانی، فرزاد مندنی، علیرضا باقری

تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز
(*Cuminum cyminum* L.) در شرایط کم آبیاری در مشهد..... ۲۱۳
کمال حاج محمدنیا قالی‌باف، محمد بنایان اول، محمد حسن راشد محصل، نبوشا ولایی، فاطمه یعقوبی، زهرا رشیدی

اثر تراکم کاشت بر میزان جذب و کارایی مصرف تشعشع ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط
کشت مستقیم..... ۲۲۵
فرزین پورامیر، بیژن یعقوبی، یاسر علی‌زاده

اثر محلول پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسیدسالیسیلیک بر تعدیل اثرات مخرب تنش کمبود آب در ذرت
دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays* L.)..... ۲۴۱
فانزه شرقی، ابراهیم خلیل‌وند بهروزیار

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 ۲

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 بنایان 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 شهریار 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

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۲۰ نسخه

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

نمابر: ۳۸۷۸۷۴۳۰

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

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

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- 139 اثر نیتروژن و تنش کم آبی بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ذرت رقم (SC. 704)
روح الله سرورزاده، حمیدرضا خزاعی، احمد نظامی
- 153 اثر محلول پاشی عصاره کودهای آلی بر خصوصیات زراعی و عملکرد کمی و کیفی شش اکوتیپ بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)
رقیه آقایی اوخچالار، رضا امیرنیا، مهدی تاجبخش شیشوان، مهدی قیاسی
- 167 ارزیابی کارایی مصرف نور ذرت (*Zea mays* L.) و کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط
پرویز رضوانی مقدم، قربانعلی اسدی، بهاره بیچرانلو
- 181 اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و موسیر (*Allium altissimum* Regel.) بر خصوصیات زراعی و نسبت برابری زمین
جواد مشکانی، محمد کافی، سرور خرم دل، فاطمه معلم بنهنگی
- 197 شبیه‌سازی اثرات تاریخ کاشت بر رشد و عملکرد نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) توسط مدل CROPGRO-CHICKPEA
هانیه حاجی شعبانی، فرزاد مندنی، علیرضا باقری
- 213 تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط کم آبیاری در مشهد
کمال حاج محمدنیا قالی‌باف، محمد بنایان اول، محمد حسن راشد محصل، نیوشا ولایی، فاطمه یعقوبی، زهرا رشیدی
- 225 اثر تراکم کاشت بر میزان جذب و کارایی مصرف تشعشع ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط کشت مستقیم
فرزین پورامیر، بیژن یعقوبی، یاسر علی‌زاده
- 241 اثر محلول پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسیدسالیسیلیک بر تعدیل اثرات مخرب تنش کمبود آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس 704 (*Zea mays* L.)
فانزه شرقی، ابراهیم خلیل وند بهروزیار



مقاله علمی-پژوهشی

اثر نیتروژن و تنش کم آبی بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ذرت رقم (SC. 704)

روح الله سرورزاده^۱، حمیدرضا خزاعی^{۲*}، احمد نظامی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵

چکیده

به منظور تعیین اثر نیتروژن و تنش کم آبی بر خصوصیات ریشه و عملکرد دانه ذرت رقم (SC. 704)، آزمایشی طی سال زراعی ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. نیتروژن در دو سطح (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) و آبیاری در شش سطح (آبیاری کامل، تنش متوسط کم آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ، تنش شدید کم آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ، تنش متوسط کم آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ و ادامه آبیاری با کم آبیاری، کم آبیاری بعد از مرحله ۶ برگ) بر روی گیاهان اعمال شد. برای اعمال تنش متوسط ۵۵، برای تنش شدید ۴۵ و برای اعمال کم آبیاری ۶۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد و آبیاری بعد از رسیدن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به مقادیر ذکر شده انجام شد. نتایج نشان داد که آبیاری مجدد به همراه کود سرک نیتروژن منجر به تسریع بیشتر رشد گیاهانی شد که در شرایط تنش شدید کم آبی و کمبود نیتروژن قرار گرفته بودند. اندازه گیری ها در مرحله کاکل دهی ذرت نشان داد اثر نیتروژن و آبیاری بر شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ، تعداد ریشه های هوایی، عملکرد، کارایی زراعی مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن در ($P \leq 0.05$) معنی دار شد، ضمن این که اثر نیتروژن بر تعداد و زوایای ریشه های طوقه ای، تعداد ریشه های جانبی در ریشه های طوقه ای در ($P \leq 0.05$) معنی دار بود. با وجودی که بیشترین عملکرد با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری کامل به مقدار ۱۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد با مصرف نیتروژن به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و تنش شدید کم آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ و کم آبیاری متعاقب آن به مقدار ۶۴۹۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، کاهش عملکرد در تنش متوسط کم آبی در مرحله رویشی معادل ۱۱ درصد بود که نشان دهنده مقاومت نسبی گیاه ذرت در این مرحله به تنش کم آبی و سازگاری در شاخساره و ریشه ها برای تعدیل اثر تنش کم آبی در شرایط این آزمایش است.

واژه های کلیدی: ریشه های طوقه ای، ریشه های هوایی، کارایی زراعی مصرف نیتروژن

مقدمه

آب در زراعت ذرت با مشکلاتی همراه می شود که در مواقعی باعث ایجاد تنش کم آبی برای ذرت می گردد (Pandey et al., 2000).

محققان برای کاهش مصرف آب در زراعت ذرت، حذف آبیاری در مرحله رویشی به عنوان مرحله ای از رشد گیاه که مقاومت نسبی به کم آبی دارد با پذیرش افت عملکرد را پیشنهاد کردند (Rabbani and Emam, 2011). آنها اظهار داشتند تنش خشکی در همه مراحل رشد ذرت کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد، لیکن در شرایط کمبود آب می توان با پذیرش افت اندکی در عملکرد دانه، آبیاری در مرحله رویشی را حذف و به سایر گیاهان زراعی اختصاص داد. پژوهشگران اظهار داشتند اعمال تنش کم آبی در مرحله رویشی تفاوت معنی داری با آبیاری کامل ندارد اما کاهش ۲۰ درصدی در عملکرد دانه به خاطر تنش در مرحله زایشی در ارقام میان رس ذرت مشاهده می شود (Mansoori-Far et al., 2010). نتایج سایر محققان نشان می دهد تنش رطوبت در قبل، زمان گلدهی و بعد از آن، عملکرد ذرت را به ترتیب ۲۵، ۵۰ و ۲۱ درصد کاهش می دهد (Osborne et al., 2002). تفاوت در نتایج ذکر شده ممکن است به دلیل تفاوت در زمان و شدت اعمال تنش کم آبی باشد.

در شرایط تنش ملایم تا متوسط، کم آبی از توسعه سلولی ممانعت به عمل آورده و این امر منجر به کاهش توسعه سطح برگ و به دنبال

در سال های اخیر، روش کم آبیاری تنظیم شده^۳، به عنوان بخشی از عملیات صرفه جویی در مصرف آب به شکل گسترده ای در گیاهان زراعی، سبزیجات و تولید میوه جات مورد استفاده قرار گرفته است (Jensen et al., 2014; Intrigliolo et al., 2013; Balester, et al., 2013). کم آبیاری^۴، به عنوان مصرف آب کمتر از نیاز آبی گیاه گفته می شود، مبنای تئوری مزایای کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری این است که گیاهان می توانند بعد از آبیاری مجدد، رشد خود را جبران کنند (Ferrerres and Soriano, 2007). بعضی از محققان گزارش کردند کاهش رشد ناشی از تنش خشکی به خاطر رشد سریع در شرایط فراهمی آب، جبران شده و یا تسریع می شود (Wang et al., 2016). به خاطر کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک و هم زمانی رشد ذرت (*Zea mays* L.) با محصولات تابستانه، تامین

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

(Email: h.khazaie@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.68988

3- Regulated deficit irrigation

4- Deficit Irrigation

فسفر در لوبیا (*Phaseous vulgaris* L.) (Liao et al., 2001) بر زوایای ریشه تاثیر می‌گذارند. در عین این‌که برهمکنشی با نور، اسیدیت، آب و نیترات وجود دارد، برهمکنش با اکسین نیز محتمل است (Vidal et al., 2010). بعضی از پاسخ‌های مورفولوژیکی ریشه‌های ذرت به تنش کمی نیتروژن مشخص شده است. به‌عنوان مثال، تنش کمی نیتروژن باعث افزایش طول ریشه می‌گردد (Gaudin et al., 2011).

با توجه به اهمیت عنصر پرمصرف نیتروژن در تولید ذرت و اهمیت آبیاری در کشت محصولات تابستانه، تعیین عکس‌العمل گیاه ذرت به تنش کم‌آبی و مقدار مصرف عنصر نیتروژن از اهمیت خاصی برخوردار است. ضمن این‌که درک نحوه رشد جبرانی بعد از آبیاری مجدد در گیاهانی که با تنش کم‌آبی مواجه می‌شوند و عوامل موثر بر آن، اطلاعات مفیدی برای سیستم کشاورزی که به دنبال حفظ و ذخیره آب است، فراهم می‌کند. این مطالعه به منظور بررسی تغییرات مورفولوژی در ریشه و تاثیر آن بر عملکرد ذرت در شرایط تنش کم‌آبی و تاثیر سطوح مصرف نیتروژن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ۲۸° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶° ۱۵' شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی منطقه ۲۸۶ میلی‌متر و کمینه و بیشینه دمای مطلق سالانه به‌ترتیب ۲۷/۸- و ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برخی از خصوصیات خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

عوامل آزمایش شامل شش سطح آبیاری و دو سطح مصرف نیتروژن بود، که به‌صورت فاکتوریل در سه تکرار و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در مزرعه اجرا شد. هر کرت شامل چهار ردیف به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود و شش متر طول داشت. فاصله دو متری بین کرت‌ها برای جلوگیری از نفوذ آب و کود در نظر گرفته شد. از ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد. سطوح آبیاری به صورت: آبیاری کامل (W1)، تنش متوسط کم‌آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ (W2)، تنش شدید کم‌آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ (W3)، تنش متوسط کم‌آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ و ادامه آبیاری با کم‌آبیاری (W4)، تنش شدید کم‌آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ و ادامه آبیاری با کم‌آبیاری (W5) و آبیاری کامل تا مرحله ۴ تا ۶ برگ و ادامه آبیاری به‌صورت کم‌آبیاری (W6) اجرا شد.

برای تنش متوسط کم‌آبی قطع آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به ۵۵ درصد FC و برای تنش شدید کم‌آبی قطع آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به ۴۵ درصد FC در نظر گرفته شد، ضمن این‌که برای کم‌آبیاری ۶۵ درصد FC لحاظ شد. مقدار ۵۵ درصد رطوبت ظرفیت

آن کاهش رشد کاکل‌های بلال، کاهش طولیل شدن ساقه و بالاخره با افزایش شدت تنش، باعث کاهش رشد ریشه می‌شود. به‌علاوه تنش شدید خشکی، از تقسیم سلولی ممانعت به‌عمل آورده و حتی با کاهش تنش نیز بافت‌های متاثر شده دیگر دارای توسعه کامل سلول نخواهند بود (Bänziger et al., 2000).

نیتروژن در ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها نقش اساسی دارد و آنزیم رایبوسکو بیش از ۵۰ درصد از پروتئین‌های برگ را تشکیل می‌دهد (Cheng and Fuchigami, 2000). استفاده از نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت می‌شود که به‌خاطر افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بلال در حال نمو می‌باشد (Peng et al., 2014). در عین حال، کمبود نیتروژن باعث کاهش رشد و عملکرد دانه ذرت می‌گردد اما کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد (Ciampitti and Vyn, 2011; Peng et al., 2012).

توانایی گیاه در جذب آب و عناصر غذایی به خصوصیات ریشه مربوط است. ریشه ذرت شامل ریشه جنبی (از ریشه اولیه یا ریشه‌چه، و ریشه‌های بذری تشکیل می‌شود) و سیستم ریشه بعد از جنبی^۱ (ریشه‌های طوقه‌ای^۲ و ریشه‌های هوایی^۳) می‌باشد. ریشه‌های طوقه‌ای در زیر سطح زمین شکل می‌گیرند و ریشه‌های هوایی از گره‌های ساقه در بالای سطح خاک منشاء می‌گیرند. ریشه‌های اولیه، بذری، طوقه‌ای و هوایی به‌عنوان ریشه‌های محوری^۴ نیز شناخته می‌شوند در حالی‌که ریشه‌های که از آن‌ها منشاء می‌گیرند ریشه‌های جانبی^۵ خوانده می‌شوند (Hochholdinger and Tuberosa, 2009).

محققان مختلف توانایی گیاه در تغییر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ریشه را مکانیسم مهمی در مقاومت به خشکی دانسته‌اند. گزارش شده است که نخود (*Cicer arietinum* L.) می‌تواند توزیع ریشه را در خاک که در نتیجه تنش کم‌آبی حادث می‌شود، تغییر داده و در نتیجه از اعماق بیشتر، آب را استخراج کند (Benjamin and Nielsen, 2014). نسبت ریشه به اندام هوایی گیاهان در شرایط کمبود آب افزایش می‌یابد (Noctor et al., 2002). گیاهچه‌های ذرت به پتانسیل کم آب خاک با افزایش انعطاف‌پذیری دیواره‌های سلولی در قسمت انتهایی ریشه سازگاری پیدا می‌کنند (Wu and Cosgrove, 2000). بعد از شروع خشکی، طبیعتاً آب در لایه‌های عمیق‌تر خاک یافت می‌شود. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که دما در ذرت (Nagel et al., 2009) و دسترسی به

- 1- Post embryonic roots
- 2- Crown roots
- 3- Brace roots
- 4- Axile roots
- 5- Lateral roots

زراعی خاک نشان‌دهنده تنش کم‌آبی و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی
خاک در منابع حد آبیاری کامل عنوان شده است (Wang et al., 2016).

جدول ۱- برخی مشخصات خاک محل آزمایش (عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متر)
Table 1- Selected properties of experiment site' soil (0-60 cm depth)

هدایت الکتریکی EC ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic Carbon %	فسفر قابل جذب Phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Potassium (ppm)	نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	سیلت Silt %	شن Sand %	رس Clay %
885	7.65	0.61	32	225	49.3	51.5	24.1	24.3

داشت فاصله بین دو نمونه‌گیری سرعت رشد محصول با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد.

$$CGR = \frac{W2 - W1}{t2 - t1} \quad (2)$$

که در آن W وزن خشک گیاه، t زمان انجام نمونه‌برداری و CGR سرعت رشد محصول بر اساس گرم در مترمربع بر روز است (Koocheki and Sarmadnia, 1998).

فنتوپ ریشه بر اساس روش شاولومیکس^۱ ارزیابی شد (Trachsel et al., 2011). به این منظور پنج بوته در هر کرت بر اساس ارتفاع و ظاهر کلی به شکلی که نمایانگر گیاهان آن کرت بودند با رعایت اثر حاشیه و از وسط کرت برای خارج کردن ریشه‌ها انتخاب شدند. ریشه‌های طوقه‌ای پنج بوته در هر کرت جمع‌آوری شدند و میانگین آن‌ها به صورت خصوصیات یک بوته ثبت شد. در زمان کاکل‌دهی ذرت، با خارج کردن استوانه‌ای از خاک به شعاع ۴۰ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر با مرکزیت قاعده گیاه در مرکز افقی استوانه خاک، ریشه‌ها بیرون آورده شدند. طوقه‌های خارج شده به آرامی لرزانده شدند تا بخش عمده خاکی که به ریشه‌های طوقه‌ای چسبیده بود، جدا شود.

باقیمانده خاک با غوطه‌ور ساختن و لرزاندن ریشه‌های طوقه‌ای در شوینده ملایم با غلظت ۰/۵٪ (شامل سدیم لورت سولفات، کوکومیدوفورل بتائین، کوکامید، استرین اکريلات کپولیم، کلروهیگزیدین گلوکونات و سدیم کلراید) جداسازی شد (Trachsel et al., 2013). در گام سوم، باقیمانده ذرات خاک از ریشه طوقه‌ای با آبشویی در فشار کم جدا شد. در ادامه ریشه‌های تمیز برای اندازه‌گیری خصوصیات تعداد ریشه‌های طوقه‌ای و ریشه‌های هوایی شمارش شدند، نقاله بزرگ برای اندازه‌گیری زوایای ریشه‌های طوقه‌ای و هوایی بر حسب درجه از حالت افقی، مورد استفاده قرار گرفت. به این صورت که زاویه ریشه‌های افقی فرضی به عنوان صفر و ریشه‌های عمودی ۹۰ درجه تقسیم‌بندی شدند. زوایای هفت عدد ریشه طوقه‌ای و هوایی در هر بوته اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین

برای تعیین آب مورد نیاز در هر بار آبیاری، از روش تعیین رطوبت وزنی خاک استفاده گردید، به این منظور، ۲۴ ساعت پیش از هر آبیاری، بسته به عمق توسعه ریشه در مرحله رشدی ذرت (۰-۳۰، ۳۰-۶۰) نمونه‌برداری شد و پس از خشکاندن در آون، میزان رطوبت وزنی خاک تعیین گردید. بر این اساس، میزان آب مورد نیاز برای آبیاری تا رسیدن به رطوبت خاک به حد گنجایش زراعی محاسبه گردید. میزان آب مورد نیاز در هر بار آبیاری، با استفاده از معادله (۱) تعیین شد.

$$dn = \frac{(FC - \theta m) \times \rho b \times D}{100} \quad (1)$$

که dn عمق آب مورد نیاز برای آبیاری، FC حد گنجایش زراعی خاک محل مورد آزمایش بر حسب درصد وزنی، θm رطوبت وزنی خاک، ρb چگالی ظاهری خاک و D عمق نمونه‌برداری از خاک است (Rabbani and Emam., 2011). آب آبیاری با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن به کرت‌ها هدایت شد و حجم آن با استفاده از کنتور اندازه‌گیری گردید. گیاهان تا قبل از مرحله چهار برگی به شکل یکسان آبیاری شدند. سطوح مصرف نیتروژن بر اساس آزمایش خاک و توصیه کودی (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره) و ۵۰٪ آن بود که در ۴ مرحله (پایه، مرحله ۶ برگی، ۱۲ برگی و کاکل‌دهی) به خاک اضافه شد. سایر عناصر غذایی مورد نیاز ذرت بر اساس آزمایش خاک و توصیه کودی مصرف شد. کاشت در تاریخ ۱۰ خرداد انجام گرفت و برداشت در تاریخ ۲۰ مهر صورت پذیرفت. کاشت بذرها با دست در عمق پنج سانتی‌متری به فاصله ۱۸ سانتی متر از هم روی ردیف‌ها انجام شد و تراکم ۷۴۰۰۰ بوته در هکتار در نظر گرفته شد. تعیین مراحل فنولوژیک با رسیدن ۵۰ درصد بوته‌ها به مرحله مورد نظر صورت گرفت. دو ردیف کناری از هر کرت به عنوان حاشیه محسوب و دو ردیف وسط پس از حذف ۰/۵ متر از بالا و پایین ردیف‌ها جهت نمونه‌برداری در طول فصل رشد استفاده شد.

سرعت رشد محصول با اندازه‌گیری وزن خشک شاخساره در زمان رفع تنش کم‌آبی و ۱۰ روز بعد از رفع تنش کم‌آبی با قطع بوته‌ها از سطح خاک و خشک کردن آنها انجام شد. سپس با در نظر

آزمون چند دامنه‌ای دانکن، صورت گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

سرعت رشد محصول (CGR) در زمان رفع تنش و ۱۰ روز بعد از آن

نتیجه تجزیه واریانس در مورد سرعت رشد محصول نشان داد که اثر آبیاری و اثر متقابل نیتروژن و آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نیتروژن و آبیاری در مورد سرعت رشد محصول (شکل ۱) نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری کامل به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی نداشت. کمترین مقدار نیز مربوط به هر دو سطح مصرف نیتروژن و تنش متوسط کم‌آبی بود. گیاهانی که دچار کمبود نیتروژن و تنش کم‌آبی بودند پس از رفع تنش سرعت رشدی معادل گیاهانی نشان دادند که از لحاظ آب و نیتروژن کمبودی نداشتند. دلیل احتمالی برای این مشاهدات، این است که تنش خشکی باعث غلظت بالای کربوهیدرات در ریشه‌ها می‌شود و اثرات بعدی آن در طی آبیاری مجدد به افزایش جذب عناصر غذایی معدنی از جمله نیترات کمک می‌کند. ریشه برای جذب آب و عناصر غذایی به انرژی نیاز دارد. اگر ریشه مقادیر لازم از ترکیبات آلی را بدون کمبود آب در اختیار داشته باشد، جذب عناصر معدنی و نیترات افزایش خواهد یافت (Gao et al., 2015). توانایی جذب بالای نیترات در ریشه‌ها می‌تواند شانس ورود نیترات به ریشه‌ها را افزایش دهد. افزایش جذب نیترات منجر به رشد سریعتر و در نهایت تجمع ماده خشک بیشتر در شاخساره می‌گردد.

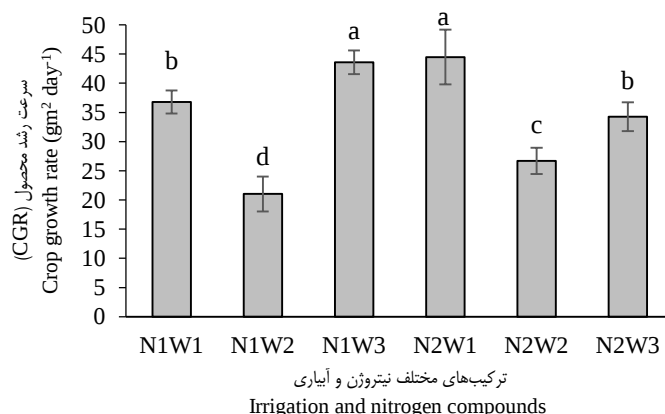
برای هر بوته ثبت شد. انشعابات ریشه‌های طوقه‌ای (ریشه‌های جانبی) در یک قطعه به طول یک سانتی‌متر با فاصله پنج سانتی‌متری از قاعده شمارش شد، اندازه‌گیری برای هفت ریشه طوقه‌ای در هر بوته تکرار شد (Trachsel et al., 2011). همه ریشه‌هایی که از زیر خاک ظاهر شدند به‌عنوان ریشه طوقه‌ای و ریشه‌هایی که از بالای سطح خاک بیرون آمده بودند به‌عنوان ریشه هوایی در نظر گرفته شدند (Trachsel et al., 2013). شاخص کلروفیل (عدد اسپاد) با استفاده از کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502 Konica Minolta) در مرحله کاکل‌دهی قرائت شد. در هر کرت از برگ‌های میانی ۱۰ بوته وسطی کرت مجموعاً ۳۰ قرائت انجام شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان شاخص کلروفیل آن کرت ثبت شد.

به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، در مرحله رسیدگی کامل از دو ردیف میانی هر کرت آزمایشی پس از حذف ۰/۵ متر از بالا و پایین ردیف‌ها، دو مترمربع برداشت شده و عملکرد دانه اندازه‌گیری و محاسبه شد. مقدار نیتروژن ساقه، برگ، ریشه و دانه در اندازه‌گیری مربوطه با استفاده از روش کج‌دلال (Feil et al., 2005) تعیین شد. کارایی زراعی مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن با استفاده از معادلات سه و چهار محاسبه شد (Moll et al., 1982).

$$(3) \quad \text{عملکرد دانه در تیمار کودی} \times 100 = \frac{\text{مقدار کود نیتروژن مصرف شده}}{\text{کارایی زراعی مصرف نیتروژن}}$$

$$(4) \quad \text{نیتروژن جذب شده در تیمار کودی} \times 100 = \frac{\text{مقدار کود نیتروژن مصرف شده}}{\text{کارایی جذب نیتروژن}}$$

برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.2 استفاده شد و در صورت معنی‌دار شدن اثرات اصلی و متقابل، مقایسه میانگین‌ها با



شکل ۱- سرعت رشد محصول در فاصله زمانی رفع تنش کم‌آبی و ده روز بعد از آن. N1: 100 kg ha⁻¹ Nitrogen N2: 200 kg ha⁻¹ Nitrogen. W1: complete irrigation, W2 is moderate water stress at V4-6 and W3 is severe water stress at V4-6 growth stage. Column with same letter(s) are not significantly different according to Duncan multiple range test at P≤0.05 probability level.

Figure 1- Crop growth rate at stress time and 10 days after re-irrigation. N1: 100 kg ha⁻¹ Nitrogen N2: 200 kg ha⁻¹ Nitrogen. W1 is complete irrigation, W2 is moderate water stress at V4-6 and W3 is severe water stress at V4-6 growth stage. Column with same letter(s) are not significantly different according to Duncan multiple range test at P≤0.05 probability level.

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سرعت رشد محصول، زوایای ریشه‌های طوقه ای، تعداد ریشه‌های طوقه‌ای، تعداد ریشه‌های جانبی در ریشه‌های طوقه‌ای، زوایای ریشه‌های هوایی، تعداد ریشه‌های هوایی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of Crop growth rate, Crown root angle, Crown root number, number of lateral root in crown root, brace root angle and brace root number

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	سرعت رشد محصول Crop growth rate	زوایای ریشه‌های طوقه‌ای Crown root angle	تعداد ریشه‌های طوقه‌ای Crown root number	تعداد ریشه‌های جانبی ریشه‌های طوقه‌ای Lateral root of crown root	زوایای ریشه‌های هوایی Brace root angle	تعداد ریشه‌های هوایی Brace root number
Block بلوک	2	0.049 ^{ns}	13.82 ^{ns}	1.43 ^{ns}	0.81 ^{ns}	6.89 ^{ns}	0.49 ^{ns}
Nitrogen نیتروژن	1	0.151 ^{ns}	842.74 ^{**}	20.61 ^{**}	84.42 ^{**}	932.58 ^{**}	90.91 ^{**}
Irrigation آبیاری	5	9.375 ^{**}	16.36 ^{ns}	2.11 ^{ns}	0.31 ^{ns}	13.97 ^{ns}	10.52 ^{**}
نیتروژن * آبیاری Nitrogen Irrigation*	5	2.349 ^{**}	17.46 ^{ns}	1.27 ^{ns}	0.65 ^{ns}	5.11 ^{ns}	0.37 ^{ns}
Error خطا	22	0.14	16.01	1.44	0.67	6.78	0.6
ضریب تغییرات (%) CV		8.2	7.3	9.7	9.2	15.1	5.1

*معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد، ^{ns} فاقد اختلاف معنی‌دار
*Significant at $P \leq 0.05$, **Significant at $P \leq 0.01$, ^{ns}: without significant difference

غذایی که در آب حل می‌شوند و به عمق‌های بیشتر برده می‌شوند را در شرایط خشک بودن خاک سطحی دنبال کند.

با توجه به این که تعداد و زوایای ریشه‌های طوقه‌ای تفاوتی با اندازه‌گیری آن‌ها در مرحله ۶ برگی نداشت (داده‌های مرحله ۶ برگی نشان داده نشده) می‌توان گفت که تا حدود روز ۴۵ بعد از کاشت، سیستم ریشه طوقه‌ای از لحاظ تعداد ریشه‌ها و زوایای آن‌ها به توسعه کامل رسیده است. یکسان بودن تعداد و زوایای ریشه‌های طوقه‌ای بعد از ۴۳ روز از کاشت، توسط (Trachsel et al., 2013) نیز گزارش شده است. آن‌ها اظهار داشتند که گیاهچه‌ها شرایط عمومی محیط ریشه مثل خصوصیات خاک و دسترسی به عناصر غذایی را توسط سیستم ریشه جبینی خود ارزیابی می‌کنند (ریشه‌های اولیه، ریشه‌های بذری) و برای شرایط محیطی خاص خود را تطبیق می‌دهند. انعطاف‌پذیری (پلاستیسیته) را می‌توان نتیجه سازگاری تکاملی برای بهینه ساختن جستجو در خاک برای افزایش جذب آب (Kano et al., 2011) و عناصر غذایی در شرایط بهینه و شرایط کمبود عناصر غذایی در زمان رقابت‌های درون و بین گونه‌ای در نظر گرفت (Schiffers et al., 2011).

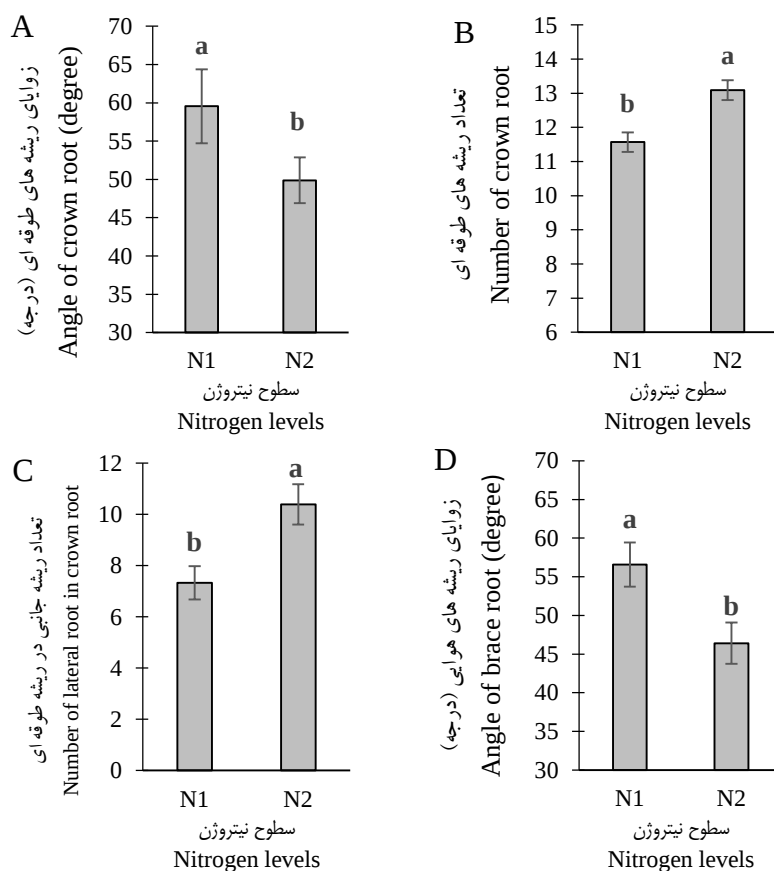
تعداد ریشه‌های طوقه‌ای

نیتروژن اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر تعداد ریشه‌های طوقه‌ای داشت (جدول ۲). مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن باعث شد که تعداد ریشه‌های طوقه‌ای نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به مقدار ۱۳ درصد افزایش یابد (شکل ۲). کاهش در تعداد ریشه طوقه‌ای توسط سایر محققین (Gaudin et al., 2011) در شرایط کمبود نیتروژن در شرایط هواکشت (آئروپونیک) مشاهده شده است.

سایر محققان گزارش دادند تنش خشکی باعث افزایش فعالیت ریشه‌ها شده و این نقش برای مدتی بعد از آبیاری مجدد ادامه می‌یابد (Wang et al., 2016). رشد جبرانی بعد از تنش خشکی فرایند رشدی است که با هورمون‌های گیاهی مختلف تنظیم می‌شود. نیترات مستقیماً باعث تغییرات در مقدار سیتوکینین بسیاری از گیاهان می‌شود (Criado et al., 2009). به علاوه (Lou et al., 2013) گزارش کردند که آبیاری مجدد بعد از خشکی منجر به افزایش غلظت سیتوکینین در نخود و پنبه شد. نتایج سایر محققان نشان می‌دهد که مصرف نیتروژن بعد از تنش کم آبی، موجب افزایش محتوای سیتوکینین در برگ‌ها شده و سرعت توزیع آن از ریشه‌ها به برگ‌های ذرت افزایش می‌یابد (Wang et al., 2016).

زوایای ریشه‌های طوقه‌ای

سطوح مختلف نیتروژن بر زوایای ریشه‌های طوقه‌ای در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن موجب شد که زوایای ریشه‌های طوقه‌ای افزایش یابد و نسبت به مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹ درجه شیب‌دارتر شوند (شکل ۲). سایر محققین اظهار داشتند در شرایط کمبود نیتروژن زوایای ریشه‌های طوقه‌ای به طور متوسط ۱۴ درجه افزایش می‌یابد (Trachsel et al., 2011). می‌توان گفت ساختار ریشه مناسب برای اکتساب عناصر غذایی به وسیله شرایط محیطی تعیین می‌شود. ساختارهای متفاوت ریشه ممکن است در شرایط محیطی مختلف و عملیات زراعی خاصی مفید باشند. شکل‌گیری ریشه‌های زاویه‌دارتر نه تنها حجم خاکی که مورد جستجو قرار می‌گیرد را افزایش می‌دهد بلکه احتمال آن می‌رود تا آب و عناصر



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر زوایای ریشه‌های طوقه‌ای (A)، تعداد ریشه‌های طوقه‌ای (B)، تعداد ریشه جانبی در ریشه طوقه‌ای (C) و زوایای ریشه‌های هوایی (D)؛ N1 و N2 مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار. ستون‌های با حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 2- Mean comparison of Nitrogen level on brace root angle, crown root angle, number of crown root and number of lateral root in crown root. N1:100 kg ha⁻¹ nitrogen N2: 200 kg ha⁻¹ Nitrogen. Column with same letter(s) are not significantly different according to Duncan multiple range test at $P \leq 0.05$ probability level.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های زوایای ریشه‌های هوایی (جدول ۲) نشان داد که نیتروژن اثر معنی‌داری بر این صفت در سطح احتمال یک درصد داشت. افزایش مصرف نیتروژن موجب کاهش زوایا به مقدار ۱۰ درجه گردید (شکل ۲). پاسخ قوی‌تر زوایای ریشه‌های هوایی به تغییرات دسترسی به نیتروژن در مقایسه به تغییرات زوایای ریشه‌های طوقه‌ای احتمال دارد که به زمان‌های متفاوت ظهور هر کدام از این دسته از ریشه‌ها مربوط باشد. قبل از ظهور سیستم ریشه‌های طوقه‌ای، بذر و سیستم ریشه جنینی ممکن است به شرایط محیطی پاسخ دهند. نشان داده شده است که بذرها (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006) و ریشه‌ها تفاوت‌های نیترات عکس‌العمل نشان داده و از راه تغییر در بیان ژن به آن پاسخ می‌دهند (Vidal et al., 2010).

تعداد ریشه‌های هوایی

تعداد ریشه‌های جانبی ریشه‌های طوقه‌ای

نیتروژن در سطح احتمال یک درصد، اثر معنی‌داری بر تعداد ریشه‌های جانبی در ریشه‌های طوقه‌ای داشت (جدول ۲)، به شکلی که با کاهش مصرف نیتروژن از ۲۰۰ کیلوگرم به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد ریشه‌های جانبی به میزان ۲۸ درصد کاهش نشان داد (شکل ۲). کاهش تعداد ریشه‌های جانبی در واحد طول ریشه می‌تواند نشان‌دهنده تطابق ریشه با مقدار نیتروژن در خاک و مدیریت هدفمند مواد فتوسنتزی و مصرف بهینه آن‌ها باشد. به نحوی که در شرایطی که مقدار نیتروژن در حجم خاک کم است، ریشه گیاه تعداد ریشه جانبی کمتری تشکیل داده تا مواد فتوسنتزی صرف فعالیت‌های دیگری از جمله افزایش طول ریشه‌های محوری گردد، نتایج مشابهی توسط (Gao et al., 2015) گزارش شده است.

زوایای ریشه‌های هوایی

شدید کم آبی در مرحله رویشی (W3) تعلق داشت ضمن این که کم آبیاری منجر به کاهش تعداد این نوع ریشه ها گردید. کمترین مقدار از تیمارهای کم آبیاری (W4, W5, W6) به دست آمد که حاکی از اهمیت آبیاری در توسعه ریشه های هوایی و اثر کم آبیاری بعد از مرحله ۶ برگی بر این ریشه ها است. کاهش ۱۸ درصدی تعداد ریشه های هوایی در نتیجه کم آبیاری مشاهده شد.

اثر نیتروژن و آبیاری در مورد تعداد ریشه های هوایی در سطح یک درصد معنی دار گردید (جدول ۲). افزایش مصرف نیتروژن منجر به افزایش ۲۰ درصدی تعداد ریشه های هوایی ذرت گردید (جدول ۳). به نظر می رسد بهبود شرایط تغذیه ای گیاه ذرت باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نتیجه اختصاص مقدار بیشتری از آن ها به ریشه ها گردیده باشد. در بین سطوح آبیاری، بیشترین تعداد ریشه های هوایی به تیمارهای آبیاری کامل (W1)، تنش متوسط (W2) و تنش

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح نیتروژن و آبیاری بر تعداد ریشه هوایی، شاخص کلروفیل (عدد اسپاد)، شاخص سطح برگ در کاکل دهی، عملکرد دانه، کارایی زراعی مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن

Table 3- Mean comparison of main effects of Nitrogen and irrigation levels on number of brace roots, chlorophyll meter reading (SPAD), leaf area index at silking, grain yield, agronomic Nitrogen use efficiency, Nitrogen absorption efficiency

		تعداد ریشه هوایی Number of brace root	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	شاخص سطح برگ در کاکل دهی Leaf area index at silking	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	کارایی زراعی مصرف نیتروژن Agronomic Nitrogen use efficiency	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen absorption efficiency
Nitrogen نیتروژن	N1	13.58 b	43.32 b	3.46 b	7914 b	39.57 a	44.06 a
	N2	16.76 a	46.06 a	3.76 a	8975 a	29.91 b	33.31 b
Irrigation آبیاری	W1	16.63 a	47.06 ab	4.26 a	10979 a	44.92 a	47.04 a
	W2	16.41 a	46.9 ab	3.61 c	9800 ab	34.21 b	35.97 b
	W3	16.03 a	48.21 a	3.88 ab	8640 b	41.83 a	47.12 a
	W4	14.13 b	42.41 bc	3.24 c	7169 c	29.47 cd	34.67 bc
	W5	14.01 b	42.21 bc	3.49 bc	6369 d	26.73 d	30.81 c
	W6	13.79 b	41.33 c	3.51 c	7647 bc	31.67 bc	36.96 b

در هر ستون و برای هر عامل میانگین های با حروف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه دانکن، فاقد تفاوت معنی دار هستند. N1 و N2 مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، W1، W2 و W3 به ترتیب آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید کم آبی در مرحله ۴-۶ برگی. W4 تنش متوسط کم آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگی و ادامه آبیاری به صورت کم آبیاری، W5: تنش شدید کم آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگی و ادامه آبیاری به صورت کم آبیاری، W6: کم آبیاری بعد از مرحله ۶ برگی.

In each column and factor, means with same letters are not significantly different, according to Duncan multiple range test at 5 percent probability level. N1: 100 kg ha⁻¹, N2: 200 kg ha⁻¹. W1: Complete irrigation. W2: Moderate water stress 55% Field capacity at V4-V6 growth stage, W3: Severe water stress 45% at V4-V6 growth stage, W4: Moderate water stress 55% Field capacity at V4-V6 growth stage followed by deficit irrigation (65% field capacity), W5: Severe water stress 45% in V4-V6 growth stage followed by deficit irrigation (65% field capacity), W6: Deficit irrigation (65% field capacity) after V6 growth stage.

بین سطوح آبیاری، آبیاری کامل، تنش متوسط و تنش شدید کم آبی در مرحله رویشی (W2 و W3) بیشترین مقادیر را به خود اختصاص دادند و کمترین مقادیر به کم آبیاری (W4, W5, W6) اختصاص داشت (جدول ۲). در نتیجه می توان اظهار داشت که تامین آب مورد نیاز گیاه ذرت در زمان کاکل دهی منجر به استفاده موثرتر از نیتروژن خاک و ایجاد مقدار بیشتر کلروفیل نسبت به شرایط کم آبیاری گردید و کمبود آن موجب کاهش آن شد.

شاخص سطح برگ در کاکل دهی

اثر نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد و اثر آبیاری در سطح احتمال یک درصد در مورد شاخص سطح برگ معنی دار بود (جدول ۴). افزایش مصرف نیتروژن منجر به افزایش هفت درصدی شاخص سطح برگ شد (جدول ۳). آبیاری کامل در بین سطوح آبیاری

شاخص کلروفیل (عدد اسپاد)

نتیجه تجزیه واریانس داده های شاخص کلروفیل نشان داد نیتروژن و آبیاری در سطح پنج درصد بر این پارامتر تاثیرگذار بودند (جدول ۴). مصرف نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش هفت درصدی شاخص کلروفیل نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گردید (جدول ۳). مقادیر شاخص کلروفیل که توسط کلروفیل متر دستی ثبت می شود تخمینی از مقدار نسبی کلروفیل کل در برگ ها است و روند کاهشی آن معیاری از پیری برگ را ارائه می کند (Messmer et al., 2011). محققان اظهار داشتند که افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ می گردد، ضمن این که تاخیر در پیری برگ ها و در نهایت افزایش زیست توده و عملکرد دانه را در پی دارد (Peng et al., 2014).

بیشترین مقدار را به میزان ۴/۲۶ به خود اختصاص داد. کمترین مقدار شاخص سطح برگ هم به تنش متوسط کم‌آبی در مرحله رویشی و ادامه آبیاری به شکل کم‌آبیاری (W4) تعلق داشت (جدول ۳).

عملکرد دانه

نتیجه تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه نشان داد اثر نیتروژن و آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۴). مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش ۱۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گردید (جدول ۳). در بین سطوح آبیاری، بیشترین عملکرد با رفع کامل نیاز آبی گیاه ذرت در آبیاری کامل (W1) حاصل شد و کمترین عملکرد در نتیجه تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی و کم‌آبیاری متعاقب آن (W5) به دست آمد (جدول ۳). در مجموع، بیشترین عملکرد با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و آبیاری کامل به مقدار ۱۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد با مصرف نیتروژن به مقدار ۱۰۰

کیلوگرم در هکتار و تنش شدید کم‌آبی در مرحله ۴ تا ۶ برگ و کم آبیاری متعاقب آن به مقدار ۶۴۹۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. افزایش عملکرد در پاسخ به مصرف نیتروژن می‌تواند به خاطر عوامل مختلفی از جمله سطح برگ وسیع‌تر و سرعت فتوسنتز بالاتر باشد (Peng et al., 2014). در مطالعه مزرعه‌ای که به منظور مقایسه هیبریدهای تجاری ذرت با پتانسیل عملکرد کم و زیاد انجام شد، محققان دریافتند که افزایش عرضه نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های Rubisco و PEP کربوکسیلاز در هر دو نوع هیبرید در مرحله ظهور تاسل و شیری شدن دانه شد (Uribealarea et al., 2009). در مطالعه (Peng et al., 2014) کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به مقدار قابل توجهی منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت در مقایسه با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار شد و هر دو سطح مصرف نیتروژن عملکرد بالاتری نسبت به تیمار صفر کیلوگرم در هکتار نشان دادند.

جدول ۴- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص کلروفیل (اسپاد)، شاخص سطح برگ در کاکل‌دهی، عملکرد دانه، کارایی زراعی

مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) chlorophyll index (SPAD), leaf area index at silking, grain yield, agronomic Nitrogen use efficiency and Nitrogen absorption efficiency

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	شاخص کلروفیل (اسپاد) Chlorophyll index (SPAD)	شاخص سطح برگ در کاکل‌دهی Leaf area index at silking	عملکرد دانه Grain yield	کارایی زراعی مصرف نیتروژن Agronomic Nitrogen use efficiency	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen absorption efficiency
Block بلوک	2	25.75 ^{ns}	0.22 ^{ns}	506801.29 ^{ns}	6.41 ^{ns}	0.0007 ^{ns}
Nitrogen نیتروژن	1	67.51*	0.786*	7467740.38**	950.76**	0.117**
Irrigation آبیاری	5	54.62*	0.909**	18787491.27**	306.26**	0.027**
نیتروژن * آبیاری Nitrogen Irrigation*	5	4.59 ^{ns}	0.28 ^{ns}	927410.61 ^{ns}	8.59 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Error خطا	22	16.6	0.185	752421.3	12.43	0.0015
ضریب تغییرات (%) CV		9.1	11.9	10.3	10.1	10.1

کارایی زراعی مصرف نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن

نیتروژن و آبیاری در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر کارایی زراعی مصرف نیتروژن نشان دادند (جدول ۴). افزایش مصرف نیتروژن منجر به کاهش کارایی زراعی این کود گردید. ذرت در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۳۹ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی تولید کرد، که این مقدار به ۲۹ کیلوگرم در هکتار با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، کاهش یافت (جدول ۳). این نتایج بیانگر آن است که واحدهای اولیه کود مصرفی تاثیر بیشتری روی عملکرد دارند، هر قدر مصرف نیتروژن افزایش یابد، کارایی استفاده از آن کاهش می‌یابد.

محققان گزارش دادند که استفاده از نیتروژن به مقدار ۳۳۰ کیلوگرم در هکتار به مقدار جزئی باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به مصرف نیتروژن به مقدار ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار شد. در نتیجه کارایی مصرف نیتروژن با مصرف ۳۳۰ نصف تیمار مصرف نیتروژن به مقدار ۱۶۵ کیلوگرم در هکتار بود (Ciampitti and Vyn, 2011). در پژوهش دیگری (Peng et al., 2014) کارایی زراعی مصرف نیتروژن را ۲۶ و ۳۵ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم مصرف نیتروژن به ترتیب با تیمار ۳۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گزارش کردند.

در بین سطوح آبیاری، بیشترین کارایی زراعی مصرف نیتروژن با آبیاری کامل به دست آمد (۴۵ کیلوگرم در هکتار به ازای یک کیلوگرم

طوقه‌ای و تعداد ریشه‌های جانبی نیز دیده شد. کارایی جذب نیتروژن رابطه مثبت و معنی‌داری با زوایای ریشه‌های طوقه‌ای ($r=0.41^{**}$) و زوایای ریشه‌های هوایی ($r=0.40^{**}$) نشان داد.

این رابطه را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که تغییر زوایا منجر به جذب بیشتر نیتروژن از خاک می‌گردد و راهکار موثری در شرایط کمبود نیتروژن در خاک است. این شاخص رابطه منفی و معنی‌داری با تعداد ریشه‌های جانبی در ریشه‌های طوقه‌ای داشت. کارایی زراعی مصرف نیتروژن رابطه مثبتی با زوایای ریشه‌های طوقه‌ای ($r=0.41^{**}$) نشان داد. ضمن این‌که رابطه منفی با تعداد ریشه‌های جانبی در ریشه‌های طوقه‌ای ($r=0.42^{**}$) مشاهده شد. افزایش زوایا می‌تواند باعث شود که ریشه در عمق بیشتری از خاک توسعه یابد و همچنان که نیتروژن با آبشویی به اعماق حرکت می‌کند، ریشه فرصت بیشتری برای جذب آن داشته باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد سرعت رشد محصول گیاهانی که دچار کمبود نیتروژن و تنش شدید کم‌آبی بودند، پس از آبیاری مجدد، به گیاهان شاهد نزدیک شد. نیتروژن بر زوایای ریشه‌های طوقه‌ای اثرگذار بود و در نتیجه کمبود نیتروژن در این آزمایش زوایای ریشه‌های طوقه‌ای نه درجه افزایش یافت که می‌تواند به معنی عمیق‌تر شدن ریشه و جذب آب و عناصر غذایی از عمق بیشتر خاک باشد. با این حال تعداد ریشه‌های طوقه‌ای در نتیجه کمبود نیتروژن در این آزمایش کاهش نشان داد. تعداد ریشه‌های جانبی در ریشه‌های طوقه‌ای با کاهش مصرف نیتروژن از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، به مقدار ۲۸ درصد کم شد. در مورد ریشه‌های هوایی ذرت، مصرف نیتروژن به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب شد تا زاویه این ریشه‌ها به مقدار ۱۰ درجه نسبت به مصرف نیتروژن به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یابد اما تعداد آن‌ها ۲۰ درصد افزایش یافت. در شرایط این آزمایش کم‌آبیاری بعد از مرحله شش برگی ذرت باعث کاهش ۱۸ درصدی تعداد ریشه‌های هوایی شد. شاخص کلروفیل در مرحله کاکل‌دهی در نتیجه کاهش مصرف نیتروژن و کم‌آبیاری بعد از شش برگی به‌ترتیب هفت و ۱۱ درصد کاهش نشان داد. مصرف نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش هفت درصدی شاخص سطح برگ در کاکل‌دهی را موجب گردید و همراه شدن تنش شدید کم‌آبی در مرحله چهار تا شش برگی با کم‌آبیاری متعاقب آن، کاهش ۲۶ درصدی آن را نسبت به آبیاری کامل باعث شد. بیشترین عملکرد با مصرف نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و آبیاری کامل به مقدار ۱۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و کاهش ۴۰ درصدی عملکرد با مصرف نیتروژن به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و تنش شدید کم‌آبی در مرحله چهار تا شش برگی

مصرف نیتروژن) و کمترین مقدار از تیمار تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی و کم آبیاری متعاقب آن (W5) حاصل شد که با تنش متوسط کم‌آبی در مرحله رویشی و ادامه آبیاری به شکل کم‌آبیاری (W4) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). می‌توان گفت که کارایی زراعی مصرف نیتروژن وقتی به حداکثر می‌رسد که آب کافی برای تعرق و جذب عناصر غذایی از خاک وجود داشته باشد.

نتیجه تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کارایی جذب نیتروژن نشان داد که آبیاری و نیتروژن هر دو در سطح احتمال یک درصد بر این شاخص اثر معنی‌داری نشان دادند (جدول ۴). این شاخص با افزایش مصرف نیتروژن از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به میزان ۲۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). این داده‌ها حکایت از آن دارد که بیش از نیمی از نیتروژن از دسترس گیاه خارج می‌شود و به‌صورت آبشویی به اعماق رفته و یا در خاک باقی می‌ماند. در بین سطوح آبیاری، بیشترین کارایی جذب نیتروژن با آبیاری کامل (W1) به‌دست آمد و کمترین مربوط به تنش شدید کم‌آبی در مرحله رویشی و ادامه آبیاری با کم‌آبیاری (W5) بود (جدول ۳).

روابط همبستگی

روابط همبستگی صفات و شاخص‌های مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با شاخص سطح برگ در کاکل‌دهی داشت به این معنی که هرچه سطح دریافت‌کننده نور افزایش یابد منجر به عملکرد بیشتری می‌گردد ضمن این‌که شاخص کلروفیل به‌عنوان معیاری از سبز بودن و تراکم کلروفیل در برگ‌ها رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد ($r=0.47^{**}$) نشان داد. انتظار می‌رود هرچه تراکم کلروفیل در برگ‌ها بیشتر باشد، مقدار تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به اندام هدف بیشتر شده و در نهایت عملکرد بیشتری تولید شود. محققان اظهار داشتند که افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش بیوماس و عملکرد دانه می‌شود و این اثر در نتیجه تاخیر در پیری برگ‌ها به خاطر افزایش محتوای کلروفیل برگ است (Peng et al., 2014). تعداد ریشه‌های هوایی رابطه مثبت و معنی‌داری ($r=0.61^{**}$) با عملکرد نشان داد، به این معنی که با بهتر شدن وضعیت تغذیه‌ای و آبیاری گیاه علاوه بر تولید دانه بیشتر تعداد بیشتری ریشه هوایی ایجاد می‌شود. با این حال، گزارش شده است که در شرایط عدم تنش، تعداد ریشه‌های هوایی رابطه منفی ($r=-0.69^{**}$) با عملکرد دانه نشان دادند (Trachsel et al., 2013). یکسان نبودن نتایج ممکن است به این خاطر باشد که ایجاد ریشه‌های هوایی با بلال برای مواد فتوسنتزی رقابت می‌کنند و ازدیاد این ریشه‌ها باعث کاهش عملکرد می‌گردد. رابطه منفی و معنی‌دار بین تعداد ریشه‌های طوقه‌ای و زوایای این دسته از ریشه‌ها مشاهده شد به این معنی که هرچه زوایا شیب‌دارتر شدند، تعداد ریشه‌های طوقه‌ای کم شد. رابطه منفی و معنی‌داری بین زوایای ریشه‌های

نشان داد. رشد جبرانی بوته‌های ذرت این امکان را فراهم می‌سازد تا در دوره بعد از استقرار گیاه (۴ تا ۶ برگ) از تنش کم‌آبی به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب سود برد، ضمن این‌که توجه به ریشه‌های گیاه ذرت در برنامه‌های اصلاحی می‌تواند در بهبود کارایی مصرف نیتروژن راهگشا باشد.

ذرت و کم‌آبیاری متعاقب آن ثبت شد که در نتیجه کاهش شاخص سطح برگ و شاخص کلروفیل بود. مصرف نیتروژن به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش زاویه ریشه‌های طوقه‌ای و هوایی و کاهش تعداد آنها را نسبت به مصرف نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث شد، این تغییرات در ریشه‌ها مانع کاهش عملکرد ناشی از کمبود نیتروژن نگردید و در نهایت عملکرد دانه کاهش ۱۲ درصدی

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات و شاخص‌های مورد مطالعه
Table 5- Correlation coefficient of characters and indices

عملکرد Yield	ریشه‌های جانبی در ریشه طوقه‌ای Lateral root of crown root	تعداد ریشه‌های طوقه‌ای Number of crown root	زوایای ریشه‌های طوقه‌ای Angles of crown root	زوایای ریشه‌های هوایی Angles of brace root	تعداد ریشه‌های هوایی Numbers of brace root	شاخص سطح برگ در کاکل‌دهی Leaf area index at silking	شاخص کلروفیل (اسپاد) کاکل- دهی SPAD at silking	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen absorption efficiency	کارایی زراعی مصرف نیتروژن Agronomic Nitrogen use efficiency
عملکرد	1								
ریشه‌های جانبی ریشه طوقه‌ای	0.17 ^{ns}	1							
تعداد ریشه‌های طوقه‌ای	0.28 ^{ns}	0.47**	1						
زوایای ریشه‌های طوقه‌ای	-0.16 ^{ns}	-0.70**	-0.25 ^{ns}	1					
زوایای ریشه‌های هوایی	-0.38*	-0.82**	-0.52**	0.73**	1				
تعداد ریشه‌های هوایی	0.60**	0.76**	0.65**	-0.54**	-0.79**	1			
شاخص سطح برگ در کاکل‌دهی	0.63**	0.14 ^{ns}	0.15 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.38*	0.38*	1		
شاخص کلروفیل (اسپاد) در کاکل‌دهی	0.47**	0.36*	0.42*	-0.20 ^{ns}	-0.40*	0.54**	0.33*	1	
کارایی جذب نیتروژن	0.43**	-0.46**	-0.19 ^{ns}	0.41*	0.40*	-0.18 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.30 ^{ns}	1
کارایی زراعی مصرف نیتروژن	0.51**	-0.42*	-0.09 ^{ns}	0.41*	0.35*	-0.06 ^{ns}	0.31*	0.36*	0.97**

*معنی‌دار در سطح پنج درصد، **معنی‌دار در سطح یک درصد، ^{ns} فاقد اختلاف معنی‌دار
*Significant at $P \leq 0.05$, **Significant at $P \leq 0.01$, ^{ns}: without significant difference

References

- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S., and Castel, J. R. 2013. Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation: yield components and fruit composition. *Irrigation Science* 31: 333-341.
- Benjamin, J. G., Nielsen, D. C., Vigil, M. F., Mikha, M. M., and Calderon, F. 2014. Water deficit stress effects on corn (*Zea mays* L.) root: shoot ratio. *Open Journal of Soil Science* 4: 151-160.
- Bänziger, M., Edmeades, G. O., Beck, D., and Bellon, M. 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. Mexico, D.F. CIMMYT.PP.68.
- Cheng, L. L., and Fuchigami, L. H. 2000. Rubisco activation state decreases with increasing nitrogen content in apple leaves. *Experimental Botany* 51: 1687-1694.
- Ciampitti, I. A., and Vyn, T. J. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research* 121: 2-18.
- Criado, M. V., Caputo, C., Roberts, I. N., Castro, M. A., and Barneix, A. J. 2009. Cytokinin-induced changes of Nitrogen remobilization and chloroplast ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Physiology* 166: 1775-1785.
- Delogu, G., Cativelli, L., Pecchioni, N., De Flacis, D., Maggiore, T., and Stanca, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* 9: 11-20.

8. Feil, B., Moser, S. B., Jampatong, S., and Stamp, P. 2005. Mineral composition of the grain of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science* 45: 516-523.
9. Fereres, E., and Soriano, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 2: 147-159.
10. Finch-Savage, W. E., and Leubner-Metzger, G. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytology* 171: 501-523.
11. Jensen, C. R., Orum, J. E., Pedersen, S. M., Andersen, M. N., Plauborg, F., Liu, F., and Jacobsen, S. E. 2014. A short overview of measures for securing water resources for irrigated crop production. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200: 33-343.
12. Intrigliolo, D. S., Bonet, L., Nortes, P. A., Puerto, H., Nicolas, E., and Bartual, J. 2013. Pomegranate trees performance under sustained and regulated deficit irrigation. *Irrigation Science* 31: 959-970.
13. Gao, K., Chen, F., Yuan, L., Zhang, F., and Mi, G. 2015. A comprehensive analysis of root morphological changes and nitrogen allocation in maize in response to low-nitrogen stress. *Plant Cell Environment* 38: 740-750.
14. Gaudin, A. C. M., McClymont, S. A., Holmes, B. M., Lyons, E., and Raizada, M. N. 2011. Novel temporal, fine-scale and growth variation phenotypes in roots of adult-stage maize (*Zea mays* L.) in response to low nitrogen stress. *Plant Cell Environment* 34: 2122-2137.
15. Hochholdinger, F., and Tuberosa, R. 2009. Genetic and genomic dissection of maize root development and architecture. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 172-177.
16. Kano, M., Inukai, Y., Kitano, H., and Yamauchi, A. 2011. Root plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress in rice. *Plant Soil* 342: 117-128.
17. Koocheki, A., and Sarmadnia, G. H. 1998. *Physiology of Crop Plants* (translated). Jahad Daneshgahi Mashhad press, Mashhad, Iran. 400 p. (in Persian).
18. Luo, H. H., Han, H. Y., Zhang, Y. L., and Zhnag, W. F. 2013. Effects of drought and re-watering on endogenous hormone contents of cotton roots and leaves under drip irrigation with mulch. *Chinese Journal of Applied Ecology* 24: 1009-1016. (in Chinese with English abstract).
19. Liao, H., Rubio, G., Yan, X. L., Cao, A. Q., Brown, K. M., and Lynch, J. P. 2001. Effect of phosphorus availability on basal root shallowness in common bean. *Plant Soil* 232: 69-79.
20. Mansouri-Far, S., Modares Sanavy, S. A. M., and Mohammadi, Kh. 2010. Effect of water deficit stress and Nitrogen on yield and compatibility metaabolites of two medium maturity corn cultivars. *Journal of soil and water science* 20: 29-45. (in Persian with English abstract).
21. Messmer, R., Frasheboud, Y., Banziger, M., Stamp, P., and Ribaut, J. M. 2011. Drought stress and tropical maize: QTLs for leaf greenness, plant senescence, and root capacitance. *Field Crops Research* 124: 93-103.
22. Moll, R. H., Kamprath, E. J., and Jackson, W. A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.
23. Nagel, K. A., Kastenholz, B., Jahnke, S., Van Dusschoten, D., Aach, T., Muhlich, M., Truhn, D., Scharr, H., Terjung, S., Walter, A., and Schurr, U. 2009. Temperature responses of roots: impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping. *Functional Plant Biology* 36: 947-959.
24. Osborne, S. L., Scheppers, J. S., Francis, D. D., and Schlemmer, M. R. 2002. Use of spectral radiance to in -season biomass and grain yield in nitrogen and water- stressed corn. *Crop Science* 42:165-171.
25. Pandey, R. K., Maranville, J. W., and Chetima, M. M. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agricultural Water Management* 46: 15-27.
26. Peng, Y., Li, C., and Fritschi, F. B. 2014. Diurnal dynamics of maize leaf photosynthesis and carbohydrate concentrations in response to differential Nitrogen availability. *Environmental and Experimental Botany* 99: 18-27.
27. Rabbani, J., and Emam, Y. 2011. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. *Journal of Crop Production and Processing* 2: 65-79. (in Persian with English abstract).
28. Schiffers, K., Tielborger, K., Tietjen, B., and Jeltsch, F. 2011. Root plasticity buffers competition among plants: theory meets experimental. *Ecology* 92: 610-620.
29. Trachsel, S., Kaeppler, S. M., Brown, K. M., and Lynch, J. P. 2011. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. *Plant Soil* 341: 75-87.
30. Trachsel, S., Kaeppler, S. M., Brown, K. M., and Lynch, J. P. 2013. Maize root growth angles become steeper under low N conditions. *Field Crops Research* 140: 18-31.
31. Uhart, S. A., and Andrade, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science* 35: 1376-1383.
32. Uribelarrea, M., Moose, S. P., and Below, F. E. 2007. Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. *Field Crops Research* 100: 82-90.
33. Uribelarrea, M., Crafts-Brandner, S. J., and Below, F. E. 2009. Physiological N response of field-grown maize hybrids (*Zea mays* L.) with divergent yield potential and grain protein concentration. *Plant and Soil* 316: 151-160.

34. Vidal, E. A., Tamayo, K. P., and Gutierrez, R. A. 2010. Gene networks for nitrogen sensing, signaling, and response in *Arabidopsis thaliana*. *Wiley Interdisciplinary Review* 2: 683-693.
35. Wang, X., Wang, J., Sun, R., Hou, X., Zhao, W., Shi, J., Zhang, Y., Qi, L., Li, X., Dong, P., Zhang, L., Xu, G., and Gan, H.. 2016. Correlation of the corn compensatory growth mechanism after post-drought rewatering with cytokinin induced by root nitrate absorption. *Agricultural Water Management* 166: 77-85.
36. Wu, Y. J., and Cosgrove, D. J. 2000. Adaptation of root to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany* 51: 1543-1553.
37. Zhu, J., Brown, K.M., and Lynch, J. P. 2010. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). *Plant, Cell and Environment* 33: 740-749.



Effect of Nitrogen and Water Deficit Stress on Corn (*Zea mays* L.) Root Characters and Grain Yield

R. Sarwarzadeh¹, H. R. Khazaei^{2*}, A. Nezami²

Received: 26-11-2017

Accepted: 25-04-2018

Introduction

In recent years regulated deficit irrigation as a part of conservation and saving practices in water consumption has received attention. Vegetative growth stage of corn has a relative tolerance to water deficit stress. Therefore, yield loss is negligible. Nitrogen shortage stress leads to decrease in leaf area, leaf senescence and reduction of photosynthesis as a result of decrease in chlorophyll content. Roots play an important role in soil searching for water and nutrients. Root ability to change soil biochemical and physiological processes consider as a remarkable mechanism to tolerate environmental stress. Considering the role of nitrogen in corn production and irrigation in summer crops, understanding the response of corn to water stress and nitrogen consumption level are important. Furthermore, corn growth recovery after water deficit stress is critical for better understanding of water saving techniques. This study designed to determine morphological change in root of corn and their effect on corn yield under different irrigation and nitrogen levels.

Materials and Methods

In order to evaluate the impact of different levels of nitrogen consumption and water deficit stress on corn (SC 704) in field condition, an experiment conducted during 2015 in the experimental field of Ferdowsi University of Mashhad. Nitrogen levels were, including 100 and 200 kg ha⁻¹ and irrigation applied in 6 levels, including W1: complete irrigation, W2: moderate water stress (55% of field capacity) at V4-V6 growth stage, W3: severe water stress (45% of field capacity) at V4-V6 growth stage, W4: moderate water stress (55% of field capacity) at V4-V6 growth stage followed by deficit irrigation (65% of field capacity), W5: severe water stress (45% of field capacity) in V4-V6 growth stage followed by deficit irrigation (65% of field capacity), W6: deficit irrigation (65% of field capacity) after V6 growth stage. Effect of water deficit stress and re-watering concurrently with two levels of nitrogen consumption attested by crop growth rate index between stress time and 10 days after rewatering. Furthermore at silking stage, SPAD, leaf area index, the number and angle of crown and brace roots, grain yield, agronomic nitrogen use efficiency, nitrogen uptake efficiency and nitrogen harvest index measured and calculated.

Results and Discussion

Result showed that under severe water stress re-watering at the same time with applying nitrogen led to faster growth. Effects of nitrogen and irrigation were significant on SPAD, leaf area index, the number of brace roots, grain yield, agronomic use efficiency and nitrogen uptake efficiency in 5% probability level, while effect of nitrogen on number of crown root, angle of crown root and number of lateral root in crown root were significant at 5% probability level ($p\text{-value} < 0.05$). Grain yield had a significant and positive correlation with leaf area index, the number of brace roots and SPAD, whereas yield had a negative correlation with brace root angle. Despite highest yield obtained under the consumption of 200 kg ha⁻¹ nitrogen with complete irrigation, yield reduction due to water deficit at V4-V6 growth stage was 6% which shows the relative tolerance of corn to water deficit stress during aforementioned growth stage and effective tolerance of root and shoot of corn for minimizing the consequences of water stress on our experiment condition.

Conclusions

Although highest grain yield obtained with consumption of 200 kg ha⁻¹ nitrogen with complete irrigation, flexible management with considering availability of water and nitrogen during vegetative growth stage lead to maximum profitability. Relative tolerance of corn seedling to water deficit stress and growth recovery of crop makes it possible to save water. Flexibility of corn root number and angle can be used in breeding program to obtain hybrids with more effective nitrogen use efficiency.

Keywords: Agronomic nitrogen use efficiency, Brace root angle, Crown root angle

1- Ph.D. student, Department of Agrotechnolgy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

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

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



مقاله علمی-پژوهشی

اثر محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی بر خصوصیات زراعی و عملکرد کمی و کیفی شش اکوتیپ بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.)

رقیه آقایی اوخچلار^۱، رضا امیرنیا^{۲*}، مهدی تاجبخش شیشوان^۳، مهدی قیاسی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی بر خصوصیات زراعی و عملکرد کمی و کیفی شش اکوتیپ بادرشبو، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به صورت کشت بهاره انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل اکوتیپ‌های بادرشبو در شش سطح (ارومیه، سلماس، عجب شیر، تهران، اصفهان و شیراز) و محلول‌پاشی کودهای آلی ۱۰ درصد در پنج سطح (شاهد، کود گاوی، کود مرغی، ورمی کمپوست و کمپوست) بود. صفات مورد مطالعه شامل وزن خشک کل، وزن هزار دانه، عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت دانه، عملکرد و درصد اسانس بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اعمال تیمارهای محلول‌پاشی و اکوتیپ بر صفات وزن خشک کل، وزن هزار دانه، عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت دانه، عملکرد و درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثرات متقابل اکوتیپ و محلول‌پاشی بر صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت دانه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات عملکرد و درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار وزن هزار دانه، شاخص برداشت دانه، عملکرد اسانس و بر صفات عملکرد و درصد اسانس به ترتیب به مقدار ۲/۳ گرم، ۲۱/۹۳ درصد، ۹/۴۲ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۹ درصد مربوط به تیمار محلول‌پاشی کود مرغی و اکوتیپ ارومیه بود. بیشترین مقدار وزن خشک کل و عملکرد بذر به ترتیب به مقدار ۹۹۴/۱ و ۳۳۱/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به اکوتیپ ارومیه و محلول‌پاشی کود مرغی به ترتیب به مقدار ۸۹۶/۷ و ۳۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق کاربرد تیمار محلول‌پاشی عصاره کود مرغی و اکوتیپ ارومیه در منطقه ارومیه و کشت اکوتیپ‌های بومی در سایر مناطق در زراعت بادرشبو توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه برگ، درصد اسانس، گیاه دارویی، متابولیت‌های ثانویه

مقدمه

علفی و یک‌ساله، متعلق به خانواده نعناع (*Lamiaceae*) است (Gholizadeh et al., 2010). بخش‌های مختلف پیکر این گیاه حاوی اسانس است با این حال گل‌ها، برگ‌ها و ساقه‌های جوان حاوی بیشترین مقدار اسانس می‌باشد. اسانس بادرشبو آرام‌بخش و دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد عفونی‌کننده، ضد باکتری، ضد قارچ و ضد ویروس می‌باشد (Bermani, 1997). از عصاره آن نیز در طب سنتی جهت درمان ضعف عمومی بدن، تقویت قلب و درمان اسپاسم‌های معده و کلیه استفاده می‌شود. برخی از مطالعات نشان داده است که این گیاه می‌تواند در تولید داروهای ضد سرطان نیز به کار رود (Velu et al., 2014). با توجه به اثرات مخرب زیست‌محیطی کشاورزی متداول از جمله آلودگی منابع آب، خاک، کاهش کیفیت محصولات غذایی و بر هم خوردن تعادل زیستی در محیط خاک ناشی از مصرف بی‌رویهی نهاده‌های شیمیایی، روز به روز بر اهمیت توجه به کشاورزی جایگزین افزوده می‌شود. یکی از ارکان اصلی کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی در اکوسیستم‌های زراعی با

امروزه گیاهان دارویی دارای جایگاه ویژه‌ای در تجارت محصولات کشاورزی هستند. کشور ایران با توجه به پتانسیل‌های مختلفی که در حوزه کشاورزی دارا می‌باشد مزیت نسبی بالایی در تولید این محصولات دارد (Omidbaigi, 2005). بادرشبو گیاهی

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار، عضو هیات علمی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

۳- استاد، عضو هیات علمی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

۴- استادیار، عضو هیات علمی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: r.amirnia@urmia.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.72100

افزایش تولید زیست‌توده و همچنین افزایش درصد اسانس شد (Scheffer and Koehler, 1993). در آزمایش دیگری در سیستم کشت ارگانیک گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) با افزایش مصرف کود دامی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت (El Gendy et al., 2001). همچنین در مطالعه دیگری بر روی گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla*) مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست موجب بهبود قابل ملاحظه عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد گردید که این امر ناشی از افزایش تولید ماده خشک، عملکرد گل و درصد اسانس حاصل از مصرف ورمی‌کمپوست بود (Salehi et al., 2011). کاربرد کود آلی کمپوست، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن تر و خشک پیکر رویشی و در نهایت درصد اسانس گیاه (*Majorana hortensis*) را افزایش داد (Gharib et al., 2008). در طی پژوهشی تأثیر مقادیر و روش‌های مختلف مصرف نیتروژن بر گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) مورد بررسی قرار گرفت، اثر کود اوره بر عملکرد بیولوژیک، ارتفاع گیاه، درصد اسانس، عملکرد سرشاخه گل‌دار و تعداد شاخه‌های فرعی و شاخص برداشت اسانس معنی‌دار بود. کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در خاک به همراه ۴/۵ درصد نیتروژن محلول‌پاشی، بیشترین عملکرد بیولوژیک، بذر و سرشاخه گل‌دار را به ترتیب با میانگین ۴۴۲۴، ۸۷۵/۵ و ۱۸۵۵ کیلوگرم در هکتار تولید نمود. کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در خاک و ۷/۵ درصد محلول‌پاشی بیشترین عملکرد اسانس (۳۳/۷ کیلوگرم در هکتار)، بیشترین ارتفاع گیاه (۶۶/۸۸ سانتی‌متر) و بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی (۱۸ شاخه) را تولید نمود (Alizadeh-Sahzabi et al., 2007). شرایط محیطی و قدرت سازگاری در کشت و پراکنش گیاهان دارویی دخیل هستند. بنابراین شناخت گیاهان دارویی بومی کشور و یا اکوتیپ‌های سازگار با شرایط اقلیمی ایران می‌تواند گامی مؤثر در جهت پیشرفت تولید انبوه گیاهان دارویی و تولید اسانس حاصله از آن‌ها باشد (Nabizadeh et al., 2009). از دیگر عوامل تأثیرگذار روی اجزای عملکرد گیاه دارویی بادرشو نوع اکوتیپ‌های آن می‌باشد. در تحقیقی بر روی گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) گزارش نمودند تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای بین اکوتیپ‌های مختلف رازیانه وجود داشت و نشان داده شد که می‌توان از طریق تلاقی بین اکوتیپ‌های برتر و آزمون نتایج آن‌ها از طریق برنامه‌های به نژادی و انتخاب، نسبت به تولید ارقام با خصوصیات زراعی مطلوب اقدام نمود (Izanlu et al., 2017). این تحقیق در راستای اهمیت کشت گیاهان دارویی به روش کشاورزی پایدار و مزایای استفاده از کودهای آلی و عصاره آن‌ها در جهت بهبود کیفیت مواد مؤثره، حفظ ساختمان خاک و عدم آلودگی محیط‌زیست و همچنین بررسی خصوصیات زراعی اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی بادرشو به اجرا در آمد.

هدف حذف کاربرد کودهای شیمیایی است. کودهای آلی سبب تأمین سلامت انسان و محیط زندگی می‌گردند (Liu et al., 2010) و اهمیت کاربرد آن‌ها در مورد گیاهان دارویی که به‌طور مستقیم با سلامت انسان در ارتباط هستند، محرز می‌باشد. کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به‌عنوان منابعی غنی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و همچنین سایر عناصر ریزمغذی مثل روی، آهن، منگنز و مس به‌شمار آیند (Melero et al., 2008). یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب مخصوصاً در مورد گیاهان دارویی ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. با روش صحیح تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد (Lebaschi et al., 2004). امروزه شیوه محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی به‌عنوان مکمل روش خاکی شیوه‌ای مؤثر در به‌کارگیری عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، اسیدهای آمینه، اسیدهای هیومیک، هورمون‌های رشد گیاهی، عصاره جلبک‌های دریایی و هیدرات‌های کربن می‌باشد. ترکیبات بیولوژیکی و آلی امروزه با اهداف مختلفی همچون افزایش محصول، کاهش مواد شیمیایی مضر و تأثیر برخی هورمون‌های مؤثر برای رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند (Mahbob, 2004). بررسی نیازهای تغذیه‌ای گیاهان دارویی در رسیدن به عملکرد مناسب و اقتصادی این گیاهان نقش به‌سزایی دارد. از جمله این عناصر غذایی مورد نیاز این گیاهان می‌توان به نیتروژن اشاره نمود. بررسی تأثیر کود نیتروژن بر رشد رویشی بابونه (*Matricaria chamomilla*) نشان داد، افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به افزایش وزن خشک گیاه بابونه و تحریک رشد رویشی این گیاه شد (Omidbeigi and Hassani Malayeri, 2007; Rahmati et al., 2009). مصرف برگی کود نیتروژن در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum*) نیز موجب افزایش درصد و عملکرد اسانس این گیاه شد زیرا رابطه مستقیمی بین افزایش نیتروژن قابل دسترس و افزایش غلظت ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس گشنیز مشاهده گردید (Zheljazkov et al., 2008). در یک بررسی کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش ارتفاع گیاه نعناع (*Mentha*)، شاخ و برگ و عملکرد اسانس شد (Kumar and Sood, 2011). محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی به‌عنوان یک سیستم تغذیه‌کننده ارگانیک در تأمین عناصر مورد نیاز گیاه دارویی بابونه باعث افزایش بیوماس، درصد اسانس و عملکرد اسانس شد (Salehi et al., 2011). کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش بارز ارتفاع بوته، تعداد چتر، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) شد (Darzi et al., 2009). تغذیه برگی عصاره کود گاوی در بومادران (*Achillea millefolium*) موجب

مواد و روش‌ها

۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به صورت کشت بهاره اجرا گردید. در این تحقیق، فاکتور اول شامل اکوتیپ‌های بادرشو در شش سطح (ارومیه، سلماس، عجب شیر، تهران، اصفهان و شیراز) و فاکتور دوم شامل محلول پاشی کودهای آلی ۱۰ درصد در پنج سطح (شاهد، کود گاوی، کود مرغی، ورمی کمپوست و کمپوست) بود. این منطقه بر اساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروترمیک جزو مناطق سرد و خشک می‌باشد. مشخصات خاک محل آزمایش در جدول ۱ و میانگین شرایط آب و هوایی دوره رشد در جدول ۲ نشان داده شده است.

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی کودهای آلی بر صفات مورفولوژیک و عملکرد کمی و کیفی شش اکوتیپ بادرشو، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و ۳۰ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۰۵ ثانیه با ارتفاعی برابر ۱۳۲۰ متر از سطح دریا، در دو سال زراعی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در سال‌های ۹۴ و ۹۵

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experimental location in 2015 and 2016

سال Year	عمق نمونه برداری Sampling depth (cm)	پتاسیم K ₂ O (ppm)	فسفر P ₂ O ₅ (ppm)	نیتروژن کل N (ppm)	کربن آلی O.C (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	اسیدیته کل اسبابع pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت خاک Soil Texture
2015	0-30	250	10.4	0.06	0.6	39	35	26	8.8	1.1	loamy
2016	0-30	249	10.4	0.07	0.6	39	35	26	8.7	1.1	loamy

جدول ۲- میانگین ماهانه شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد بادرشو در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۴

Table 2- Monthly average of weather parameters of the experimental site during the plant growth period in 2015 and 2016

ماه Month	حداقل دما Minimum temperature (°C)	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	بارش Precipitation (mm)	تبخیر Evaporation (mm)	ساعات آفتابی Sunny hours	حداکثر رطوبت Maximum moisture (%)	حداقل رطوبت Minimum moisture (%)
سال ۹۴							
2015							
فروردین April	3.02	17.06	0.45	4.87	7.62	77.71	33.29
اردیبهشت May	7.93	22.39	1.30	6.65	9.15	75.13	29.84
خرداد June	12.27	29.48	0.2	8.97	11.2	66.42	22.65
تیر July	17.01	33.54	0	9.01	12.43	57.26	21.87
مرداد August	15.54	34.36	0	2.29	11.67	57.58	18.71
شهریور September	12.66	28.50	0.34	5.31	9.54	77	31.2
سال ۹۵							
2016							
فروردین April	3.43	15.19	2.05	3.21	6.50	82.29	41.84
اردیبهشت May	9.15	22.95	1.69	5.55	8.92	76.03	32.19
خرداد June	10.98	26.63	1.00	7.16	10.34	71.48	29.77
تیر July	16.14	31.28	0.18	8.20	11.55	69.45	29.48
مرداد August	16.34	32.56	0.00	7.78	11.92	68.26	25.26
شهریور September	12.08	30.22	0.00	5.77	10.42	69.13	24.78

Source: West Azarbaijan meteorological department

منبع: اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی

جوانه‌زنی یکنواخت، تا مرحله ۵۰ درصد گلدهی، هر هفته یک بار آبیاری شد. به دلیل این که گیاه دارویی بادرشبو به صورت بهاره کشت می‌شود و بیشترین بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت وجود دارد، بخش قابل توجهی از نیاز آبی گیاه توسط بارندگی تامین گردید (جدول ۲). مبارزه با علف‌های هرز در حین فصل رشد به صورت دستی و مکانیکی در دو مرحله (بعد از جوانه‌زنی و در مرحله ۱۲ برگ) انجام شد. به منظور تهیه تیمارهای محلول‌پاشی، محلول غذایی کودهای آلی به نسبت یک به ۱۰ تهیه شد، به این صورت که یک کیلوگرم از کود آلی مورد نظر به مدت ۴۸ ساعت در ۱۰ لیتر آب مقطر خیسانده شد، سپس با دو لایه پارچه نازک عصاره حاصل صاف شد. جهت تعیین غلظت و عناصر موجود، محلول‌ها به آزمایشگاه تجزیه خاک، آب، هوا و گیاه منتقل شد. نتایج تجزیه شیمیایی محلول کودهای آلی در جدول ۳ نشان داده شده است. اعمال تیمارهای محلول‌پاشی در مرحله رشد رویشی بادرشبو، دو مرحله در اول و پانزدهم خرداد ماه توسط سمپاش دستی انجام شد. در تیمار شاهد محلول‌پاشی با آب مقطر صورت گرفت.

عملیات تهیه زمین شامل شخم عمیق در پاییز بود و در اوایل بهار به منظور تهیه بستر کاشت، شخم سطحی با گاواهن پنجه‌غازی زده شد و با لولر تسطیح گردید. مزرعه آزمایشی شامل سه بلوک که هر کدام دارای ۳۰ کرت آزمایش بود تهیه گردید. ابعاد کرت‌ها ۲×۲ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک و نیم متر بود. بذور اکوتیپ‌ها از شهرهای مورد نظر جمع‌آوری گردید. کاشت بذور در ۱۵ فروردین به صورت دستی به مقدار سه گرم در هر کرت انجام شد. سپس یک لایه خاک نرم که قبلاً با الک تهیه شده بود به عمق یک تا دو سانتی‌متر بر روی بذرها قرار گرفت و در واقع عمق کاشت بذر یک تا دو سانتی‌متر بود. مقدار بذر مصرفی پنج کیلوگرم در هکتار و درصد جوانه‌زنی بذرها ۹۸ درصد بود. هر کرت آزمایشی از شش ردیف دو متری تشکیل شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت، ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، در نتیجه تراکم نهایی ۶۰ بوته در متر مربع بود. اولین آبیاری (خاک آب) بعد از کاشت بذور به صورت یکنواخت انجام شد. سپس به طور مرتب تا مرحله جوانه‌زنی یک روز در میان آبیاری صورت گرفت و پس از دستیابی به

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در آزمایش

Table 3- The results of chemical analysis of organic fertilizers used in the experiment

کودهای آلی Organic fertilizers	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mg (%)	منگنز Mn mg.kg ⁻¹	روی Zn mg.kg ⁻¹	مس Cu mg.kg ⁻¹	آهن Fe mg.kg ⁻¹	EC dS.m ⁻¹	pH
کود گاوی Cow manure	2.27	0.94	1.25	1.72	0.44	238	210	55	1856	4.21	7.4
کود مرغی Chicken manure	1.75	2.8	2.15	6.12	0.85	538	463	125	1681	6.14	7.5
ورمی کمپوست Vermi compost	1.45	2.3	1.85	7	0.24	1300	1100	250	9000	3.81	7.2
کمپوست Compost	1.25	1.1	0.75	2.5	0.15	600	900	105	1100	7	7.6

Laboratory analysis of soil, water, air and plant samples

آزمایشگاه تجزیه خاک، آب، هوا، گیاه

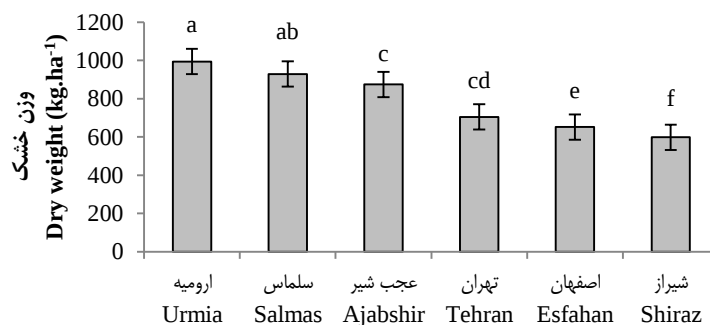
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر اکوتیپ و محلول‌پاشی بر صفت وزن خشک کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). در بررسی اثر اکوتیپ مشاهده شد بیشترین مقدار وزن خشک کل در اکوتیپ ارومیه با ۹۹۴/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان وزن خشک کل مربوط به تیمار محلول‌پاشی عصاره کود مرغی به مقدار ۸۹۶/۷ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شاهد ۱۳/۲ درصد افزایش داشت اما با تیمار محلول‌پاشی عصاره ورمی کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). از آنجایی که عصاره کودهای آلی حاوی عناصر پرمصرف از جمله نیتروژن می‌باشد و نیتروژن از جمله عناصر پرمصرفی است که قابلیت محلول‌پاشی را دارد. محلول‌پاشی نیتروژن می‌تواند به عنوان

به دلیل این که زمان گلدهی مزرعه در سال اول و دوم هم‌زمان بود در نتیجه برداشت نمونه‌ها در سال اول و دوم، اواخر گلدهی در مرداد ماه صورت گرفت. اسانس‌گیری از نمونه‌های خشک انجام شد. بدین منظور به مقدار ۴۰ گرم از هر نمونه وزن شد و جهت اسانس‌گیری با دستگاه کلونجر آماده گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری MSTAT-C، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک کل

محصول باشد (Turley and Ching, 1986). محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی به دلیل داشتن مواد غذایی کافی موجب افزایش سطح برگ‌ها و میزان کلروفیل می‌شود و در نتیجه با افزایش میزان فتوسنتز، میزان ماده خشک بیشتر شده و وزن خشک کل گیاه نیز افزایش می‌یابد. در پژوهشی بر روی اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی زعفران گزارش شد که اثر اکوتیپ بر صفاتی مثل عرض برگ، زیست‌توده و وزن خشک کل معنی‌دار بود (Bayat et al., 2016).



یک روش مکمل جهت تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه در محصولات زراعی نقش مهمی را ایفا نماید (Sarandon and Gianibelli, 1992). از آنجایی که نیتروژن اضافه شده به خاک می‌تواند از طریق آب‌شویی و یا تصعید از دسترس گیاه خارج شود (Cooper and Belakeney, 1990) و عرضه نیتروژن از خاک، ریشه، گره‌ها یا ساقه‌ها به خاطر تنش‌های محیطی یا پیری محدود می‌شود، محلول‌پاشی نیتروژن به عنوان منبع نیتروژن بر روی شاخ و برگ می‌تواند عامل مؤثری در افزایش کیفیت و کمیت

اکوتیپ

Ecotype

شکل ۱- اثر اکوتیپ بر وزن خشک کل بادرشبو

Figure 1- The effect of ecotype on total dry weight of modavian balm

میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد بذریه مربوط به تیمار محلول‌پاشی کود مرغی با میانگین ۳۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شاهد ۲۴/۴ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵). در ایران، به دلیل آهکی بودن و pH بالای خاک‌ها، کاربرد خاکی عناصر ریزمغذی و یا همراه با آبیاری چندان مفید نیست و لازم است که این کودها به صورت محلول‌پاشی استفاده شوند تا موجب افزایش جذب این عناصر و افزایش غلظت آن‌ها در گیاهان شود (Malakoti and Tehrani, 1999). با محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی و در نتیجه فراهمی مواد غذایی برای گیاه و افزایش فتوسنتز، تعداد سرشاخه‌های گلدار افزایش یافته و موجب افزایش تعداد دانه و عملکرد بهتر بذریه گردیده است. طبق پژوهشی، تنوع بالایی در صفات عملکرد بذریه، درصد اسانس، زمان رسیدگی و ارتفاع اکوتیپ‌های مختلف رازیانه (*Foeniculum vulgare*) گزارش گردید (Safaie et al., 2011).

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه آماری داده‌ها نشان داد اثر اکوتیپ و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود با این حال، اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). در بررسی اثر اکوتیپ بر صفت عملکرد بیولوژیک مشاهده شد بیشترین عملکرد بیولوژیک در اکوتیپ ارومیه با ۶۶۲/۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در

وزن هزار دانه

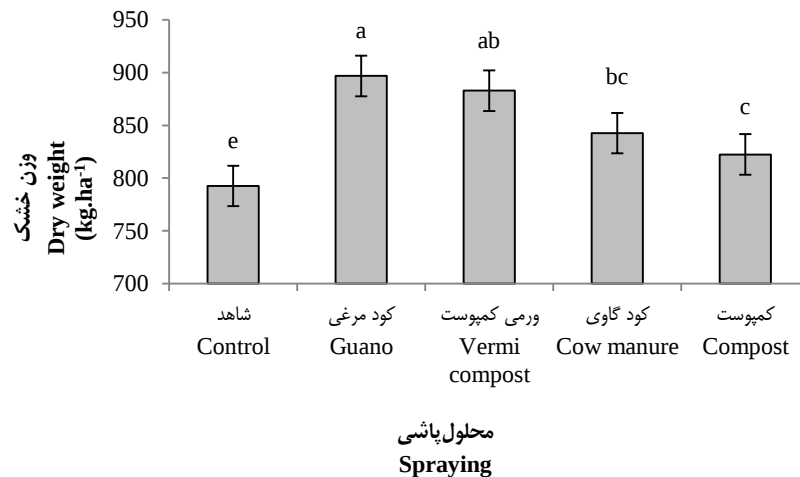
نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر اکوتیپ، محلول‌پاشی و اثر متقابل اکوتیپ در محلول‌پاشی بر صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). با توجه به شکل سه بیشترین مقدار وزن هزار دانه در اکوتیپ ارومیه و در تیمار محلول‌پاشی کود مرغی (۲/۳ گرم) و کمترین مقدار وزن هزار دانه در اکوتیپ شیراز و شاهد (۱/۸ گرم) به دست آمد. کودهای آلی می‌توانند به عنوان منابعی غنی از عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌شمار آیند و به مرور این عناصر را در اختیار گیاهان قرار دهند (Fernandez et al., 1993). نتایج این آزمایش با نتایج سایر تحقیقات مبنی بر افزایش وزن هزار دانه تحت تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از جمله آهن و روی مطابقت دارد (Ravi et al., 2008).

عملکرد بذریه

با توجه به جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر اکوتیپ و محلول‌پاشی بر عملکرد بذریه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های فاکتور اکوتیپ نشان داد که بیشترین عملکرد بذریه از اکوتیپ ارومیه با ۳۳۱/۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از اکوتیپ شیراز ۱۹۹/۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۴). مقایسه آماری

هکتار، سپس محلول پاشی ورمی کمپوست با ۵/۵۷۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

اکوتیپ شیراز با ۳۹۸/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۶). همچنین در بررسی اثر محلول پاشی مشاهده شد بیشترین عملکرد بیولوژیک در محلول پاشی عصاره کود مرغی با ۶۱۰/۴ کیلوگرم در



شکل ۲- اثر محلول پاشی بر وزن خشک کل بادرشبو

Figure 2- The effect of spraying on total dry weight of modavian balm

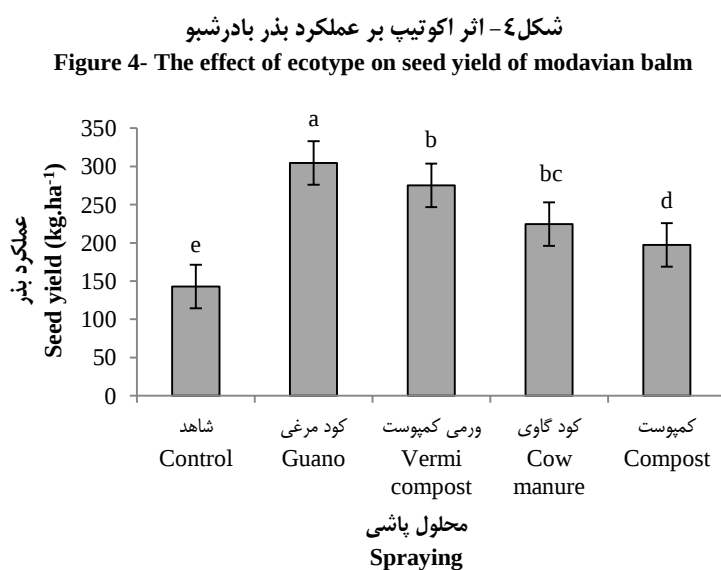
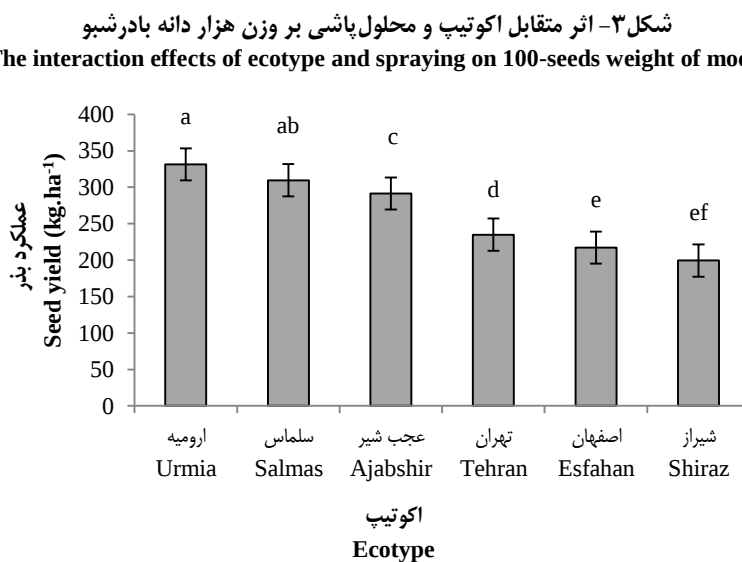
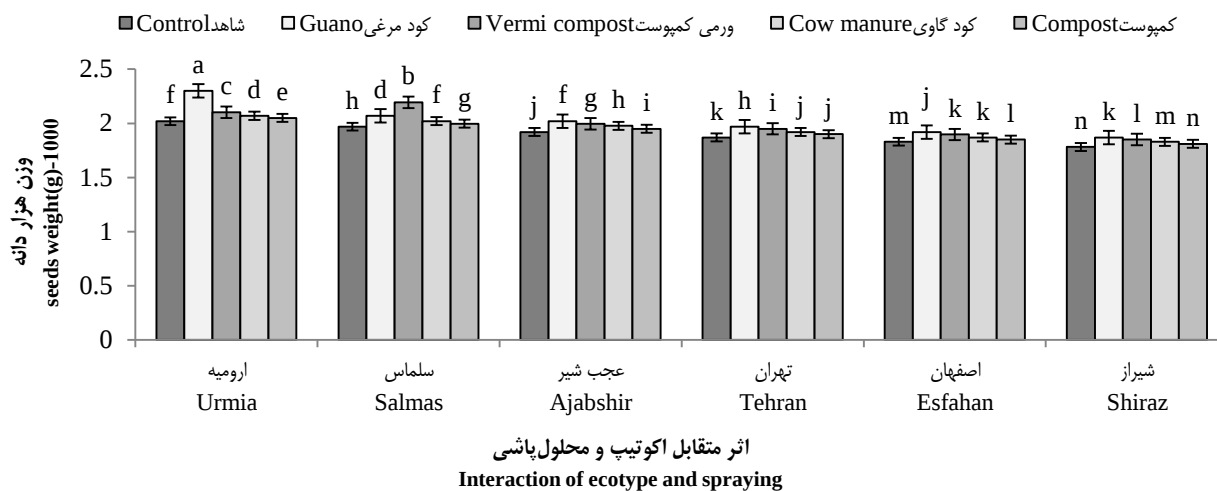
جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات کمی و کیفی بادرشبو تحت اثر اکوتیپ و محلول پاشی

Table 4- Combined variance analysis for the quantitative and qualitative traits of moldavian balm under the influence of ecotype and spraying

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات						
		وزن خشک کل Total dry weight	وزن هزار دانه 1000- seeds weight	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت دانه Grain harvest index	عملکرد اسانس Essence yield	درصد اسانس Essence percentage
سال Year	1	55125.00**	1.80**	50000.00**	51680.56**	18.41**	24.14**	0.15**
تکرار×سال Repeat×Year	4	0.73	0.01	500.00	52.36	0.01	0.03	0.01
اکوتیپ Ecotype	5	262500.00**	0.35**	105650.00**	203571.91**	6213.67**	66.55**	0.37**
سال×اکوتیپ Year×Ecotype	5	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	500.00 ^{ns}	55.54 ^{ns}	3.57**	0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}
محلول پاشی Spraying	4	56520.00**	0.09**	292500.00**	41675.64**	4367.44**	14.07**	0.09**
سال×محلول پاشی Year×Spraying	4	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	490.00 ^{ns}	52.57 ^{ns}	2.31**	0.04 ^{ns}	0.01 ^{ns}
اکوتیپ×محلول پاشی Ecotype×Spraying	20	0.08 ^{ns}	0.07**	500.00 ^{ns}	60.00 ^{ns}	22.64**	0.12*	0.02*
سال×اکوتیپ×محلول پاشی Year×Ecotype×Spraying	20	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	489.00 ^{ns}	49.17 ^{ns}	0.05*	0.07 ^{ns}	0.03 ^{ns}
خطا Error(E)	116	2.05	0.01	506.21	58.43	0.04	0.06	0.02
ضریب تغییرات (%) CV (%)		5.1	3.51	8.6	7.0	5.2	6.7	5.3

* و ** به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی دار

* and ** are indicative of significance at the probability levels of 5% and 1% respectively and ns: non-significant

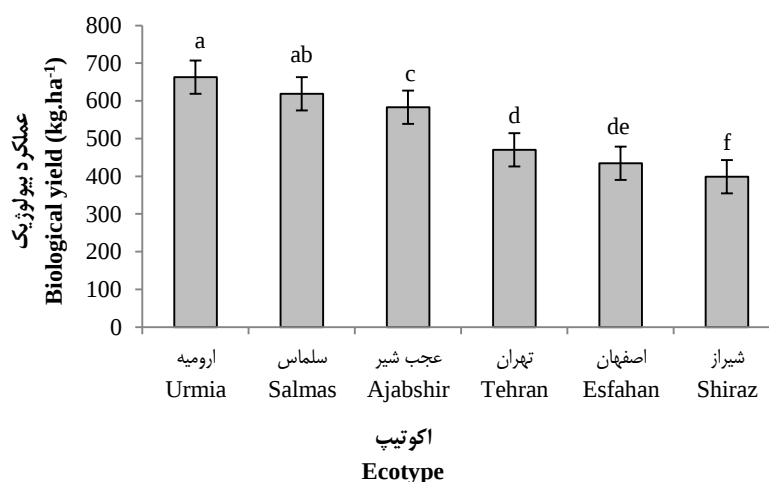


۴). بیشترین مقدار شاخص برداشت دانه در اکوتیپ ارومیه و محلول پاشی کود مرغی ۲۱/۹۳ درصد و سپس در اکوتیپ ارومیه و محلول پاشی ورمی کمپوست ۲۱/۰۷ درصد به دست آمد. کمترین مقدار شاخص برداشت دانه در اکوتیپ شیراز و عدم اعمال محلول پاشی کود آلی (شاهد) ۴/۰۵ درصد به دست آمد (شکل ۸). به نظر می رسد که با محلول پاشی کودهای آلی و تأمین عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف باعث افزایش فتوسنتز می شود و در نتیجه با افزایش شیره پرورده و قدرت انتقال آن به دانه ها موجب افزایش شاخص برداشت دانه شده است. شاخص برداشت تحت تأثیر عملیات زراعی و به خصوص مصرف کود نیتروژن قرار می گیرد (Emam and Niknehad, 1994).

محلول پاشی عصاره کود مرغی منجر به افزایش ۳۵/۷ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد گردید (شکل ۷). محلول پاشی عصاره کودهای آلی با افزایش میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه موجب افزایش رشد گیاه شده و میزان زیست توده تولیدی را افزایش می دهند. در پژوهشی افزایش میزان زیست توده تولیدی در اثر محلول پاشی عصاره کود گاوی ۲۰ درصد در گیاه بومادران (*Achillea millefolium*) گزارش گردید (Scheffer and Koehler, 1993).

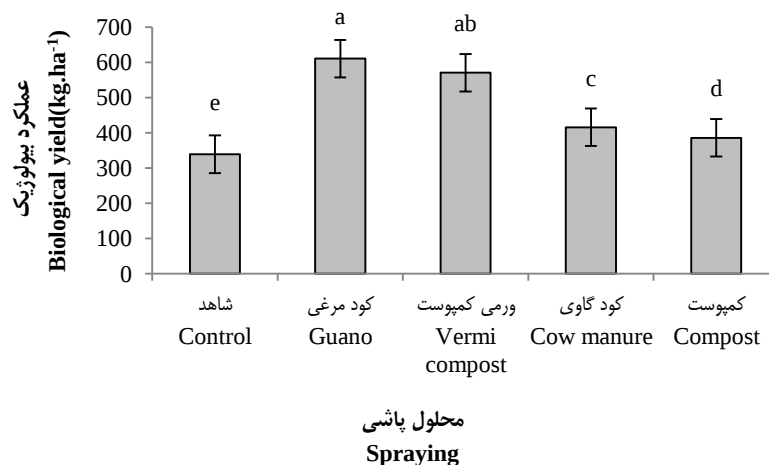
شاخص برداشت دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد اثر اکوتیپ، محلول پاشی و اثر متقابل اکوتیپ در محلول پاشی بر صفت شاخص برداشت دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول



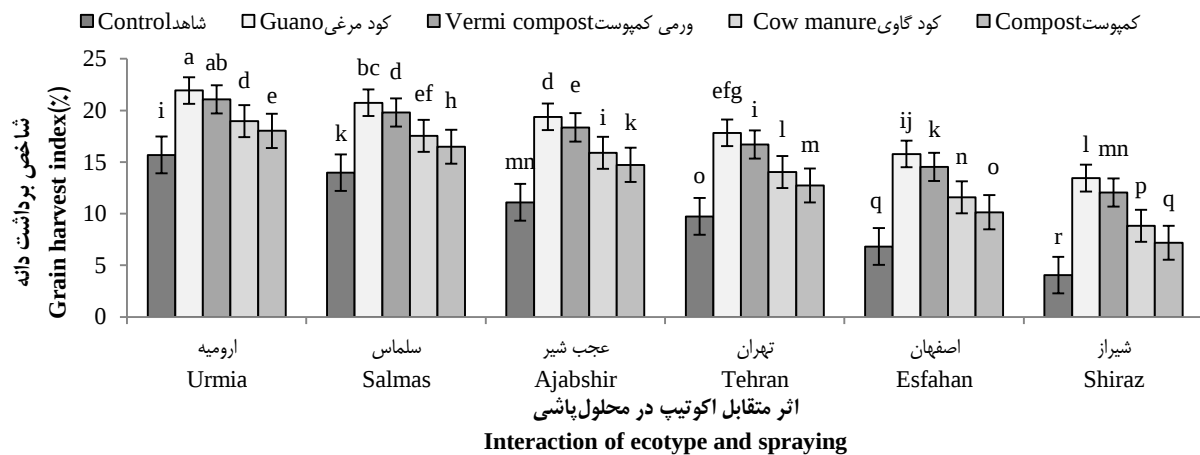
شکل ۶- اثر اکوتیپ بر عملکرد بیولوژیک بادرشبو

Figure 6- The effect of ecotype on biological yield of modavian balm



شکل ۷- اثر محلول پاشی بر عملکرد بیولوژیک بادرشبو

Figure 7- The effect of spraying in on biological yield of modavian balm



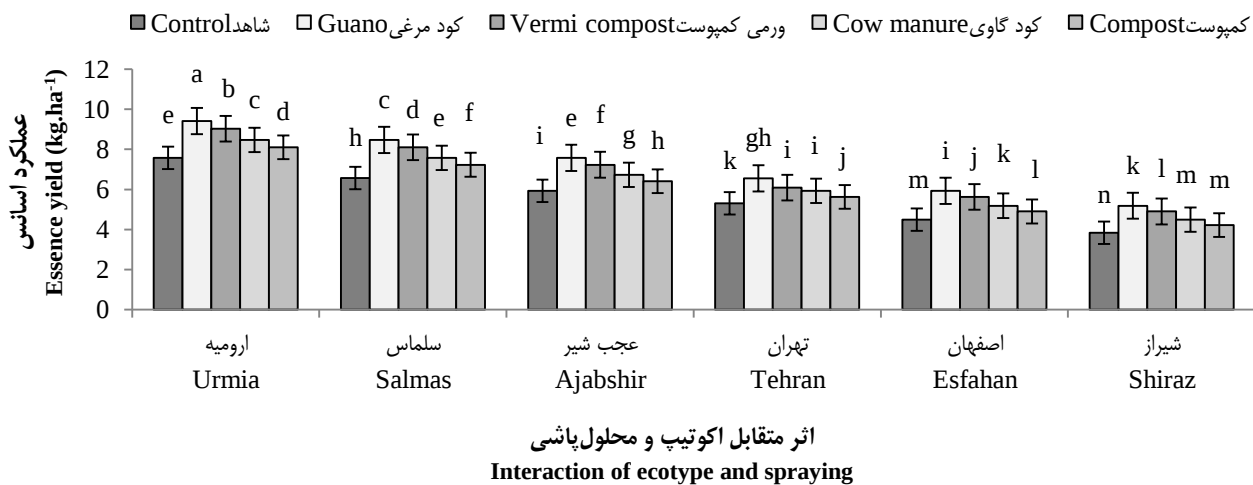
شکل ۸- اثر متقابل اکوتیپ و محلول‌پاشی بر شاخص برداشت دانه بادرشو
 Figure 8- The interaction effects of ecotype and spraying on grain harvest index of modavian balm

عملکرد اسانس

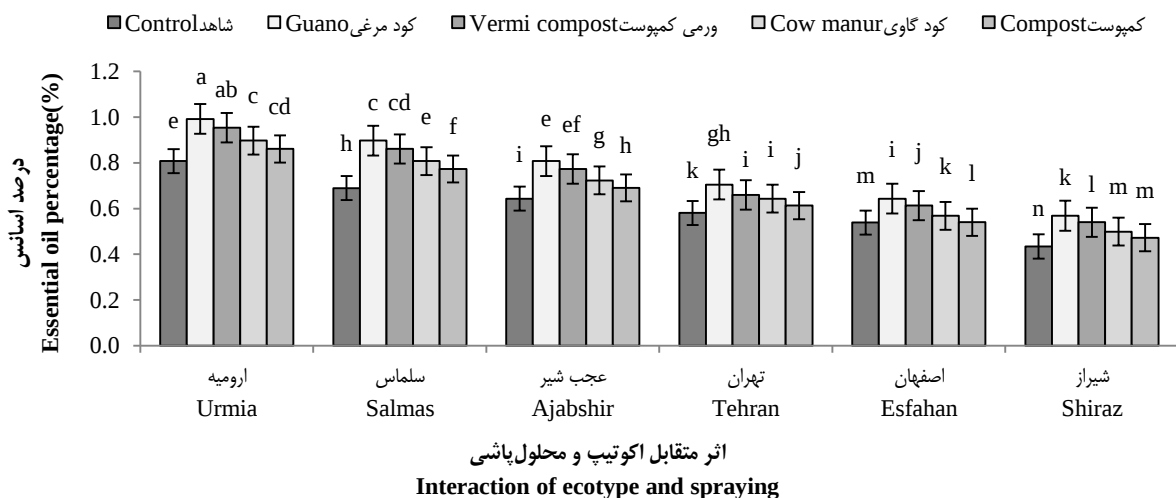
نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثر اکوتیپ و اثر محلول‌پاشی بر عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل اکوتیپ در محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها حکایت از آن داشت که بیشترین عملکرد اسانس در اکوتیپ ارومیه و محلول‌پاشی کود مرغی (۹/۴۲ کیلوگرم در هکتار) و اکوتیپ ارومیه و محلول‌پاشی ورمی‌کمپوست (۹/۰۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. کمترین عملکرد اسانس در اکوتیپ شیراز و عدم اعمال محلول‌پاشی کود آلی (۴/۲۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (شکل ۹). نتایج تحقیقات متعدد حاکی از تأثیر مثبت مصرف برگ‌ریز مغذی‌ها و عناصر پرمصرف در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی و دارویی می‌باشد (Mosavi et al., 2009; Whitty and Chambliss, 2005). ارتفاع گیاه و تعداد سرشاخه‌های گلدار از نظر افزایش پیکر رویشی، جهت استحصال اسانس یک خصوصیت مهم به‌شمار می‌آید. افزایش عملکرد اسانس در نتیجه محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی ممکن است ناشی از اثر مفید بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه باشد. محلول‌پاشی عصاره کودهای آلی و تأمین مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در گیاهان دارویی و معطر با افزایش فتوسنتز، میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم رایبیسکو و رشد و توسعه برگ عملکرد اسانس را افزایش می‌دهد. شرایط محیطی و قدرت سازگاری در کشت و پراکنش گیاهان دارویی دخیل هستند، طبق گزارشی تفاوت زیادی در عملکرد اسانس ۱۰ اکوتیپ رازیانه (*Foeniculum vulgare*) نشان داده شد (Massoud, 1992).

درصد اسانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های این آزمایش اثر اکوتیپ و اثر محلول‌پاشی بر درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل اکوتیپ در محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین درصد اسانس در اکوتیپ ارومیه و محلول‌پاشی کود مرغی (۰/۹۹۲ درصد) و کمترین درصد اسانس در اکوتیپ شیراز و عدم اعمال محلول‌پاشی کود آلی (۰/۴۷۲ درصد) به‌دست آمد (شکل ۱۰). نتایج ما در این خصوص با نتایج تحقیقات دیگر که افزایش درصد اسانس ریحان (*Ocimum basilicum*) و بابونه رومی (*Chamaemelum nobile*) را در اثر کاربرد کودهای آلی گزارش کردند، مطابقت داشت (Salehi et al., 2011; El Gendy et al., 2001). در تحقیقی محلول‌پاشی گشنیز (*Coriandrum sativum*) با روی و آهن در مراحل رشد رویشی، گلدهی و تشکیل میوه سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد انشعابات ساقه، وزن تر، درصد اسانس گیاه و عملکرد دانه شد (Zheljzakov et al., 2008). در پژوهشی، محلول‌پاشی با عناصر کم‌مصرف (آهن و روی) موجب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک، سطح برگ گیاه، درصد اسانس بوته و برگ گیاه نعنای فلفلی (*Mentha piperita*) شد (Zehtab-Salmasi et al., 2008). طبق پژوهشی، تنوع صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و میزان عملکرد دانه را در ۳۴ اکوتیپ رازیانه (*Foeniculum vulgare*) بررسی کردند و نتایج نشان‌دهنده تنوع بالا از لحاظ میزان عملکرد دانه و درصد اسانس در میان آن‌ها بود (Maghsudi Kelardashti et al., 2014).



شکل ۹- اثر متقابل اکوتیپ و محلول پاشی بر عملکرد اسانس بادرشبو
Figure 9- The interaction effects of ecotype and spraying on essence yield of modavian balm



شکل ۱۰- اثر متقابل اکوتیپ و محلول پاشی بر درصد اسانس بادرشبو
Figure 10- The interaction effects of ecotype and spraying on essence percentage of modavian balm

کار علاوه بر افزایش کمی و کیفی محصول و به تبع آن دستیابی به درآمد بیشتر و ایجاد ارزش افزوده بالاتر در فرآیند فرآوری گیاهان دارویی، شاهد خسارات کمتر به بوم‌نظام‌های زراعی در پی استفاده از انواع نهاده‌ها از جمله کودهای شیمیایی خواهیم بود. علاوه بر این نتایج این تحقیق به وضوح اهمیت انتخاب اکوتیپ مناسب برای کشت را جهت تولید بهینه در هر منطقه خاطر نشان نمود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که محلول پاشی عصاره کودهای آلی تاثیر مثبت و معنی‌داری در بهبود عملکرد کمی و کیفی بادرشبو دارد. با توجه به اهمیت توسعه کشت گیاهان دارویی در کنار اتخاذ روش‌هایی برای تولید که سازگار با محیط‌زیست بوده و در زمره روش‌های پایدار تولید قرار گیرند، استفاده از تغذیه برگ‌ها به‌طور عام و استفاده از محلول پاشی عصاره کودهای آلی به‌طور خاص به‌عنوان راه‌کاری موثر در راستای نیل به این هدف تلقی می‌شود. این چیزی است که نتایج این تحقیق به وضوح آن را به اثبات می‌رساند. با این

References

1. Alizadeh-Sahzabi, A., Sharifi-Ashorabadi, E., Shirani-Rad, A., and Abaszadeh, B. 2007. The effects of different methods and levels of using nitrogen on some quality and quantity characteristics of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 23 (3): 416-431. (in Persian).
2. Bayat, M., Amirmia, R., Tajbakhsh, M., and Tanulach, B. 2016. Study of genetic diversity and some of the agronomic and qualitative traits in saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agriculture and Technology Journal 4 (3): 185-200. (in Persian).
3. Bermani, M. 1997. Study the effect of nitrogen fertilizer at different stages of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) life and the amount of Essence production. MSc thesis. Tarbiat Moalem University. Tehran, Iran. (in Persian).
4. Cooper, J. L., and Belakeney, A. B. 1990. The effect of two forms of nitrogen fertilizer applied near anthesis on the grain quality of irrigated wheat. Australian Journal of Experimental Agriculture 30: 615-619.
5. Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rajaei, F. 2009. The Effect of Biofertilizers on the Absorption of N P k Elements and grain yield of fennel. Research of medicinal plants and aromatic plants of Iran 25 (1): 1-19. (in Persian).
6. El Gendy, S. A., Hosni, A. M., Omer, E. A., and Reham, M. S. 2001. Variation in herbage yield, essential oil yield and oil composition on sweet basil (*Ocimum bacilicum*) grown organically in a newly reclaimed land in Egypt. Arab Universities Journal of Agricultural Science 20 (9): 915-933.
7. Emam, Y., and Niknejad, M. 1994. An introduction to the physiology of crop yield. Shiraz University Press. pp: 576. (in Persian).
8. Gharib, F., Moussa, L. A., and Massoud, O. N. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. International Journal of Agriculture and Biology 10 (4): 381-387.
9. Gholizadeh, A., Amin, M. S. M., Anuar, A. R., Esfahani, M., and Saberioon, M. M. 2010. The study on the effect of different levels of zeolit and water stress on growth, development and essential oil content of moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.). American Journal of Applied Science 7 (1): 33-37.
10. Izanlu, A., Jami, A., Zabet, M., and Samadzadeh, A. R. 2017. Study of Genetic Diversity of Different Fennel Ecotypes (*Foeniculum vulgare* Mill) Based on morpho-phenological characteristics. Biomedical Journal of Iranian Herbs and Medicinal Herbs Research 33 (5): 779-792. (in Persian).
11. Kumar, V., and Sood, M. 2011. Effect of transplanting time, spacing and fertilizers on herbage and oil yield of *Mentha piperita*. International Journal of Farm Sciences 1: 68-74.
12. Lebaschi, M. H., Matin, A., and Sharifi-Ashurabadi, A. 2004. Comparing the agricultural and natural ecosystems in the production of hypericin. Research and Construction in Natural Resources 16 (2): 48-54.
13. Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S. H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., and Fan, T. 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma 158: 173-180.
14. Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M. R., and Talebi, M. 2014. An assessment of morphological genetic variations and heritability of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. Taxonomy and Biosystematics 6 (18): 77-86.
15. Mahbob Khomami, A. 2004. Effect of liquid biofertilizer (*vermiceliosis*) as leaf spray on nutrition and growth indices of Dafen bakhia and aglonma. Agricultural Sciences Research Journal 1 (4): 175-187. (in Persian).
16. Malakoti, M. J., and Tehrani, M. M. 1999. The Role of Microelements on Crop Yield Increasing and Quality Improvement. Tarbit Modares University Press, 301p. (in Persian).
17. Massoud, H. 1992. Study on the essential oil in seed of some fennel cultivars under Egyptian environmental conditions. 40th Annual Congress on Medicinal Plant Research, Trieste, Italy, 1-5 September, 58 (7): A523-775.
18. Melero, S., Vanderlinden, K., Ruiz, J. C., and Madejon, E. 2008. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. European Journal of Soil Biology 44 (4): 437-442.
19. Nabizadeh, M. R., Kafie, M., and Rashed Mohassel, M. H. 2009. Effects of salinity on growth, yield, Accumulation of salts and percentage of essential oil of Caraway (*Carum carvi*). Iranian Journal of Crop Research (1) 1: 53-60. (in Persian).
20. Omidbaigi, R. 2005. Production and Processing of Medicinal Plants.vol: 1. Tehran, AstaneGhodseRazavi Publication. pp, 69-100. (in Persian).
21. Omidbeigi, R., and Hassani Malayeri, S. 2007. Effects of nitrogen fertilization and planting density on the bull's eyechamomile cultivar Zardband. Journal of Agricultural Sciences of Iran 38 (2): 303-309. (in Persian with English abstract).
22. Rahmati, M., Azizi, M., Hassanzadeh Khayat, M., and Nemati, H. 2009. The effect of different levels of density and nitrogen on morphological traits, yield, chamomile essential oil and chamazulene. Agricultural Sciences and Technology 23 (1): 27-35. (in Persian with English abstract).

23. Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., and Dharamtti, P. R. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences 21 (3): 382-385.
24. Safaei, L., Zeinali, H., and Afyuni, D. 2011. Study of genetic variation of agronomic characteristics in *Foeniculum vulgare* Mill. genotypes. Scientific Journal Management System 19 (1): 167-180.
25. Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Asgharzade, A. 2011. The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (2): 188-201. (in Persian).
26. Salehi, A., Tasdighi, H. R., and Gholamhoseini, M. 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 6 (10): 886-891.
27. Sarandon, S. J., and Gianibelli, M. C. 1992. Effect of foliar spraying of urea during or after anthesis on dry matter and nitrogen accumulation in the grain of two wheat cultivar of *T. aestivum* L. Fertilizer Research 31: 79-84.
28. Scheffer, M. C., and Koehler, H. S. 1993. Influence of organic fertilization on the biomass, yield and yield composition of the essential oil of *Achillea millefolium*. Acta Horticulture 331:109-114.
29. Shokrivahed, H. 2009. The effects of foliar supplements of micronutrients on yield and yield components of Hashemi rice cultivar. Final Project Report, Rice Research Institute of Iran. (in Persian).
30. Soodaie Mashaei, S., Mohammadian, M., Karbalaie, M. T., and Fallah, F. 2010. Study the efficiency of foliar application effects of nutrient-included fertilizers and growth promoting fertilizers on yield and yield components of rice. Proceeding of 11th Iranian Crop Science Congress. 24-26 July, 2010. Tehran, Iran. (in Persian).
31. Turley, H. R., and Ching, T. M. 1986. Physiological respond of barley leaves of foliar applied urea-ammonium nitrate. Crop Science 26: 987-993.
32. Velu, G., Ortiz-Monasterio, L., Cakmak, L., and Singh, Y. P. 2014. Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. 59 (3): 365-372.
33. Whitty, E. N., and Chambliss, C. 2005. Fertilization of Field and Forage Crops. Nevada State University Publication. 21 pp.
34. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., and Alyari, H. 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperita* L.). Plant Sciences Research 1: 24-28. (in Persian).
35. Zheljaskov, L., Pickett, K., Caldwell, C., Pincock, J., Roberts, J., and Mapplebeck, L. 2008. Cultivar and sowing date effects on seed yield and oil composition of coriander in Atlantic Canada. Industrial Crops and Products 28 (1): 88-94.



Effect of Foliar Application of Organic Fertilizers Extracts on Agronomic Traits and Yield Quality and Quantity of Six Moldavian Balm Ecotypes

R. Aghaee Okhchelar¹, R. Amirnia^{2*}, M. Tajbakhsh shishvan³, M. Ghiyasi⁴

Received: 17-04-2018

Accepted: 09-03-2020

Introduction

Today, medicinal plants have a special place in the pharmaceutical, food and cosmetic industries. Moldavian balm (*Dracocephalum Moldavica* L.) is an herbaceous annual plant belonging to the Lamiaceae family. In foliar application of plant nutrients the transfer rate of nutrients from the surface of the leaves to various organs of the plant has a great effect, particularly when leaves reach their maximum level. In this method, nutrients are directly aerobic and there is no problem of sediment accumulation in soil and its ability to use. Ecotype characteristics is another factor affecting the components of the medicinal plant. depends on s. This research was carried out in order to evaluate the importance of organic medicinal plants and the advantages of using organic fertilizers and their extracts to improve the quality of active ingredients, maintain soil and environmental contamination.

Materials and Methods

This research was carried out at the research farm of the Faculty of Agriculture, Urmia University, located at Nazlou campus, during two season of 2014 and 2015. The land preparation operations included plowing, leveling and cutting was performed in the fall of first year. Sowing was carried out on April 15th. First, the seeds of ecotypes were weighed. Then the seeds of each ecotype were divided equally into the plots to be planted. Seed sowing was done manually and uniformly in each plot. The dimensions of the plots were 2×2 meters. The blocks were spaced one and a half meters apart. The plots were then irrigated regularly. Weed control was carried out manually and mechanically during the growing season in two stages. The application of spraying treatments in vegetative growth stage was carried out in two stages in the first and fifth of June according to the experimental design with manual sprayer. Sampling was done at the end of flowering in August. Samples in each experimental plot with an area of one square meter were harvest. Essential oil was extracted from dry specimens. For this purpose, 40 g of each sample was weighed, and this amount was put into a 1000 ml bécher after being crushed for the purpose of extraction of the essential oil with a Clevenger apparatus.

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance showed that application of spraying treatments and ecotypes on total dry weight, 1000 seed weight, seed yield, biological yield, grain harvest index, yield and essence percentage were significant at 1% probability level ($p\text{-value} < 0.01$). The interaction of ecotype and spraying application on 1000 seed weight and grain harvest index were significant at 1% probability level ($p\text{-value} < 0.05$) and on yield and essence percentage were significant at 5% probability level ($p\text{-value} < 0.05$). The results showed that the highest amount of 1000 grain weight, grain harvest index, yield and essence percentage were 2.3 g, 76.76%, 9.42 kg ha⁻¹ and 0.99%, respectively belonged to poultry manure spraying and Urmia ecotype. The highest total dry weight and seed yield belonged to Urmia ecotype (969.5 and 875 kg ha⁻¹ respectively) and poultry manure spraying (892.5 and 756.7 kg ha⁻¹, respectively) were obtained. Finally, according to the results of this research, application of poultry manure spraying and ecotype of Urmia in Urmia region and cultivation of native ecotypes in other regions is recommended.

Conclusions

The results of this study showed that foliar application of organic fertilizer extracts has significant effects on studied traits. Therefore, application of organic fertilizers can be a suitable alternative for chemical fertilizers and is recommended. Considering the significant importance of ecotypes on the studied traits, choosing the suitable ecotype for each region is economically feasible.

Keywords: Essence percentage, Foliar feeding, Medicinal herb, Secondary metabolites

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

3- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

4- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(* - Corresponding Author Email: r.amirnia@urmia.ac.ir)



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی کارایی مصرف نور ذرت (*Zea mays* L.) و کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

پرویز رضوانی مقدم^{۱*}، قربانعلی اسدی^۲، بهاره بیچرانلو^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

چکیده

به منظور بررسی کارایی مصرف نور در نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط ذرت و کدو پوست کاغذی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های جایگزینی ۷۵٪ ذرت + ۲۵٪ کدو پوست کاغذی، ۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ کدو پوست کاغذی و ۲۵٪ ذرت + ۷۵٪ کدو پوست کاغذی و کشت خالص هر یک از گیاهان بود. نتایج حاکی از وجود رابطه خطی بین تجمع ماده خشک هر دو گیاه با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ بود. کارایی مصرف نور برای ذرت از ۰/۹۲ گرم بر مگاژول در نسبت ۲۵ درصدی ذرت در کشت مخلوط تا ۴/۳۵ گرم بر مگاژول در کشت خالص و کارایی مصرف نور برای کدوی پوست کاغذی از ۰/۸۷ گرم بر مگاژول در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت تا ۳/۷ گرم بر مگاژول در کشت خالص آن متغیر بود. بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰٪ (کدو پوست کاغذی): ۵۰٪ (ذرت) و نسبت ۷۵٪ (کدو پوست کاغذی): ۲۵٪ (ذرت) مشاهده شد که در زمان بین ۷۰-۱۱۰ روز پس از کاشت میزان تشعشع جذب شده کل پوشش گیاهی حداکثر و با میزان تشعشع رسیده به پوشش گیاهی هم‌پوشانی داشت. بالاترین مقدار شاخص برداشت ذرت (۵۹/۵) در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت و بالاترین مقدار شاخص برداشت کدوی پوست کاغذی (۲۴/۱) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست کاغذی: ۵۰٪ ذرت به دست آمد. بیشترین نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نور ذرت و کدوی پوست کاغذی در نسبت ۲۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۷۵٪ ذرت و سپس در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست کاغذی: ۵۰٪ ذرت (به ترتیب ۵/۴۹ و ۵/۰۴) مشاهده شد که بالاترین میزان شاخص برداشت را نیز نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، تشعشع فعال فتوسنتزی، جذب نور، شاخص سطح برگ، عملکرد

مقدمه

کارایی استفاده از تشعشع جذب شده در تبدیل به ماده خشک می‌باشد (Tsubo et al., 2001). از بین این مؤلفه‌ها، می‌توان میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی را از طریق افزایش شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌های پوشش گیاهی بهبود بخشید. ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل این که برگ‌های خود را در آرایش عمودی تری قرار می‌دهد، ضمن جذب بهتر نور، امکان نفوذ نور را به بخش‌های پایین پوشش گیاهی می‌دهد. از طرفی کدوئیان به دلیل پوشاندن سریع سطح زمین از طریق رشد خزنده و قابلیت رشد در سایه، از اغلب گیاهانی هستند که در کنار ذرت به صورت مخلوط کشت می‌گردند (Momirovic et al., 2015; Khoramivafa et al., 2006). کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گیاهی علفی و یکساله است که به دلیل خواص دارویی متعدد از مهمترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی تیره کدوئیان (Cucurbitaceae) است (Hamzei et al., 2015). بنابراین در کشت مخلوط ذرت و کدوی پوست کاغذی، ذرت به دلیل ارتفاع بیشتر نسبت به کدوی پوست کاغذی و ساختار مورفولوژیکی متفاوت، نور رسیده به سطح پوشش گیاهی را دریافت و مابقی تشعشعی که از لایه‌های بالایی عبور می‌کند توسط کدوی پوست کاغذی جذب

کشت مخلوط یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین فعالیت‌های کشاورزی در سیستم‌های کشت کم‌نهاد در بسیاری از مناطق جهان به شمار می‌رود (Anil et al., 1998; Tsubo and Walker, 2002). یکی از عوامل دخیل در برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، انتخاب درست اجزای آن است. هنگامی که گیاهان با سیستم ریشه‌ای متمایز و ساختار پوشش گیاهی متفاوت در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی را اشغال کرده و به دلیل استفاده مکانی و زمانی متفاوت از منابع محیطی در مقایسه با تک‌کشتی از منابع به طور کارآمدتری استفاده می‌نمایند (Tsubo et al., 2005). نور یکی از مؤلفه‌های اصلی رشد و تولید ماده خشک گیاه است که در شرایط بدون تنش تابعی از زمان، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده، کسری از تشعشع که توسط گیاه جذب می‌گردد و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانشیار و دانشجوی دکترا، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*)- نویسنده مسئول: (Email: rezvani@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.73192

می‌گردد و از این رو کارایی مصرف نور به حداکثر خود خواهد رسید (Moradi et al., 2015).

به نظر می‌رسد اغلب مقالات منتشر شده در زمینه کشت مخلوط طی ۲۰ سال گذشته در خصوص عملکرد گیاهان در کشت مخلوط و مقایسه آن با تک‌کشتی متمرکز بوده است و سایر خصوصیات کارکردی آن از جمله کارایی مصرف نور چندان مورد توجه قرار نگرفته است (Connolly et al., 2001; Moradi et al., 2016; Khorramivafa et al., 2008, 2011). مرادی و همکاران (Moradi et al., 2016) در بررسی سودمندی کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، کدوی تخمه کاغذی و لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) بیان کردند که نسبت برابری زمین در مخلوط‌های دوگانه و سه‌گانه بیشتر از یک به‌دست آمد اما میزان آن در مخلوط سه‌گانه بالاتر از دوگانه ذرت و کدوی تخمه کاغذی بود. خرمی وفا و همکاران (Khorramivafa et al., 2008) گزارش کردند که کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی در بین ردیف‌های ذرت، تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه، بیومس کل و شاخص برداشت ذرت نداشت با این حال با افزایش تراکم ذرت، عملکرد دانه افزایش یافت ولی افزایش تراکم کدوی تخمه کاغذی تا دو بوته در متر مربع، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه ذرت نداشت. خرمی وفا و همکاران (Khorramivafa et al., 2011) به ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با نخود (*Cicer arietinum*) و عدس (*Lens culinaris*) در سطوح مختلف نیتروژن پرداختند و بیان کردند که کشت کدوی تخمه کاغذی با عدس و مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، بیشترین بهره‌وری از زمین و سودمندی اقتصادی را به‌همراه داشت.

البته در خصوص کارایی مصرف نور نمی‌توان به‌طور قطع بیان نمود که در تمام کشت‌های مخلوط بالاتر از خالص است بلکه بسته به اجزای کشت مخلوط و نحوه آرایش آن‌ها نسبت به هم متفاوت می‌باشد (Alizadeh et al., 2010). نتایج مطالعات صورت گرفته روی کارایی مصرف نور در پوشش گیاهی مخلوط گیاهان مختلف متفاوت بوده و در حالی که برخی مطالعات بر افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و ذرت با سیب‌زمینی دلالت دارند (Azizi et al., 2015; Mansoori et al., 2013; Hosseiniapanahi et al., 2010)، برخی دیگر، کاهش آن را گزارش نموده و تأثیر کشت مخلوط را بر کارایی مصرف نور ذرت با گندم و لوبیا با ریحان ناچیز دانسته‌اند (Nassiri Mahallati et al., 2011; Alizadeh et al., 2010) که البته به نظر می‌رسد این نتایج به گونه گیاهی، مورفولوژی و خصوصیات آن بستگی دارد.

عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2015) به ارزیابی کارایی مصرف نور در کشت مخلوط سه رقم سویا (*Glycine max* L.)، سه گونه ارزن (*Panicum miliaseum* L., *Pennisetum glaucum* L.) و کشت مخلوط ارزن، سویا و کنجد

(*Sesamum indicum* L.) و کشت مخلوط ارزن، کنجد، شنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) پرداختند. در این گزارش بیان شده است که هرچه شباهت مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین گیاهان کمتر باشد، تنوع کارکردی افزایش یافته و از نور به نحو بهتری استفاده می‌شود. در این مطالعه بیشترین میزان ماده خشک تولیدی به ازای نور جذب شده بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی در کشت مخلوط چهار گونه ارزن، کنجد، شنبليله و زنیان به مقدار ۳/۳۱ گرم بر مگاژول گزارش شد (Azizi et al., 2015). در بررسی کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نیز افزایش کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر یک از گیاهان گزارش شد (Mansoori et al., 2013). در این مطالعه افزایش سطح سایه‌انداز برای جذب تشعشع در کشت مخلوط ذرت و لوبیا و استفاده بهینه از نور توسط کشت مخلوط دلیل این برتری عنوان شد. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseiniapanahi et al., 2010) گزارش کردند که کارایی مصرف نور ذرت در تیمارهای مخلوط با سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بیشتر از تک‌کشتی ذرت بود و در این میان تیمارهای مخلوط با آرایش ردیفی (با کارایی مصرف نور ۳/۲۷ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) بر آرایش نواری (با کارایی مصرف نور ۲/۷۳ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) ارجحیت داشتند. دلیل این برتری در تیمارهای مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت، به‌خصوص مخلوط ردیفی، افزایش فاصله ردیف‌های ذرت نسبت به کشت خالص بیان شد، در حالی که کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در تیمارهای مخلوط به دلیل سایه‌اندازی ذرت و کمبود نیتروژن کمتر از کشت خالص گزارش شد. منصوری و همکاران (Mansoori et al., 2013) در بررسی کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا در منطقه زنجان بیان کردند که میزان جذب تشعشع در مخلوط ذرت و لوبیا در کلیه تیمارهای کشت مخلوط نسبت به خالص هر دو گونه بیشتر بود و با توجه به کارایی مصرف نور در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط این دو گیاه، کشت افزایشی ۶۰ درصد لوبیا به‌عنوان بهترین الگوی کشت تعیین شد. نصیری‌محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2011) در کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه (*Triticum aestivum*) و ذرت مشاهده کردند که تشعشع جذب شده توسط پوشش گیاهی در کشت مخلوط نسبت به خالص افزایش قابل‌توجهی داشت اما کارایی مصرف نور گونه تحت تأثیر کشت مخلوط تغییر نکرد. از این رو، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کدوی پوست‌کاغذی در کشت مخلوط با ذرت از نظر بهبود جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، کارایی مصرف نور و یافتن بهترین نسبت اختلاط جهت نیل به این هدف انجام شد.

مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای

جهت آماده‌سازی زمین مورد نظر که پیش از آن به کشت یونجه اختصاص داشت، در پاییز یک نوبت شخم برگردان زده شد. در اوایل بهار سال بعد، دو نوبت دیسک زده شد و سپس تسطیح گردید. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از انجام کشت یک مرتبه نمونه‌برداری از خاک مزرعه به‌صورت تصادفی از ۵ نقطه با استفاده از آگر به قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Some of soil physical and chemical properties

Soil texture	Bulk density (g.cm ⁻³)	Total Nitrogen (%)	Absorbable Phosphorus ppm	Absorbable Potassium	pH	EC (dS. m ⁻¹)
Clay loam	1.44	0.14	26.3	290	7.8	2.25

(۱) $a+b*4*(exp(-(x-c)/d))/(1+exp(-(x-c)/d))^2$
که در آن a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود، x: روز پس از کاشت و Y: مقادیر روزانه شاخص سطح برگ می‌باشد.

با استفاده از داده‌های ساعات آفتابی تهیه شده از سازمان هواشناسی استان خراسان شمالی برای عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، میزان تشعشع روزانه خورشیدی از روش خودریان و فان لار محاسبه شد (Nassiri Mahallati, 2000; Nassiri Mahallati et al., 2011).

هم‌زمان با نمونه‌برداری‌های سطح برگ و ماده خشک (از ۴۰ روز پس از کاشت، هر دو هفته)، میزان نور بالا و پایین پوشش گیاهی توسط دستگاه تشعشع‌سنج مدل Sun scan اندازه‌گیری شد (Nassiri Mahallati et al., 2011). با توجه به معادله (۲) و با داشتن شاخص سطح برگ و اندازه‌گیری نور در بالا و پایین پوشش گیاهی، ضریب استهلاک نوری (K) با رگرسیون‌گیری از لگاریتم طبیعی مقدار نور عبور کرده (Ii/I) در مقابل شاخص سطح برگ برای هر گونه به‌دست آمد.

(۲) $\frac{I_i}{I_0} = e^{-K.LAI}$
در این معادله، I₀ مقدار تشعشع در بالای پوشش گیاهی، I_i مقدار تشعشع در پایین پوشش گیاهی، K، ضریب استهلاک نوری و LAI، شاخص سطح برگ است.

نور جذب شده روزانه برای هر یک از گونه‌ها و برای هر نسبت کشت به‌صورت جداگانه با استفاده از معادلات (۳-۵) محاسبه و در نهایت کارایی مصرف نور برای هر گونه در نسبت‌های مختلف کشت به‌صورت جداگانه از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده

به‌منظور بررسی کارایی مصرف نور در نسبت‌های جایگزینی کشت مخلوط ذرت و کدو پوست‌کاغذی، آزمایشی در قالب سری جایگزینی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۷۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. میانگین درازمدت (۳۵ ساله) میزان بارش سالیانه ۲۷۹ میلی‌متر و میانگین دما ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد است. (North Khorasan meteorological administration, 2017).

تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ (M)، کشت خالص کدوی پوست‌کاغذی (P)، نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی شامل ۷۵٪ ذرت + ۲۵٪ کدو پوست‌کاغذی، ۵۰٪ ذرت + ۵۰٪ کدو پوست‌کاغذی و ۲۵٪ ذرت + ۷۵٪ کدو پوست‌کاغذی بود. هر کرت شامل شش ردیف کاشت با طول شش متر بود که فاصله هر ردیف از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. بذرها در خرداد ماه سال ۱۳۹۴ با فاصله روی ردیف ۱۸ سانتی‌متر برای ذرت و ۵۰ سانتی‌متر برای کدوی پوست‌کاغذی با دست به‌صورت خشکه‌کاری کشت گردید. آبیاری به شیوه معمول منطقه با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. با توجه به نتایج آزمون خاک، در طول فصل رشد هیچ‌گونه کودی مصرف نشد و کنترل علف‌های هرز در صورت لزوم و به‌صورت دستی انجام شد.

تغییرات سطح برگ و ماده خشک در طول فصل رشد

از حدود ۴۰ روز پس از کاشت تا زمان رسیدگی ذرت و کدوی پوست‌کاغذی، در شش مرحله به‌صورت تخریبی از سطحی معادل یک متر مربع از هر کرت (۵ بوته ذرت و سه بوته کدوی پوست‌کاغذی) و با فواصل هر دو هفته یکبار جهت تعیین شاخص سطح برگ و تغییرات وزن خشک برداشت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ گیاهان، برگ‌های سبز هر بوته به تفکیک جدا شدند و پس از چیدن روی مقوای سفید و قرار دادن یک خط‌کش جهت کالیبراسیون، عکس‌برداری انجام و سپس با استفاده از نرم‌افزار Image J سطح برگ هر گیاه محاسبه شد (O'Neal et al., 2002; Bakr, 2005). سپس جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند.

ابتدا مقادیر روزانه شاخص سطح برگ با استفاده از معادله (۱) برازش داده شد (Koocheki et al., 2009).

مصرف نور کدوی پوست کاغذی در کشت مخلوط است (Liu et al., 2018).

برازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Slide Write (ver. 7.01) و رسم شکل با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

روند شاخص سطح برگ

به طور کلی شاخص سطح برگ ذرت و کدوی پوست کاغذی در تمامی نسبت‌های کشت ابتدا روند افزایشی داشت و پس از رسیدن به حداکثر میزان خود از حدود ۷۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت، مجدداً به دلیل زرد شدن و ریزش برگ‌ها در انتهای فصل رشد کاهش یافت (شکل ۱). بیشترین مقدار شاخص سطح برگ ذرت (۵/۲۳) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست کاغذی: ۵۰٪ ذرت و بیشترین مقدار شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی (۵/۰۴) در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت به دست آمد و کمترین مقادیر شاخص سطح برگ هر دو گیاه در نسبت‌های ۲۵ درصدی آنها مشاهده شد (شکل ۱). کاهش سطح برگ کدوی پوست کاغذی در این نسبت کشت می‌تواند به دلیل سایه‌اندازی پوشش گیاهی ذرت بر کدوی پوست کاغذی و دلیل کاهش سطح برگ ذرت در این نسبت کشت احتمالاً فراهمی نور و عدم نیاز به افزایش سطح برگ برای جذب نور در ذرت باشد.

خشک (گرم بر متر مربع) آن گونه و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد (Tsubo and Walker, 2002).

$$I_i = I_0 [1 - \exp((-K_M L_M) + (-K_P L_P))] \quad (3)$$

$$I_P = I_i [(K_P L_P) / ((K_P L_P) + (K_M L_M))] \quad (4)$$

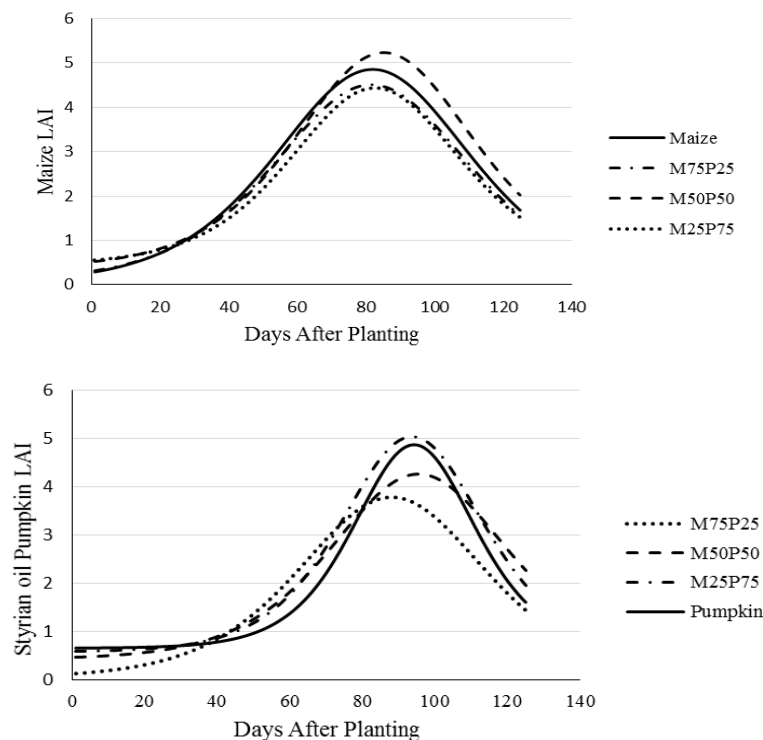
$$I_M = I_i - I_P \quad (5)$$

که در آن I_0 : مقدار تشعشع رسیده به بالای پوشش گیاهی، I_i : مقدار تشعشع جذب شده در کل مخلوط، I_M : مقدار تشعشع جذب شده توسط ذرت، I_P : مقدار تشعشع جذب شده توسط کدوی پوست کاغذی، K_M : ضریب خاموشی نور ذرت و K_P : ضریب خاموشی نور کدوی پوست کاغذی، L_M : شاخص سطح برگ ذرت و L_P : شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی می‌باشد (Nassiri Mahallati et al., 2011; Hosseinpanahi et al., 2010).

نسبت برابری زمین (LER) برای کارایی مصرف نور در کشت مخلوط کدوی پوست کاغذی و ذرت با استفاده از معادله (۶) محاسبه گردید.

$$LER = (RUE_{ms}/RUE_{mi}) + (RUE_{ps}/RUE_{pi}) \quad (6)$$

که در آن RUE_{ms} کارایی مصرف نور ذرت در کشت خالص، RUE_{mi} کارایی مصرف نور ذرت در کشت مخلوط، RUE_{ps} کارایی مصرف نور کدوی پوست کاغذی در کشت خالص و RUE_{pi} کارایی



شکل ۱- روند شاخص سطح برگ ذرت و کدوی پوست کاغذی تحت نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در طول فصل رشد

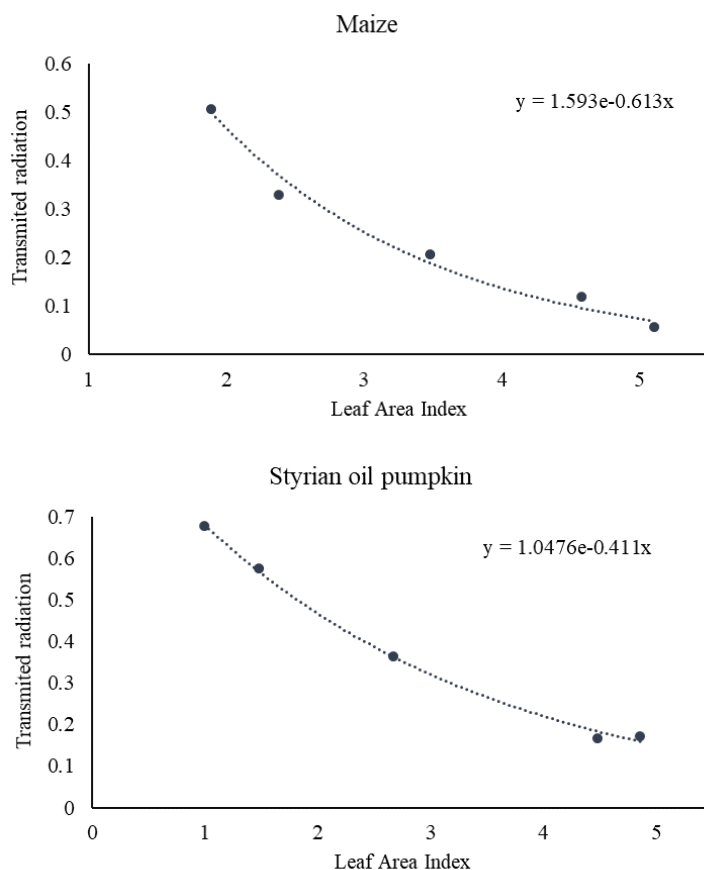
Figure 1- Leaf area index trend of maize and styrian oil pumpkin under different intercropping ratios during growth season

روز پس از کشت در تیمار ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مشاهده شد (Ng'etich *et al.*, 2013). در بررسی دیگری بیشترین مقدار شاخص سطح برگ برای کدوی خورشیدی (*Cucurbita pepo* Linn) و کدو تنبل (*Cucurbita maxima* Duchesne) تحت کشت دیم به ترتیب ۴/۱۴ و ۲/۳ و تحت شرایط آبیاری ۳/۶۳ و ۲/۲۱ گزارش شد (Fandika *et al.*, 2011).

ضریب استهلاک نوری در ذرت و کدوی پوست کاغذی

ضریب استهلاک نوری که شیب منحنی حاصل از شاخص سطح برگ و نور عبور کرده از پوشش گیاهی می‌باشد، برای ذرت ۰/۶۱ و برای کدوی پوست کاغذی ۰/۴۱ به دست آمد (شکل ۲). در سایر منابع نیز ضریب خاموشی برای ذرت ۰/۶ گزارش شده است (Hosseinpanahi *et al.*, 2010; Nassiri Mahallati *et al.*, 2009).

در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا، بالاترین شاخص سطح برگ ذرت (۴) در کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا مشاهده شد (Mansoori *et al.*, 2013). کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2009) تأثیر تیمارهای کم آبیاری بر شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای را بررسی کرده و مشاهده کردند که تیمار آبیاری کامل بالاترین شاخص سطح برگ (۵-۵/۵) را به خود اختصاص داد. در مطالعه‌ای دیگر شاخص سطح برگ ذرت تحت تأثیر کاربرد کود سبز و سطوح مختلف نیتروژن در حدود ۸۰ روز پس از کاشت به بیشترین مقدار خود (۵/۵) رسید (Mohammadi *et al.*, 2015). در خصوص شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی نیز دهقانی تفتی و همکاران (Dehghani Tafti *et al.*, 2016) بیشترین شاخص سطح برگ کدوی پوست‌کاغذی (۳/۳۳) را در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره + ۱/۵ تن کود دامی گزارش نمودند در حالی که در مطالعه‌ای دیگر بیشترین شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی با مقدار ۴/۲۹ در زمان ۷۳



شکل ۲- نور عبور کرده از پوشش گیاهی در مقابل شاخص سطح برگ ذرت و کدوی پوست کاغذی (شیب منحنی، ضریب استهلاک نوری گیاه می‌باشد).

Figure 2- Canopy transmitted radiation in front of leaf area index of maize and styrian oil pumpkin (Slope of the curve is the plant extinction coefficient)

کارایی مصرف نور ذرت

نتایج حاکی از وجود رابطه خطی بین تجمع ماده خشک ذرت با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با کدوی پوست کاغذی بود به طوری که در همه تیمارها ضریب همبستگی بیشتر از $0/9$ به دست آمد (شکل ۳). شیب این خط که نشان دهنده کارایی مصرف نور است از $4/35$ گرم بر مگاژول در کشت خالص ذرت تا $0/92$ گرم بر مگاژول در نسبت 25 درصدی ذرت (75% کدوی پوست کاغذی: 25% ذرت) متغیر بود و کارایی مصرف نور ذرت در سایر تیمارها نیز حد واسط این دو مقدار به دست آمد (شکل ۳). به نظر می رسد بالاتر بودن کارایی مصرف نور در کشت خالص به دلیل بالاتر بودن ماده خشک در اثر بیشتر بودن تراکم، چهار کرینه بودن گیاه ذرت و رقابت درون گونه ای بر سر جذب نور باشد. از طرفی به نظر می رسد کارایی مصرف نور ذرت تحت تأثیر کشت مخلوط با گیاهانی که ارتفاع کمی دارند، قرار نمی گیرد که دلیل آن ممکن است جذب نور توسط برگ های بالایی پوشش گیاهی ذرت باشد.

بنا به گزارش توبو و واکر (Tsubo and Walker, 2002) ساختار پوشش گیاهی و کارایی مصرف نور ذرت تحت تأثیر لوبیا قرار نگرفت به طوری که تفاوتی بین کارایی مصرف نور ذرت در کشت خالص و مخلوط آن با لوبیا مشاهده نشد که دلیل آن را غالب بودن گیاه ذرت به دلیل ارتفاع بیشتر نسبت به لوبیا ذکر کردند. نتایج مشابهی در بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیا (Phaseolus vulgaris L. cv. PAN 127) گزارش شده است که در آن کارایی مصرف نور ذرت در کشت خالص 9 درصد بیشتر از کشت مخلوط آن با لوبیا بود (Tsubo et al., 2001) که آن ها دلیل آن را به بالاتر بودن کارایی مصرف نور در ذرت که یک گیاه چهار کرینه است نسبت دادند و بیان کردند که از آنجا که لوبیا یک گیاه سه کرینه است در کشت مخلوط با ذرت، سبب کاهش کارایی مصرف نور تیمار مخلوط گردید (Tsubo et al., 2001). از سوی دیگر حسین پناهی و همکاران (Hosseinpanahi et al., 2010) کارایی مصرف نور ذرت را بین $3/27$ گرم بر مگاژول در کشت مخلوط ردیفی با سیب زمینی (Solanum tuberosum L.) تا $2/65$ گرم بر مگاژول در کشت خالص ذرت گزارش کردند و بیان کردند که هرچه مخلوط از آرایش ردیفی به سمت آرایش نواری تمایل پیدا کرد، کارایی مصرف نور به تدریج کاهش پیدا کرد و مقدار آن به $2/73$ گرم بر مگاژول در کشت مخلوط نواری با سیب زمینی رسید. منصوری و همکاران (Mansoori et al., 2013) نیز بیشترین کارایی مصرف نور ذرت را در کشت مخلوط افزایشی 60% لوبیا (Phaseolus vulgaris L.) $3/19$ گرم بر مگاژول و کمترین میزان آن را در کشت خالص ذرت ($2/33$ گرم بر مگاژول) به دست آوردند.

لیندکوئیست و همکاران (Lindquist et al., 2005) کارایی مصرف نور ذرت تحت شرایط مطلوب رشد را $3/74$ و $3/84$ گرم بر مگاژول گزارش کردند و بیان کردند که میزان کارایی مصرف نور ذرت در دوران پر شدن دانه نسبت به دوران رویشی کاهش نیافت. در حالی که اتگی و همکاران (Otegui et al., 1995) کارایی مصرف نور ذرت در طول فصل رشد را $3/39$ گرم بر مگاژول برآورد کردند اما در دوران رشد رویشی مقدار بزرگتری ($4/14$ گرم بر مگاژول) را به دست آوردند. آندرد و همکاران (Andrade et al., 1993) مقدار کارایی مصرف نور ذرت را بین $2/27$ تا $3/17$ گرم بر مگاژول گزارش کردند و بیان کردند که با کاهش درجه حرارت، مقدار کارایی مصرف نور ذرت کاهش می یابد. حسین پناهی و همکاران (Hosseinpanahi et al., 2010) اختلافاتی که بین اعداد گزارش شده در آزمایشات مختلف وجود دارد را ناشی از تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی از قبیل دما، میزان رطوبت قابل دسترس، میزان تشعشع محل مورد آزمایش، تراکم، حاصلخیزی خاک و عوامل دیگر بر کارایی مصرف نور دانستند.

کارایی مصرف نور کدوی پوست کاغذی

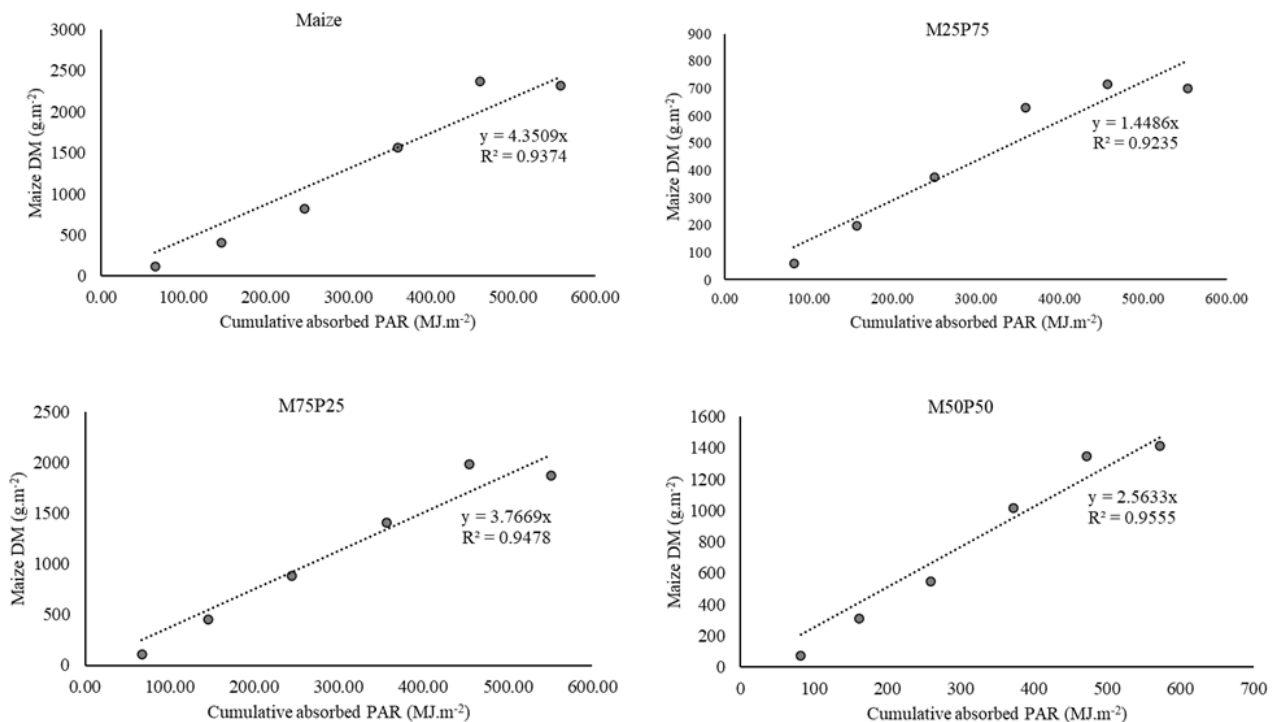
در تمامی نسبت های کشت مخلوط، رابطه خطی بین تجمع ماده خشک کدوی پوست کاغذی با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی (PAR) با ضریب همبستگی بیشتر از $0/9$ به دست آمد (شکل ۴). بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف نور کدوی پوست کاغذی ($3/7$ و $0/87$ گرم بر مگاژول) به ترتیب در کشت خالص آن و نسبت 25 درصدی کدوی پوست کاغذی 25% کدوی پوست کاغذی: 75% ذرت مشاهده شد (شکل ۴) که ممکن است دلیل آن بیشتر بودن تراکم در کشت خالص و در نتیجه بالاتر بودن ماده خشک باشد و از طرفی بوته های کدوی پوست کاغذی در نسبت کشت 25% کدوی پوست کاغذی: 75% ذرت، زیر سایه انداز ذرت قرار داشتند و ضمن دریافت تشعشع کمتر، ماده خشک کمتری هم تولید نمودند. مرادی مرجانه و همکاران (Moradi Marjaneh et al., 2013) بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن و تراکم کاشت بر کارایی مصرف نور در کدوی پوست کاغذی، بیشترین ($0/99$ گرم بر مگاژول) و کمترین کارایی مصرف نور ($0/21$ گرم بر مگاژول) را به ترتیب در تیمار تراکم $2/5$ بوته در متر مربع و 150 کیلوگرم در هکتار نیتروژن و تراکم $0/62$ بوته در متر مربع و 350 کیلوگرم در هکتار نیتروژن گزارش کردند.

در کشت مخلوط لوبیا و ذرت نیز کارایی مصرف نور لوبیا در مخلوط نسبت به تک کشتی بالاتر بود (Tsubo and Walker, 2001; Tsubo et al., 2002). کوچکی و همکاران (Koochecki et al., 2009) نیز بیان کردند که افزایش عرض نوار در کشت مخلوط ذرت و لوبیا، منجر به کاهش معنی دار کارایی مصرف نور شد به

۲۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۷۵٪ ذرت و سپس در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت (به‌ترتیب ۵/۴۹ و ۵/۰۴) مشاهده شد (شکل ۵).

گونه‌ای که در ذرت و لوبیا بیشترین کارایی مصرف نور در تیمار عرض نوار ۲ ردیفی (به‌ترتیب ۱/۹۴ و ۱/۱۵) و کمترین آن در تیمار عرض نوار ۵ ردیفی (به‌ترتیب ۱/۷۴ و ۰/۹۸) مشاهده شد.

بیشترین نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نور ذرت و کدوی پوست‌کاغذی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در نسبت



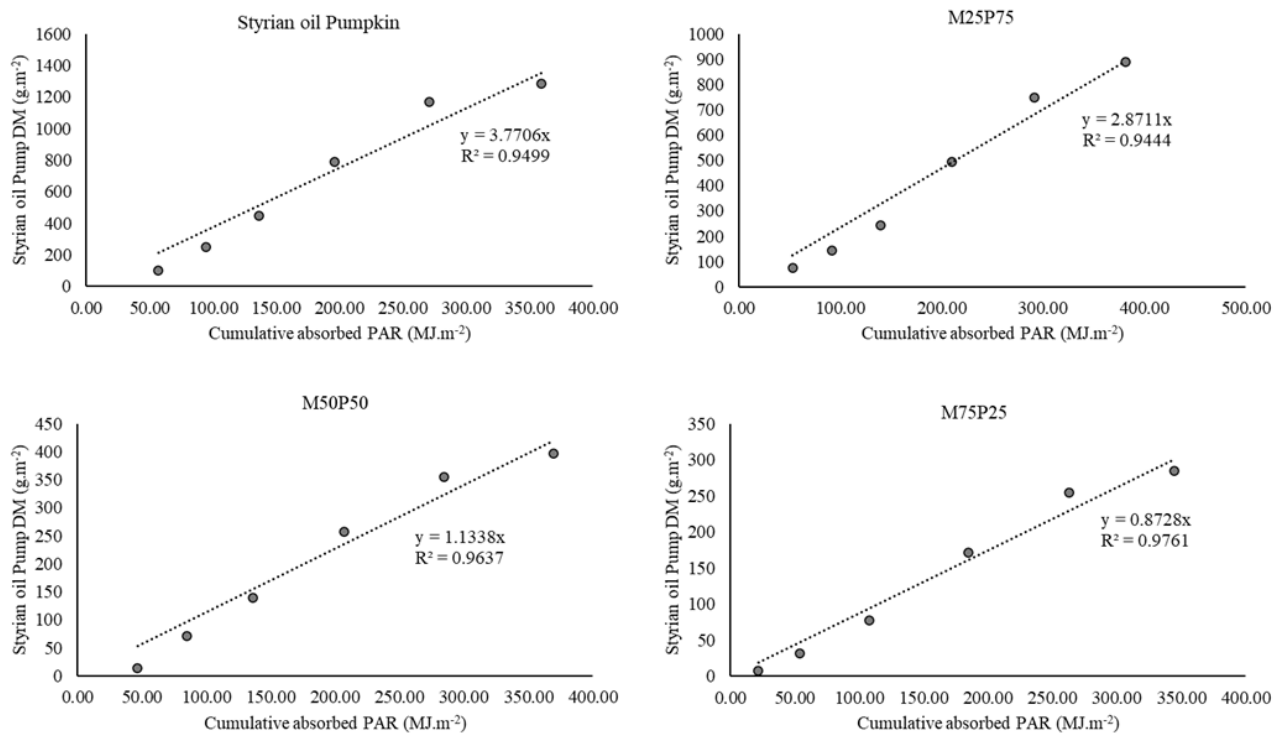
شکل ۳- ارتباط بین تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده و وزن خشک ذرت در تیمارهای مختلف کشت مخلوط

Figure 3- The relationship between cumulative absorbed PAR and maize dry matter in different intercropping treatments

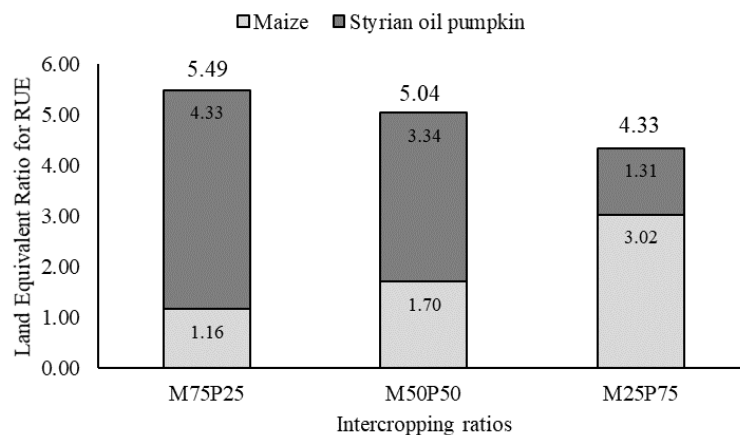
سیب‌زمینی، مشاهده کردند که مقدار تشعشع رسیده به پوشش گیاهی سیب‌زمینی در تمام تیمارهای کشت مخلوط کمتر از ۵۰ درصد کل تشعشع موجود بود و این مسئله را دلیل کاهش قابل توجه زیست‌توده سیب‌زمینی به دلیل قرارگیری در سایه‌انداز ذرت دانستند. در طی تحقیقی در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا، بیشترین تشعشع جذب شده توسط پوشش گیاهی کشت مخلوط افزایشی ۸۰٪ لوبیا با ذرت مشاهده شد (Mansoori et al., 2013). حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi et al., 2011) در بررسی کشت مخلوط نخود (*Cicer arietinum* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) به صورت ردیفی و نواری، بیان کردند که در تیمارهای مخلوط ردیفی میزان جذب نور ۳۶ درصد بالاتر از تک کشتی کنجد بود اما با تک کشتی نخود اختلاف چندانی نداشت و میزان جذب نور را در کشت درهم ۲۵-۲۰ درصد کمتر از کشت ردیفی گزارش کردند.

میزان تشعشع جذب شده توسط پوشش گیاهی

روند تشعشع جذب شده توسط پوشش گیاهی از روند تغییرات سطح برگ هر دو گیاه تبعیت نمود. بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد که در زمان بین ۷۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت میزان تشعشع جذب شده کل پوشش گیاهی به بیشترین مقدار خود رسید و با میزان تشعشع رسیده به پوشش گیاهی همپوشانی داشت، بدین معنی که پوشش گیاهی مخلوط در این نسبت‌های کشت و در این بازه زمانی تمام تشعشع رسیده را به دلیل حداکثر بودن شاخص سطح برگ و بسته شدن پوشش گیاهی، جذب نموده و پس از آن دوباره کاهش یافت (شکل ۶) که دلیل اصلی آن ریزش برگ‌ها در انتهای فصل رشد و دوران رسیدگی است. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi et al., 2010) در بررسی کشت مخلوط ذرت با



شکل ۴- ارتباط بین تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی جذب شده و وزن خشک کدوی پوست کاغذی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط
Figure 4- The relationship between cumulative absorbed PAR and dry matter of styrian oil pumpkin in different intercropping treatments



شکل ۵- نسبت برابری زمین برای کارایی مصرف نور ذرت و کدوی پوست کاغذی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط
Figure 5- Land equivalent ratio for radiation use efficiency of maize and styrian oil pumpkin in different intercropping ratios

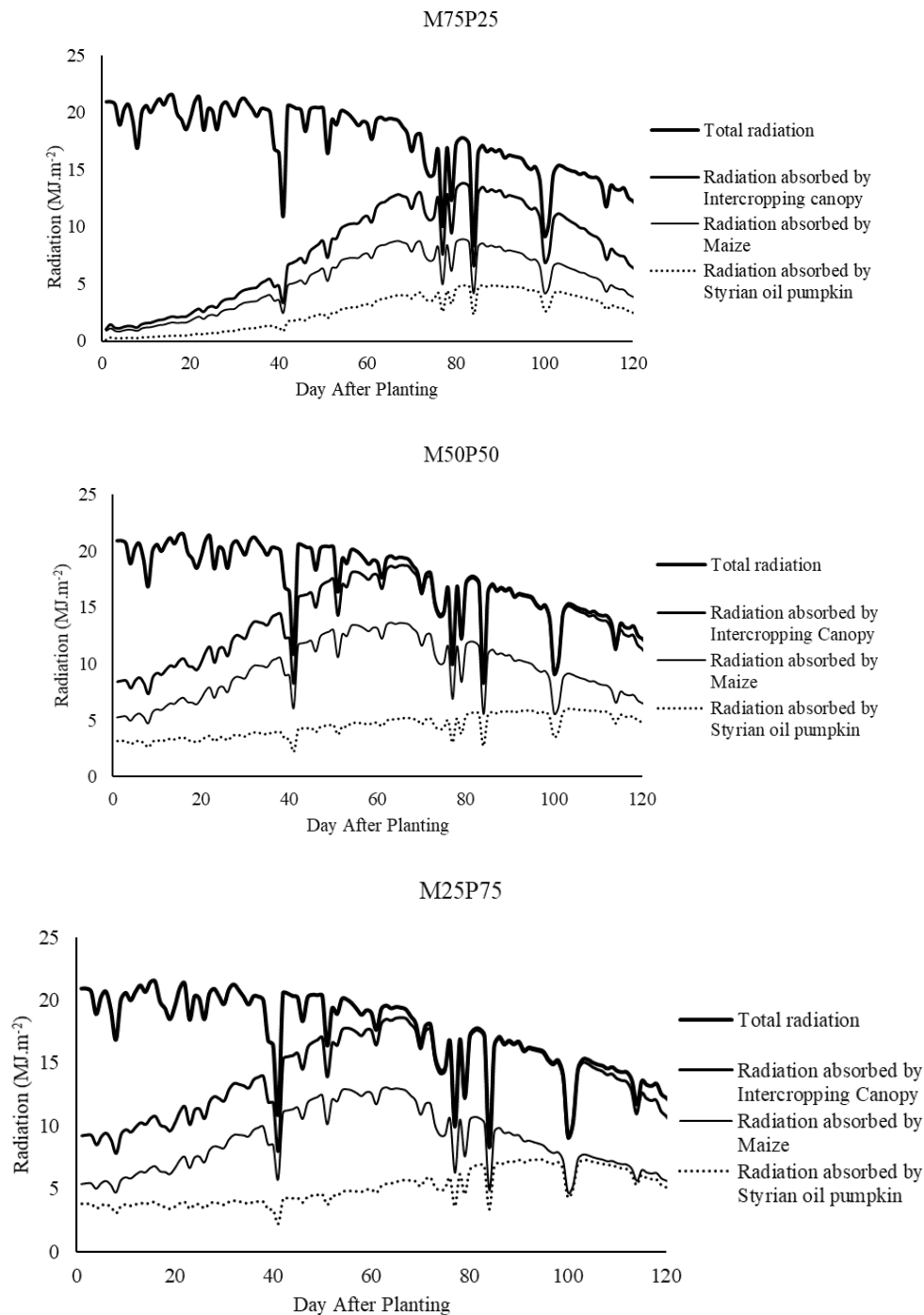
۵۰٪ ذرت با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (به ترتیب ۸۵۵۹ و ۱۶۰۷۲ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص ذرت و کمترین مقادیر آنها در نسبت اختلاط ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد (جدول ۲) که به نظر می‌رسد مهم‌ترین دلیل آن تراکم پایین گیاه در کشت مخلوط بود. بنا به گزارش خرمی‌وفا و همکاران (Khorramivafa et al., 2008) افزایش تراکم کدوی پوست کاغذی تا دو بوته در متر

عملکرد ذرت و کدوی پوست کاغذی

اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر وزن دانه در بوته، عملکرد دانه در هکتار، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ذرت در سطح یک درصد ($p \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲). وزن دانه در بوته به ترتیب در نسبت‌های ۷۵٪ کدوی پوست کاغذی: ۲۵٪ ذرت و ۵۰٪ کدوی پوست کاغذی: ۵۰٪ ذرت دارای بالاترین مقدار بود ولی بین نسبت ۵۰٪ کدوی پوست کاغذی:

فاصله بیشتر ردیف‌ها نسبت به خالص افزایش یافت ولی در مقابل عملکرد سیب‌زمینی در اثر سایه‌اندازی بیش از حد ذرت کاهش پیدا کرد؛ بنابراین کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی با تراکم کمتر ذرت را توصیه کردند.

مربع در بین ردیف‌های ذرت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشت اما افزایش بیشتر تراکم کدوی پوست‌کاغذی سبب کاهش عملکرد شد. حسین‌پناهی و همکاران (Hosseinpanahi *et al.*, 2009) گزارش کردند عملکرد ذرت در کشت مخلوط با سیب‌زمینی در اثر



شکل ۶- میزان تشعشع کل و تشعشع جذب شده توسط پوشش گیاهی مخلوط، ذرت و کدوی پوست‌کاغذی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در طول فصل رشد

Figure 6- Amount of total and absorbed radiation by intercropping, Maize and Styrian oil pumpkin canopy in different ratios of intercropping during the growing season

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت دانه‌ای در الگوهای مختلف کشت مخلوط با کدوی تخمه کاغذی

Table 2- Mean comparison of measured traits of maize in different intercropping ratios with pumpkin

تیمارها Treatments	عملکرد دانه در بوته Grain yield/plant (g)	عملکرد دانه در هکتار Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index
خالص ذرت Sole Maize	171.1bc [‡]	8559.2 a	16072.6 a	53.24 b
ذرت ۷۵٪: کدو ۲۵٪ M75:P25	c 163.7	5524.0 b	10437.1 b	52.90 b
ذرت ۵۰٪: کدو ۵۰٪ M50:P50	b 178.6	4467.1 c	8157.2 c	54.90 ab
ذرت ۲۵٪: کدو ۷۵٪ M25:P75	a 205.5	3459.4 d	5803.7 d	59.55 a
C.V. (%) ضریب تغییرات	2.74	3.20	1.90	4.31

[‡] در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

[‡] In each column, Means with the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD's test.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در کدوی تخمه کاغذی در الگوهای مختلف کشت مخلوط با ذرت

Table 3- Mean comparison of measured traits of pumpkin in different intercropping ratios with maize

تیمارها Treatments	عملکرد دانه در بوته Grain yield/plant (g)	عملکرد دانه در هکتار Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index
ذرت ۷۵٪: کدو ۲۵٪ M75:P25	84.14 b	560.98 d	2512.8 d	22.36 b
ذرت ۵۰٪: کدو ۵۰٪ M50:P50	95.63 a	956.35 c	3975.7 c	24.05 a
ذرت ۲۵٪: کدو ۷۵٪ M25:P75	90.02 ab	1200.33 b	5747.6 b	20.90 b
خالص کدو Sole Pumpkin	73.60 c	1472.0 a	10849.1 a	13.57 c
C.V. (%) ضریب تغییرات	4.05	4.53	2.94	4.01

[‡] در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

[‡] In each column, Means with the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD's test.

نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت بیشترین تأثیر را در شاخص برداشت دانه داشت به‌طوری‌که بالاترین مقدار شاخص برداشت (۲۴/۱) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و کمترین مقدار شاخص برداشت (۱۳/۵) در کشت خالص کدو پوست‌کاغذی به‌دست آمد ولی بین دو نسبت دیگر اختلاف معنی‌داری در خصوص شاخص برداشت مشاهده نشد (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از وجود رابطه خطی بین تجمع ماده خشک هر دو گیاه و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی در تیمارهای مختلف کشت مخلوط با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹ بود. کمترین و بیشترین مقدار کارایی مصرف نور کدوی پوست‌کاغذی (۰/۸۷ و ۳/۷ گرم بر مگاژول) به‌ترتیب در نسبت ۲۵ درصدی کدوی پوست‌کاغذی و کشت خالص آن مشاهده شد. ممکن است دلیل آن بیشتر بودن تراکم در کشت خالص و در نتیجه بالاتر بودن ماده خشک باشد و از طرفی

تأثیر نسبت‌های مختلف کشت بر وزن دانه در بوته کدوی پوست‌کاغذی، عملکرد دانه در هکتار، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

کشت خالص کمترین وزن دانه در بوته را نشان داد (جدول ۳). با این حال، بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب ۱۴۷۲ و ۱۰۸۴۹ کیلوگرم در هکتار) متعلق به کشت خالص کدوی پوست‌کاغذی و سپس نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت (به‌ترتیب ۱۲۰۰ و ۵۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳) که دلیل عمده آن تراکم گیاه در واحد سطح می‌باشد. (Moradi et al., 2015) در بررسی کشت مخلوط ذرت، کدوی پوست‌کاغذی و کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدوی پوست‌کاغذی در شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز بیان کردند که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه و میوه در کشت خالص در تیمار وجین و کمترین آنها در مخلوط سه‌گانه در عدم وجین حاصل شد.

مشاهده شد. نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت بیشترین تأثیر را در شاخص برداشت دانه داشت به‌طوری‌که بالاترین مقدار شاخص برداشت (۲۴/۱) در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و کمترین مقدار شاخص برداشت (۱۳/۵) در کشت خالص کدو پوست‌کاغذی به‌دست آمد. همان‌طوری‌که پیش‌تر بدان اشاره شد، بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۵۰٪ ذرت و سپس نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد، که با نتایج حاصل از عملکرد، شاخص برداشت دانه و نسبت برابری زمین در خصوص کارایی مصرف نور هم‌پوشانی دارد و نشان‌دهنده مزیت نسبت اختلاط ۵۰ درصد می‌باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۳۹۶۵۷ مصوب ۹۴/۱۰/۲۸ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

بوته‌های کدوی پوست‌کاغذی در این نسبت کشت، زیر سایه‌انداز ذرت قرار داشتند و ضمن دریافت تشعشع کمتر، ماده خشک کمتری هم تولید نمودند. بیشترین میزان تشعشع جذب شده کل در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، در نسبت ۵۰ درصد در هر گیاه و سپس نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت مشاهده شد که در زمان بین ۷۰ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت میزان تشعشع جذب شده کل پوشش‌گیاهی به بیشترین مقدار خود رسید و با میزان تشعشع رسیده به پوشش‌گیاهی هم‌پوشانی داشت بدین معنی که پوشش گیاهی مخلوط در این نسبت‌های کشت و در این بازه زمانی تمام تشعشع رسیده را به دلیل حداکثر بودن شاخص سطح برگ و بسته شدن پوشش‌گیاهی، جذب نمود. به طور کلی می‌توان بیان کرد که گیاهی مانند ذرت کمتر تحت تأثیر کشت مخلوط با گیاهانی که ارتفاع کمتری دارند قرار می‌گیرد، اما برای گیاهانی مانند کدوی پوست‌کاغذی که روی سطح زمین رشد می‌کنند، میزان سایه‌انداز گیاه همراه نباید از حدی فراتر رود. چنان‌که در نسبت ۲۵ درصدی کدوی پوست‌کاغذی، کمترین عملکرد، کمترین شاخص سطح برگ، کمترین تشعشع جذب شده و در نهایت کمترین کارایی مصرف نور برای کدوی پوست‌کاغذی نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط مشاهده شد. در بین نسبت‌های مختلف کاشت مخلوط، بالاترین مقدار شاخص برداشت ذرت (۵۹/۵) در نسبت ۷۵٪ کدوی پوست‌کاغذی: ۲۵٪ ذرت

References

1. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agroecology* 2 (1): 94-104. (in Persian).
2. Andrade, F. H., Uhart, S. A., and Cirilo, A. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research* 32 (1-2): 17-25.
3. Anil, L., Park, J., Phipps, R. H., and Miller, F. A. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass Forage Science* 53: 301-317.
4. Azizi, G., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2015. Interaction of nutrient resource and crop diversity on resource use efficiency in different cropping systems. *Agroecology* 7 (1): 1-19. (in Persian).
5. Bakr, E. M. 2005. A new software for measuring leaf area, and area damaged by *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Entomology* (3): 173-175.
6. Connolly, J., Goma, H. C., and Rahim, K. 2001. The information content of indicators in intercropping research. *Agriculture. Ecosystems and Environment* 87: 191-207.
7. Dehghani Tafti, A., Allah Dadi, A., Najafi, F., and Kianmehr, M. 2016. Evaluation of different levels of pelleted manure and urea and micro elements on growth and physiological indices of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* var styriaca). *Plant Production Research* 22 (4): 49-65. (in Persian).
8. Fandika, I. R., Kemp, P. D., Millner, J. P., and Horne, D. J. 2011. Yield and water use efficiency in buttercup squash (*Cucurbita maxima* Duchesne) and heritage pumpkin (*Cucurbita pepo* Linn). *Australian Journal of Crop Science* 5 (6): 742-747.
9. Hamzei, J., Babaei, M., and Khorramdel, S. 2015. Effects of different irrigation regimes on fruit production, oil quality, water use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency of pumpkin. *Agroecology* 7 (1): 99-108. (in Persian).
10. Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri, M., and Ghorbani, R. 2009. Evaluation of yield and yield component in potato/corn intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (1): 23-30. (in Persian).
11. Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato (*Solanum tuberosum* L.) /corn (*Zea mays* L.) intercropping. *Agroecology* 2 (1): 45-54. (in Persian).

12. Hosseinpanahi, F., Pouramir, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2011. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in replacement series intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agroecology* 3 (1): 106-120. (in Persian).
13. Karimi, M., Esfahani, M., Bigluei, M. H., Rabiee, B., and Kafi Ghasemi, A. 2009. Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. *Electronical Journal of Crop Production* 2 (2): 91-110. (in Persian).
14. Khoramivafa, M., Zehtab Salmasi, S., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Javanshir, A., and Mohammadi Shuti, A. 2006. Evaluation of competition in corn (*Zea mays* L.) and pumpkinseed (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) intercropping by reciprocal yield model and some competitive indices. *Journal of Agronomy* 5 (3): 456-460.
15. Khorramivafa, M., Dabagh Mohammadi Nasab, A., Zahtab Salmasi, S., Javanshir, A., and Mohammadi, A. 2008. Evaluation of some crop characteristics of corn (*Zea mays* L.) in intercropping with pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *styuaca*). *Agricultural Science* 17 (4): 75-85. (in Persian).
16. Khorramivafa, M., Eftekharinasab, N., Nemati, A., Sayadian, K., and Najafi, A. 2011. Economic evaluation of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. *Striac*)/ chickpea-lentil intercropping system associated with several nitrogen levels. *Agronomical science* 4 (5): 53-62. (in Persian).
17. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Agroecology* 1 (1): 13-23. (in Persian).
18. Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Walters, D. T., Cassman, K. G., and Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy and Horticulture- Faculty publications, University of Nebraska-Lincoln*, Paper 92. Available at: <http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/92>.
19. Liu, X., Rahman, T., Song, C., Yang, F., Su, B., Cui, L., Bu, W., and Yang, W. 2018. Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping. *Field Crops Research* 224: 91-101.
20. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., and Moradi, R. 2013. Radiation absorption and use efficiency in additive intercropping of maize and bean in Zanjan Region. *Crop Production and Processing* 3 (9): 15-27. (in Persian).
21. Mohammadi, G., Safari-poor, M., Ghobadi, M., and Najaphy, A. 2015. The effect of green manure and nitrogen fertilizer on corn yield and growth indices. *Sustainable Agriculture and Production Science* 25 (2): 105-124. (in Persian).
22. Momirovic, N., Oljaca, S., Dolijanovic, Z., Simic, M., Oljacam M., and Janosevic, B. 2015. Productivity of intercropping maize (*Zea mays* L.) and pumpkins (*Cucurbita maxima* Duch.) under conventional vs. conservation farming system. *Turkish Journal of Field Crops* 20 (1): 92-98.
23. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G., and Samiezadeh, H. 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield. *Sustainable Agriculture and Production Science* 24 (4): 17-31. (in Persian).
24. Moradi Marjaneh, A., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shabahang, J. 2013. Effects of different amount of nitrogen fertilizer and density on yield and light use efficiency of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). In First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, October 10, Hamedan, Iran, Available at: http://www.civilica.com/Paper-MPSA01-MPSA01_155.html. (in Persian).
25. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G. and Samizadeh, H. 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield. *Sustainable Agriculture and Production Science* 24 (4): 17-31. (in Persian).
26. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, Gh. and Samiezadeh, H. 2016. Evaluation of the beneficial effects of triple intercropping of maize (*Zea mays* L.), pinto bean (*Phasaelous vulgaris* L.) and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Crop Production and Processing* 6 (19): 177-189. (in Persian).
27. Nassiri Mahallati, M. 2000. Modelling potential of crop growth processes (translation). Mashhad Jihad daneshgahi, Mashhad, Iran. (Pp. 280). (in Persian).
28. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2011. Light absorption and use efficiency in relay intercropping and fallow culture of winter wheat and corn. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (6): 878-890. (in Persian).
29. Ng'etich, O. K., Nivokuri, A. N., Rono, J. J., Fashaho, A., and Ogwen, J. O. 2013. Effect of different rates of nitrogen fertilizer on the growth and yield of zucchini (*Cucurbita pepo* cv. *Diamant* L.) Hybrid F1 in Rwandan high altitude zone. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5 (1): 54-62.
30. North Khorasan meteorological administration. 2017. Climate data for Shirvan area. Retrieved 2017, Available at: <http://www.nkhmet.ir/>
31. O'Neal, M. E., Landis, D. A. and Isaacs, R. 2002. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. *Journal of Economic Entomology* 95 (6): 1190-1194.
32. Otegui, M. E., Nicolini, M. G., Ruiz, R. A., and Dodds, P. A. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agronomy* 87: 29-33.

33. Tsubo, M., and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use be maize/bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 110: 203-215.
34. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research* 71: 17-29.
35. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H. O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. *Field Crops Research* 93: 10-22.



Evaluation of Radiation use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) and Styrian Oil Pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) under Different Intercropping Ratios

P. Rezvani Moghaddam^{1*}, G. A. Asadi², B. Bicharanloo³

Received: 01-06-2018

Accepted: 02-12-2019

Introduction: Mixed cropping is one of the oldest and most commonly used agricultural activities in low-yield systems in many parts of the world. One of the factors contributing to the superiority of the mixed cropping to sole cropping is the correct selection of its components. When plants with a distinct root system and different canopy structures are placed next to each other, they occupy different ecological niches and have different spatial and temporal uses of environmental resources in a more efficient way than a combination of resources. Light is one of the main components of growth and production of dry matter of plants. In non-stressed conditions, dry matter production is a function of the time and amount of photosynthesis active radiation received, the fraction of radiation absorbed by the plant, and the efficiency of absorbed radiation converted to dry matter. Among these components, it is possible to improve the absorbance of photosynthetic active radiation by increasing leaf area index and canopy leaf arrangement. Due to the fact that maize leaves are placed in a more vertical arrangement, while absorbing better light, allows the light to penetrate into the lower canopy portions. On the other hand, Cucurbitaceae family plants because of the rapid covering of the surface of the land through crawling growth and the ability to grow in the shade, are most of the plants that are cultivated mixed with maize. Styrian oil Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) is an annual herbaceous plant which, due to its numerous medicinal properties, is one of the most important medicinal plants in the Cucurbitaceae family. Therefore, in maize and Styrian oil pumpkin mix cropping, most of the light is absorbed by the maize canopy surface due to its higher height and a different morphological structure, than the Styrian oil pumpkin and the rest of the light that passes through the upper layers is absorbed by the Styrian oil pumpkin canopy and hence, the efficiency of light consumption will be maximized. The aim of this study was to investigate the radiation use efficiency as an important aspect in crop growth and yield improvement.

Materials and Methods: In order to evaluate radiation use efficiency of maize and Styrian oil Pumpkin under different intercropping ratios, an experiment was conducted in a randomized completely block design with three replications in a field located in 10 km west of Shirvan, Iran in 2015. The experimental treatments were included intercropping replacement ratio of 75% maize: 25% Styrian oil Pumpkin, 50% maize: 50% Styrian oil Pumpkin, 25% maize: 75% Styrian oil Pumpkin and pure culture of both plants. A linear PAR Ceptometer (Sun Scan) was used to measure the radiation at top and under the canopy to calculate the amount of absorbed radiation by the canopy.

Results and Discussion: The results showed that there was a linear relationship between dry matter accumulation of both plants with cumulative photosynthetically active radiation. The correlation coefficient between them was greater than 0.9 in different intercropping treatments. Radiation use efficiency of maize was varied from 4.35 g MJ⁻¹ in monoculture (the maximum amount) to 0.92 g MJ⁻¹ (the minimum amount) in 25% maize: 75% Styrian oil Pumpkin treatment. The maximum and minimum amount of radiation use efficiency of Styrian oil Pumpkin (3.7 and 0.87 g MJ⁻¹) were observed in monoculture and 75% maize: 25% Styrian oil Pumpkin treatments. The highest amount of total absorbed radiation among different intercropping ratios, was obtained in 50% maize: 50% Styrian oil Pumpkin and 25% maize: 75% Styrian oil Pumpkin. The maximum amount of total radiation absorbed by the canopy obtained 70-110 days after sowing date. The results showed that canopy in mixed cropping treatment absorbed all received radiation in 70-110 days after sowing date. The maximum harvest index of maize (59.5) and Styrian oil pumpkin (24.1) was obtained from 25% maize: 75% Styrian oil pumpkin and 50% maize: 50% Styrian oil pumpkin, respectively.

Conclusions: The results indicated that there was a linear relationship between accumulation of dry matter of both plants and cumulative active photosynthesis radiation in different cropping treatments with correlation coefficient greater than 0.9. The slope of this line, which shows the efficiency of light consumption, varied from 4.35 g MJ⁻¹ to pure maize, up to 0.92 g MJ⁻¹ in the 25% maize ratio, and the highest and lowest amount of light consumption efficiency of Styrian oil pumpkin (3.7 and 0.87 g MJ⁻¹) were observed in pure crop and 25% ratio of Styrian oil pumpkin, respectively.

Keywords: Canopy, Leaf area index, Photosynthetic active radiation, Radiation absorption, Yield

1, 2 and 3- Professor, Associate Professor and Ph.D. student, respectively, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)



مقاله علمی-پژوهشی

اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و موسیر
(*Allium altissimum* Regel.) بر خصوصیات زراعی و نسبت برابری زمین

جواد مشکانی^۱، محمد کافی^{۲*}، سرور خرم دل^۳، فاطمه معلم بنهنگی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸

مقدمه

گیاهان دارویی منبع غنی از ترکیبات فعال زیستی محسوب می‌شوند و می‌توانند در درمان بسیاری از بیماری‌ها به‌عنوان جایگزینی ایمن در مقایسه با داروهای شیمیایی استفاده شوند. بهره‌گیری از کشت مخلوط موجب بهبود کارایی مصرف منابع و بروز اثرات متقابل مفید بین گیاهان همراه می‌گردد. این سیستم کشت همچنین موجب کاهش انتشار بیماری‌های گیاهی از طریق کاهش تعداد گیاهان میزبان حساس می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی اثر کشت مخلوط سری‌های جایگزینی زیره سبز و موسیر بر خصوصیات زراعی دو گیاه شامل عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص برداشت، میزان تجمع ماده خشک و نسبت برابری زمین انجام شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ انجام شد. نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی شامل ۲۰٪ موسیر + ۸۰٪ زیره سبز، ۴۰٪ موسیر + ۶۰٪ زیره سبز، ۵۰٪ موسیر + ۵۰٪ زیره سبز، ۶۰٪ موسیر + ۴۰٪ زیره سبز، ۸۰٪ موسیر + ۲۰٪ زیره سبز و کشت خالص هر دو گونه بودند. تراکم غده‌های موسیر و بذر زیره سبز در تیمار کشت خالص به‌ترتیب برابر با ۱۰ و ۱۲۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک زیره سبز و میزان تجمع ماده خشک موسیر و زیره سبز و همچنین قطر پیاز دختر، قطر پیاز مادری، وزن تر پیاز دختری، وزن تر پیاز مادری، عملکرد بیولوژیک و عملکرد تر و خشک پیاز و نسبت برابری زمین بودند. نتایج نشان داد که اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز و موسیر معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). با تغییر نسبت کاشت از کشت خالص به سمت کشت مخلوط صفات مورد مطالعه آن بهبود یافت. به طوری که قطر پیاز مادری و تولید پیاز دختری در نسبت‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به‌ترتیب ۵۲ و ۶۸ درصد افزایش نشان دادند. بالاترین عملکرد پیاز خشک برای کشت خالص (۸۲/۹ گرم در متر مربع) و ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر (۸۵/۳ گرم در متر مربع) مشاهده شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه زیره‌سبز از کشت خالص با ۱۱۵ گرم در متر مربع به‌دست آمد. بیشترین نسبت برابری زمین مربوط به تیمار ۵۰٪ زیره‌سبز + ۵۰٪ موسیر (۱/۴۹) و کمترین مقدار برای تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر (۱/۱۵) بود. کشت مخلوط دو گیاه موسیر و زیره سبز اثر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین داشت. بر این اساس، نتایج مؤید افزایش عملکرد، بهبود بهره‌وری و افزایش ثبات تولید دو گونه موسیر و زیره سبز در کشت مخلوط می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل، ثبات عملکرد، حفاظت خاک، کارایی مصرف منابع، گیاهان دارویی

مقدمه

سیستم‌های کشت مخلوط از دیرباز در بیشتر مناطق دنیا اساس زراعت سنتی بوده و از نظر اکولوژیکی جزء سیستم‌های باثبات و پایدار به‌شمار می‌آیند (Boquet et al., 1993; Mazaheri, 1997). مهمترین مزیت کشت‌های مخلوط که از طریق شاخص‌هایی نظیر

نسبت برابری زمین^۵ (LER) سنجیده می‌شود، بالاتر بودن کارایی استفاده از منابع به‌ویژه نور (Alizadeh et al., 2010; Hosseinpanahi et al., 2010; Koocheki et al., 2012; Koocheki et al., 2009; Nassiri Mahallati et al., 2010) و نیتروژن (Walker and Ogindo, 2003) و همچنین به افزایش عملکرد می‌گردد. در همین راستا، جهانی و همکاران (Jahani et al., 2008) در تحقیقی بیشترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار کشت مخلوط ردیفی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) - عدس (*Lens culinaris* Medik.) و کمترین آن را در کشت خالص

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته اکروکولوژی، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۲- استاد، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۳- دانشیار، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۴- دانشجوی دکتری رشته بوم‌شناسی زراعی، گروه اکروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: m.kafi@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.73256

زیره سبز گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر، ظریف‌پور و همکاران (Zarifpour et al., 2014) با بررسی اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز و نخود بیان داشتند که بیشترین عملکرد بیولوژیک زیره سبز در تیمار ۲ ردیف زیره: ۱ ردیف نخود به‌دست آمد.

از جمله مسائل مهم و حائز اهمیت در کشت مخلوط، انتخاب گیاه مناسب می‌باشد. این انتخاب باید به نحوی صورت گیرد که قرار گرفتن گونه‌های مخلوط در کنار یکدیگر موجب افزایش عملکرد در واحد سطح شده و برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی نمایان گردد. لازمه این کار، شناخت کامل گونه‌ها در ارتباط با نیازهای اکولوژیکی و نحوه پاسخ آن‌ها نسبت به محیط است (Fisher, 1976; Nachigera et al., 2008; Najybnya, 2010; Najybnya, 2010; Rahimian et al., 1991; Yi Kai et al., 2012).

از دیرباز گیاهان دارویی از جمله منابع مهم درمان بیماری‌ها در تمام نقاط جهان بوده و در حال حاضر نیز این گیاهان از جایگاه مهمی در پزشکی سنتی برخوردار می‌باشند. در دهه‌های گذشته کاربرد این گیاهان در طب سنتی و مدرن در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه رو به افزایش بوده است (Dash and Petra, 1979). از جمله گیاهان دارویی می‌توان زیره سبز، سیر، زیره سیاه و موسیر را نام برد. زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گیاهی بوته‌ای یک‌ساله از خانواده چتریان (Apiaceae) می‌باشد (Jahani et al., 2008). این گیاه دارویی مهم دارای ارزش اقتصادی بالایی می‌باشد که در درمان بیماری‌های مختلف به‌عنوان ضدتشنج، ضدصرع، تقویت‌کننده معده، ادرارآور، ضدنفخ و سوءهاضمه و محرک تعریق استفاده می‌شود. مصرف این گیاه همچنین در درمان برونشیت حاد و مزمن و نفخ ناشی از سوءهاضمه، اثرات مفیدی دارد، علاوه بر آن دارای اثر مدر و زیادکننده شیر نیز می‌باشد (Haghiroalsadat et al., 2011; Khory and Katrak, 1985; von Bruchhausen, 1973).

موسیر (*Allium altissimum* Regel.) یکی دیگر از مهم‌ترین گونه‌های دارویی و صنعتی جنس *Allium* بوده (Khezri, 2003) که به‌صورت چندساله با ساقه زیرزمینی از نوع پیاز است و در اکثر نقاط کوهستانی شمال خراسان و لرستان رشد و نمو می‌کند. این گیاه جز گیاهان بومی آسیای مرکزی و در ایران است (Sabzevari et al., 2015) که استفاده‌های فراوانی در طب سنتی، صنایع داروسازی و صنایع غذایی دارد (Khezri, 2003). پیاز موسیر مانع از تکثیر سلول‌های سرطانی می‌شود و در درمان رماتیسم، زخم‌های سطحی، سنگ کلیه، فشار خون و اسهال کاربرد دارد (Rezvan Beydokhti et al., 2011). همچنین پیاز و برگ‌های آن به‌عنوان عطر و طعم‌دهنده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به علاوه این گیاه مقادیر قابل‌توجهی پتاسیم، فسفر، کلسیم، سدیم و منیزیم دارد (Khezri, 2003). با توجه به نیاز روزافزون به گیاهان دارویی و

صنعتی قابل برداشت از زیستگاه‌های طبیعی و نیز تخریب روزافزون رویشگاه‌های طبیعی آن‌ها به نظر می‌رسد تولید این گونه‌ها در سیستم‌های زراعی بتواند به‌عنوان راهکاری مهم در تامین نیاز بازار رو به گسترش جهانی عمل کند (Keshtehgar et al., 2015). بر این اساس، کشت و تولید گیاهان دارویی و صنعتی نه تنها راهکاری برای تامین نیازهای روزافزون ترکیبات داورپی حال و آینده است، بلکه رهیافتی اکولوژیک جهت کاهش فشار بر جوامع گیاهی عرصه‌های طبیعی نیز محسوب می‌شود (Kafi et al., 2011).

همان‌گونه که ذکر گردید، در کشت مخلوط زمانی حداکثر عملکرد حاصل می‌شود که گیاهان تشکیل‌دهنده از نظر نحوه و میزان استفاده از منابع طبیعی با یکدیگر متفاوت باشند (Asadi et al., 2016). براین اساس، با توجه به اختلافات مورفولوژیک و تفاوت در نحوه استفاده و میزان استفاده از منابع در دو گیاه زیره سبز و موسیر، این مطالعه با هدف بررسی اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی این دو گیاه بر عملکرد و اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در شرایط آب و هوایی مشهد با هدف وارد کردن و توسعه کاشت گونه‌های دارویی و بومی در بوم‌نظام‌های زراعی و به‌منظور بهره‌گیری بهتر و کاراتر از منابع تولید و دستیابی به بهترین الگوی کشت مخلوط این دو گیاه از نظر عملکرد و ویژگی‌های اکولوژیک طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با هفت تیمار طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر، ۶۰٪ زیره سبز + ۴۰٪ موسیر، ۵۰٪ زیره سبز + ۵۰٪ موسیر، ۴۰٪ زیره سبز + ۶۰٪ موسیر، ۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر، کشت خالص موسیر و زیره سبز بود.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل تحقیق، قبل از شروع آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه توسط اوگر به‌صورت تصادفی چند نمونه برداشت و پس از مخلوط کردن، مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی کود دامی نیز قبل از مصرف تعیین گردید که در جدول ۱ نشان داده شده است.

عملیات تهیه بستر کاشت، شامل دیسک و لولر در اواسط آبان ماه انجام و در کلیه تیمارها به‌صورت یکنواخت ۲۰ تن در هکتار کود دامی پوسیده از نوع گاوی به خاک اضافه و به‌طور کامل تا عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۵/۰ متر

و فاصله بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. غده‌های موسیر (توده کلات) و بذر زیره سبز (توده سبزوار) به صورت هم‌زمان و به شیوه خشکه‌کاری در کرت‌هایی به طول سه متر و عرض سه متر روی

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی و خاک محل اجرای آزمایش
Table 1- Some physicochemical criteria of soil in the experimental site

پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل N total (ppm)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.cm ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت Texture
194.38	55.5	653	0.61	0.48	7.78	سیلتی لوم Loam silty
1600	310	3576	-----	7.1	6.5	کود دامی Manure

دختری (معادله ۱) بودند (Kafi et al., 2011; Keshtehgar et al., 2015).

$$(۱) \quad \text{درصد پیاز دختری} = \frac{\text{تعداد پیاز دختری در واحد سطح}}{\text{تعداد پیاز مادری در واحد سطح}} \times 100$$

شاخص برداشت زیره سبز از نسبت عملکرد دانه به بیولوژیک و برای موسیر از نسبت عملکرد غده به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab Version 16 استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها نیز بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. نمودارها با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد پیاز تر و خشک موسیر: عملکرد پیاز تر و خشک موسیر به طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با زیره سبز قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). عملکرد پیاز تر در واقع، مجموع پیاز دختری و مادری بود، بنابراین روند افزایش آن از تیمار ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر به سمت کشت خالص موسیر مانند عملکرد پیاز دختری و مادری بود و با افزایش تراکم، عملکرد تر و خشک پیاز موسیر که مهم‌ترین بخش اقتصادی این گیاه محسوب می‌شود (Mansouri et al., 2014; Sabzevari et al., 2015)، افزایش یافت؛ به طوری که بالاترین و کمترین عملکرد پیاز تر به ترتیب از کشت خالص موسیر و ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر به دست آمد. در مقایسه بین تیمارهای جایگزینی، تیمار ۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر (۲۸۴/۵ گرم بر متر مربع) دارای بیشترین عملکرد پیاز تر بود (جدول ۳).

روند افزایش وزن خشک نیز مانند عملکرد پیاز تر بود و در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری پذیرفت (جدول ۲). به طوری که بالاترین عملکرد پیاز خشک از تیمارهای کشت خالص (۸۹/۲ گرم در

کشت خالص روی شش ردیف انجام و برای کشت مخلوط سه ردیف به صورت یک ردیف در میان به هر گیاه اختصاص داده شد، به طوری که برای گیاه زیره سبز، فاصله روی ردیف برای کشت خالص ۲ سانتی‌متر و برای نسبت‌های ۸۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴ و ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Zarifpour et al., 2014). همچنین برای گیاه موسیر، فاصله روی ردیف برای کشت خالص ۲۰ سانتی‌متر و برای نسبت‌های ۸۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۲۰ درصد به ترتیب ۲۵، ۳۳، ۴۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر لحاظ شد (Mansouri et al., 2014).

به منظور سبز شدن یکنواخت و سریع بذور زیره سبز، دو نوبت آبیاری، یکی بلافاصله بعد از کاشت و دیگری ۲۰ روز بعد انجام شد و در طول فصل رشد در مرحله گلدهی هر دو گیاه نیز آبیاری تکمیلی صورت گرفت. زمان سبز شدن دو گیاه موسیر و زیره سبز به ترتیب ۱۹ و ۱۲ روز بعد از سبز شدن بود. عملیات تنک کردن گیاهان برای دستیابی به تراکم مورد نظر و همچنین وجین علف‌های هرز دو هفته پس از سبز شدن به صورت دستی انجام گرفت. حذف علف‌های هرز به صورت مرتب در طول فصل رشد انجام شد. همچنین به منظور اجرای سیستم اکولوژیک و کم‌نهاد از هیچ‌گونه نهاده شیمیایی در طول فصل رشد جهت حفاظت از گیاهان و بهبود رشد استفاده نشد.

هر دو گیاه زیره سبز و موسیر در نیمه اول تیر ماه برداشت شدند. نمونه‌ها به تفکیک وزن شدند و جهت تعیین وزن خشک درون پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و در نهایت، وزن خشک آن‌ها تعیین شد. صفات اندازه‌گیری شده برای زیره سبز شامل اجزای عملکرد اعم از تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد چترک در چتر و وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک و دانه و برای موسیر شامل قطر پیاز مادری، قطر پیاز دختری، وزن پیاز دختری، وزن پیاز مادری، عملکرد تر پیاز و خشک پیاز، عملکرد بیولوژیک و درصد تولید پیاز

یک درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که افزایش تراکم کشت در گیاه موسیر تأثیر قابل توجهی بر عملکرد تر و خشک پیاز در این گیاه داشت، به طوری که افزایش تراکم کاشت منجر به افزایش عملکرد تر و خشک پیاز در این گیاه گردید که با نتایج کافی و همکاران (Kafi et al., 2011) نیز مطابقت داشت.

متر مربع) و در بین تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی تیمار ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر (۸۵/۳ گرم در متر مربع) بالاترین مقدار را به‌خود اختصاص داد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۳). کمترین عملکرد خشک نیز از تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر (۳۰/۵ گرم در متر مربع) به‌دست آمد که نسبت به کشت خالص ۶۳ درصد کاهش نشان داد. همچنین بین تیمارهای ۴۰٪ زیره‌سبز + ۶۰٪ موسیر و ۵۰٪ زیره‌سبز + ۵۰٪ موسیر در سطح احتمال

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی زیره سبز بر عملکرد موسیر و زیره سبز
Table 2- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of intercropping ratios of cumin on yield cumin and yield shallot

منبع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد پیاز تر موسیر Fresh yield of bulb	عملکرد پیاز خشک موسیر Dry yield of bulb	عملکرد بیولوژیک موسیر Biological yield	عملکرد دانه زیره سبز Seed yield	عملکرد بیولوژیک زیره سبز Biological yield
تکرار Replication	2	452 ^{ns}	40.7 ^{ns}	171.2 ^{ns}	22.5 ^{ns}	^{ns} 351.02
تیمار Treatment	5	15723 ^{**}	1415 ^{**}	27404 ^{**}	1531.7 ^{**}	^{**} 13583.2
خطا Error	10	246	22.13	74	123.5	261.05
CV (%) ضریب تغییرات (%)		32.73	32.35	35.25	26.93	14.69

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با زیره‌سبز بر عملکرد خشک و تر پیاز موسیر
Table 3- Mean comparisons for the effect of intercropping ratios with cumin on dry and fresh bulb yield of Persian shallot

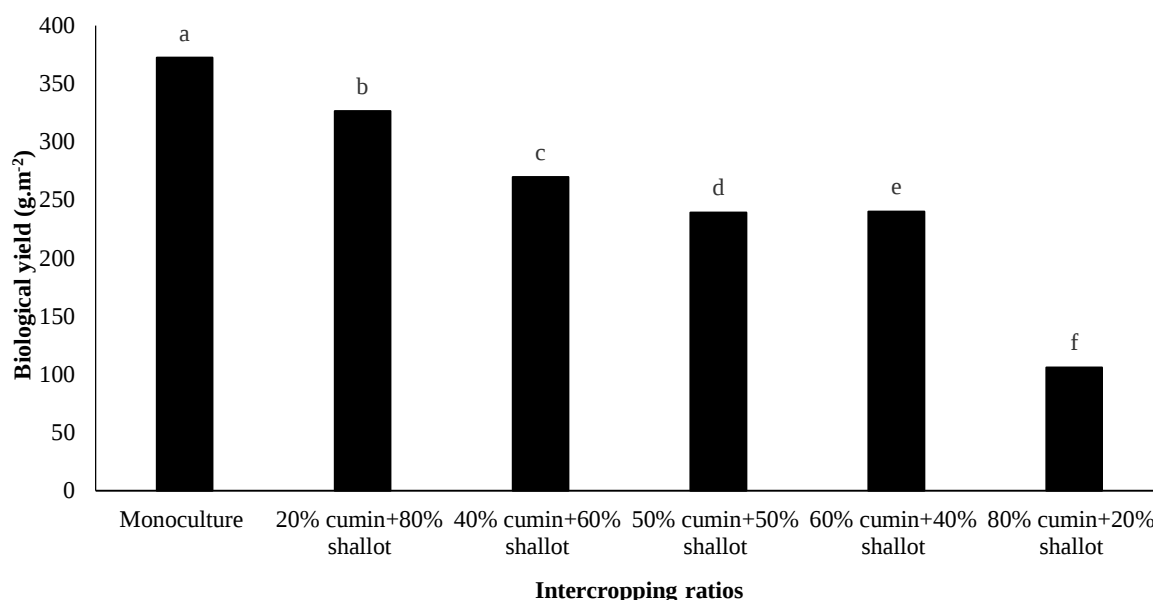
نسبت‌های مخلوط Intercropping ratios	عملکرد پیاز تر Fresh yield of bulb (g.m ⁻²)	عملکرد پیاز خشک Dry yield of bulb (g.m ⁻²)	عملکرد پیاز تر موسیر Fresh yield of bulb (per plant)	عملکرد پیاز خشک موسیر Dry yield of bulb (per plant)
۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر 80% cumin+20% Persian shallot	101.7	30.5	101.70	30.50
۶۰٪ زیره‌سبز + ۴۰٪ موسیر 60% cumin+40% Persian shallot	185.7	55.7	92.85	27.85
۵۰٪ زیره‌سبز + ۵۰٪ موسیر 50% cumin+50% Persian shallot	223.1	66.9	89.24	26.76
۴۰٪ زیره‌سبز + ۶۰٪ موسیر 40% cumin+60% Persian shallot	229.7	68.9	76.57	22.97
۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر 20% cumin+80% Persian shallot	284.5	85.3	71.13	21.33
کشت خالص Pure culture	302.4	89.2	60.48	17.84
LSD (5%)	25.61*	7.68	6.07	3.35

* هر دو میانگین متوالی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD کمتر باشد، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Every two-consecutive mean that their difference is lower than LSD have no significant difference at 5% probability level.

عملکرد بیولوژیک موسیر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بیولوژیک موسیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با زیره سبز قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک موسیر مربوط به کشت خالص با ۳۸۰ گرم در متر مربع و کمترین میزان برای تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با میزان ۱۰۹ گرم در متر مربع بود که ۷۱ درصد کاهش نسبت به کشت خالص نشان داد. در مقایسه بین سری‌های جایگزینی، تیمار ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر (۳۲۶/۹ گرم بر متر مربع) دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک بود (شکل ۱).

عملکرد پیاز تر و خشک موسیر: بر اساس نتایج، بیشترین عملکرد پیاز تر موسیر به ازای تک بوته در تیمار ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر (۱۰۱/۷۰ گرم در بوته) و کمترین عملکرد آن به ازای تک بوته در تیمار کشت خالص موسیر (۶۰/۴۸ گرم در بوته) به‌دست آمد. به‌عبارتی با افزایش درصد موسیر در نسبت‌های کشت مخلوط از ۲۰ درصد به ۱۰۰ درصد میزان عملکرد پیاز تر موسیر ۴۰ درصد کاهش یافت. بیشترین و کمترین عملکرد خشک پیاز موسیر نیز تقریباً مشابه بود؛ به‌طوری‌که با افزایش درصد موسیر در نسبت‌های کشت مخلوط از ۲۰ به ۱۰۰ درصد عملکرد پیاز خشک موسیر نیز ۴۱ درصد کاهش یافت (جدول ۳).



شکل ۱- اثر نسبت‌های کشت مخلوط با زیره سبز بر عملکرد بیولوژیک موسیر

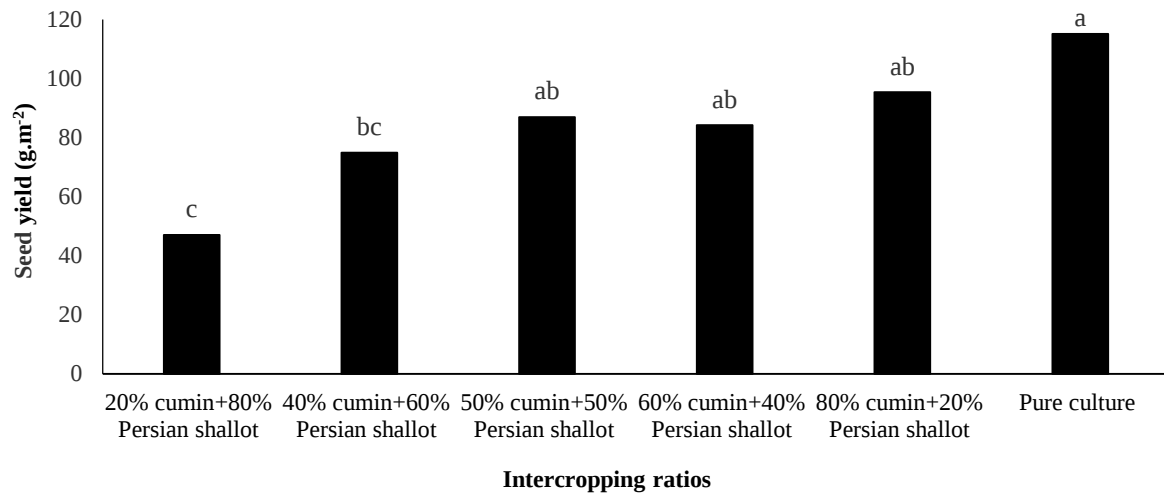
Figure 1- The effect of intercropping ratios with cumin on biological yield of Persian shallot

میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند. Means with same letter(s) have no significant difference based on LSD test at 5% probability level.

گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه زیره سبز برای کشت خالص با ۱۲۰/۸۷ گرم بر متر مربع به‌دست آمد. ظریف‌پور و همکاران (Zarifpour et al., 2014) نیز با بررسی اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز و نخود گزارش نمودند که بیشترین عملکرد زیره سبز دانه (۶۰/۵۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص مشاهده شد. همچنین با جابه‌جایی از کشت خالص به مخلوط از عملکرد این گیاه کاسته شد. این کاهش عملکرد در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان به رقابت بین گونه‌ای بر سر جذب منابع نسبت داد. آن‌ها همچنین بیان داشتند که مجموع عملکرد دو گیاه در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از

عملکرد دانه زیره سبز: اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با موسیر به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه زیره سبز را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، بیشترین عملکرد دانه از کشت خالص زیره‌سبز با ۱۱۵ گرم در متر مربع به‌دست آمد و حداقل عملکرد (۴۷ گرم در متر مربع) به تیمار ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر اختصاص داشت. کاهش عملکرد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان به کاهش تراکم و فضای اختصاص یافته به بوته‌ها جهت رشد در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی نسبت داد (Keshteghar et al., 2015). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2016) با مطالعه تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زیره سبز با زعفران (*Crocus sativus* L.)

کشت خالص بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط بر کشت خالص این گونه‌ها می‌باشد.



شکل ۲- اثر نسبت‌های کشت مخلوط با موسیر بر عملکرد دانه زیره سبز

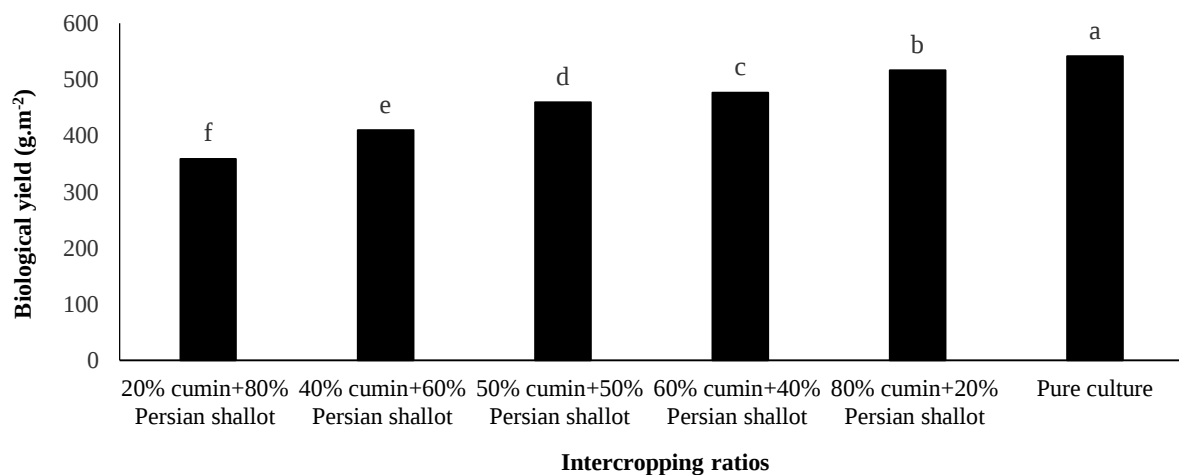
Figure 2- The effect of intercropping ratios with Persian shallot on seed yield of cumin

میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letter(s) have no significant difference based on LSD test at 5% probability level.

۸۰٪ موسیر (۳۵۸/۵ گرم بر متر مربع) با ۳۳ درصد کاهش نسبت به کشت خالص به‌دست آمد. در مقایسه بین نسبت‌های جایگزینی، تیمار ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر (۵۱۶/۵ گرم بر متر مربع) دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک زیره سبز بود (شکل ۳).

عملکرد بیولوژیک زیره سبز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بیولوژیک زیره سبز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با موسیر قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب از تیمارهای کشت خالص (۵۴۱/۳ گرم بر متر مربع) و ۲۰٪ زیره سبز +



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های کشت مخلوط با موسیر بر عملکرد بیولوژیک زیره سبز

Figure 3- The effect of intercropping ratios with Persian shallot on biological yield of cumin

میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letter(s) have no significant difference based on LSD test at 5% probability level.

بر این اساس و با توجه به توضیحات ذکر شده در فوق، بدیهی است که عملکرد بیولوژیک بالاتر زیره‌سبز در کشت خالص عمدتاً به دلیل تراکم بیشتر آن نسبت به تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی با موسیر می‌باشد. همچنین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که با کاهش تراکم کاشت زیره سبز در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با موسیر به دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای بر سر جذب آب و مواد غذایی عملکرد کاهش یافت. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) در بررسی الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گاوزبان اروپایی و لوبیا نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک لوبیا در کشت خالص به‌دست آمد. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2016) در بررسی کشت مخلوط ریحان و لوبیا نشان دادند که به دلیل کاهش فشار رقابت بین گونه‌ای بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیک لوبیا از کشت خالص با کنترل علف‌های هرز به‌دست آمد. ظریف‌پور و همکاران (Zarifpour et al., 2014) نیز بیان کردند که با تغییر الگوی کاشت به سمت تک‌ردیفی عملکرد بیولوژیک زیره سبز کاهش پیدا کرد، به طوری که بالاترین عملکرد بیولوژیک زیره سبز (۳۶۵/۵۴ کیلوگرم در هکتار) در بین تیمارهای مختلف آرایش کاشت نیز در تیمار دو ردیف زیره: یک ردیف نخود مشاهده شد. راعی و همکاران (Raei et al., 2008) نیز بیان داشتند که در کشت مخلوط سورگوم و سویا، افزایش تراکم سویا از عملکرد بیولوژیک سورگوم کاسته شد، آن‌ها دلیل این امر را افزایش رقابت برون‌گونه‌ای سویا بر بوته‌های سورگوم عنوان کردند.

میزان تجمع ماده خشک موسیر: میزان تجمع ماده خشک حداکثر موسیر به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۴).

بیشترین میزان تجمع ماده خشک حداکثر موسیر مربوط به کشت خالص موسیر با ۲۸۹/۵ گرم در متر مربع بود و کمترین میزان به تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با ۷۸/۶ گرم در متر مربع تعلق داشت (شکل ۴) و با جابه‌جایی از کشت خالص به سمت نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با موسیر به دلیل کاهش تراکم بوته و فضای اختصاص یافته به این گیاه از تجمع ماده خشک آن کاسته شد. همچنین به نظر می‌رسد که عدم رقابت برای کسب منابع موجود از یک سو و وجود فضای کافی برای رشد بوته‌ها از سوی دیگر، موجب شده که میانگین اجزای عملکرد در پیاز موسیر در واحد تک بوته در تراکم‌های پایین افزایش یابد. سبزواری و همکاران (Sabzevari et al., 2013) نیز در آزمایشی بیان کردند که بیشترین وزن خشک موسیر از بالاترین تراکم به‌دست آمد.

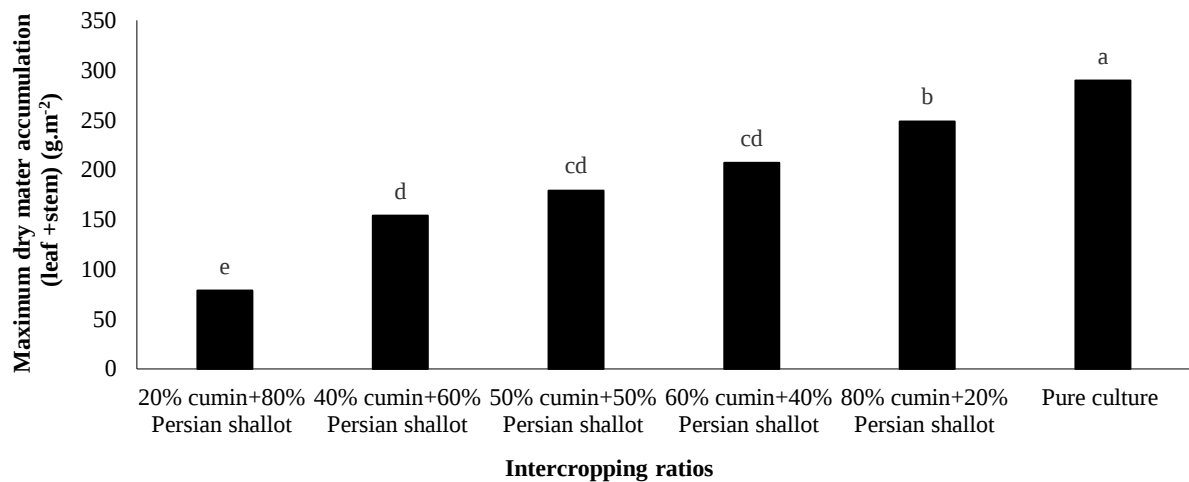
تولید پیاز دختری: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تولید پیاز دختری موسیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با زیره‌سبز قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). بیشترین درصد تولید پیاز دختر مربوط به ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با ۲۶/۴ درصد و کمترین میزان تولید پیاز دختری از کشت خالص موسیر با میزان ۱۵/۷ درصد به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های کشت مخلوط با زیره سبز بر اجزای عملکرد موسیر
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of intercropping ratios with cumin on yield components of Persian shallot

منبع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میزان تجمع ماده خشک حداکثر (برگ و ساقه) Maximum dry mater accumulation (leaf+stem)	تولید پیاز دختری Production of daughter bulb	قطر پیاز مادری Diameter of mother bulb	وزن تر پیاز مادری Fresh dry weight of mother bulb	قطر پیاز دختری Diameter of daughter bulb	وزن تر پیاز دختری Fresh dry weight of daughter bulb
تکرار Replication	2	68 ^{ns}	25.68 ^{ns}	0.03 ^{ns}	186 ^{ns}	0.03 ^{ns}	22.18 ^{ns}
تیمار Treatment	5	16447 ^{**}	49.77 [*]	1.24 ^{**}	13372.2 ^{**}	0.027 ^{ns}	95.59 ^{**}
خطا Error	10	93	9.6	0.02	158.5	0.06	8.20
ضریب تغییرات (%) CV (%)		38.4	18.5	15.1	33.0	14.8	30.3

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

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



شکل ۴- اثر نسبت‌های کشت مخلوط با زیره سبز بر میزان تجمع ماده خشک (برگ و ساقه) موسیر

Figure 4- The effect of intercropping ratios with cumin on maximum dry mater accumulation (Leaf+ stem) of Persian Shallot

میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letter(s) have no significant difference based on LSD test at 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با زیره سبز بر اجزای عملکرد موسیر

Table5- Mean comparisons for the effect of intercropping ratios with cumin on yield components of Persian shallot

نسبت‌های مخلوط Intercropping ratios	تولید پیاز دختری Production of daughter bulb (%)	قطر پیاز مادری Diameter of mother bulb (cm)	وزن تر پیاز مادری Fresh dry weight of mother bulb (g.m ⁻²)	وزن تر پیاز دختری Fresh dry weight of daughter bulb (g.m ⁻²)
۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر 80% cumin+20% Persian shallot	26.4	5.5	92.5	9.2
۶۰٪ زیره سبز + ۴۰٪ موسیر 60% cumin+40% Persian shallot	25.1	4.9	169.7	16
۵۰٪ زیره سبز + ۵۰٪ موسیر 50% cumin+50% Persian shallot	24.4	4.4	204.8	18.3
۴۰٪ زیره سبز + ۶۰٪ موسیر 40% cumin+60% Persian shallot	21.6	4.3	209.4	20.3
۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر 20% cumin+80% Persian shallot	19.11	4	260.5	23.9
کشت خالص Pure culture	15.7	3.6	278	24.5
LSD	5.06*	0.23	20.55	4.68

* هر دو میانگین متوالی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD کمتر باشد، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Every two-consecutive mean that their difference is lower than LSD have no significant difference at 5% probability level.

بیشترین مقدار آن در کشت‌های پاییزه (۲۵ مهر و ۲۵ آبان) و تراکم پایین (۶ و ۱۰ بوته در متر مربع) به‌دست آمد. درصد تولید پیاز دختری (بچه‌زایی) در تکثیر غیرجنسی گیاه موسیر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، زیرا به‌ندرت مشاهده شده است که پیاز مادری هم‌زمان با تولید گل آذین دو یا چند پیاز دختری تولید نماید. علاوه بر عوامل ژنتیکی، عوامل زراعی نیز تعیین‌کننده درصد تولید پیاز دختری

نتایج رضوان بیدختی و همکاران (Rezvan Beydokhti et al., 2011) نشان داد که همبستگی مثبت بین وزن پیاز مادری در بوته با درصد تولید پیاز دختری (بچه‌زایی)، وزن و قطر پیاز دختری و همچنین قطر پیاز مادری وجود داشت. به‌طوری‌که بیان کردند که کمترین درصد تولید پیاز دختری و قطر پیاز دختری در کشت‌های بهاره (۱ و ۲۵ اسفند) و تراکم بالا (۱۴ و ۱۸ بوته در متر مربع) و

اختصاص یافته به موسیر در تک‌کشتی و افزایش تراکم در کشت خالص در مقایسه با نسبت‌های مخلوط می‌تواند در این امر دخیل باشند. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که عدم رقابت برای جذب منابع موجود از یک سو و در اختیار قرار داشتن فضای کافی برای رشد از سوی دیگر، موجب شده که میانگین اجزای عملکرد موسیر در واحد تک بوته در تراکم‌های پایین افزایش نشان دهد.

قطر و وزن پیاز دختری: قطر پیاز دختری موسیر تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی با زیره‌سبز قرار نگرفت (جدول ۴)، همچنین نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با زیره سبز به‌طور معنی‌داری وزن تر پیاز دختری را تحت تأثیر قرار داد ($P \leq 0.01$) (جدول ۴). وزن تر پیاز دختری نیز روندی مانند وزن پیاز مادری داشت، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر پیاز دختری مربوط به کشت خالص موسیر با ۲۴/۵ گرم در متر مربع و کمترین میزان این صفت نیز مربوط به تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با میزان ۹/۲ گرم در متر مربع بود (جدول ۵).

در موسیر می‌باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود از کاشت پیازهای درشت مادری موسیر به‌عنوان راهکاری زراعی برای بهبود عملکرد آن در مزارع بهره‌گیری شود.

قطر و وزن پیاز مادری: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت بین تیمارهای مخلوط با زیره سبز از نظر قطر پیاز مادری و وزن پیاز مادری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کمترین قطر پیاز مادری مربوط به کشت خالص موسیر با ۳/۶ سانتی‌متر بود. همچنین بیشترین قطر از تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با ۵/۵ سانتی‌متر به‌دست آمد که ۳۴ درصد افزایش نسبت به کشت خالص نشان می‌دهد (جدول ۵). این نتیجه با نتایج سبزواری و همکاران (Sabzevari et al., 2013) مبنی بر تولید بیشترین قطر در کمترین تراکم بوته موسیر به دلیل وجود فضا مطابقت داشت.

همچنین بیشترین وزن پیاز مادری مربوط به کشت خالص موسیر با ۲۷۸ گرم در متر مربع بود که با تیمارهای ۴۰٪ زیره‌سبز + ۶۰٪ موسیر و ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین وزن تر پیاز مادری مربوط به تیمار ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با ۹۲/۵ بود (جدول ۵) که عواملی مانند افزایش سطح

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی با موسیر بر اجزای عملکرد زیره‌سبز
Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of intercropping ratios with Persian shallot on yield components of cumin

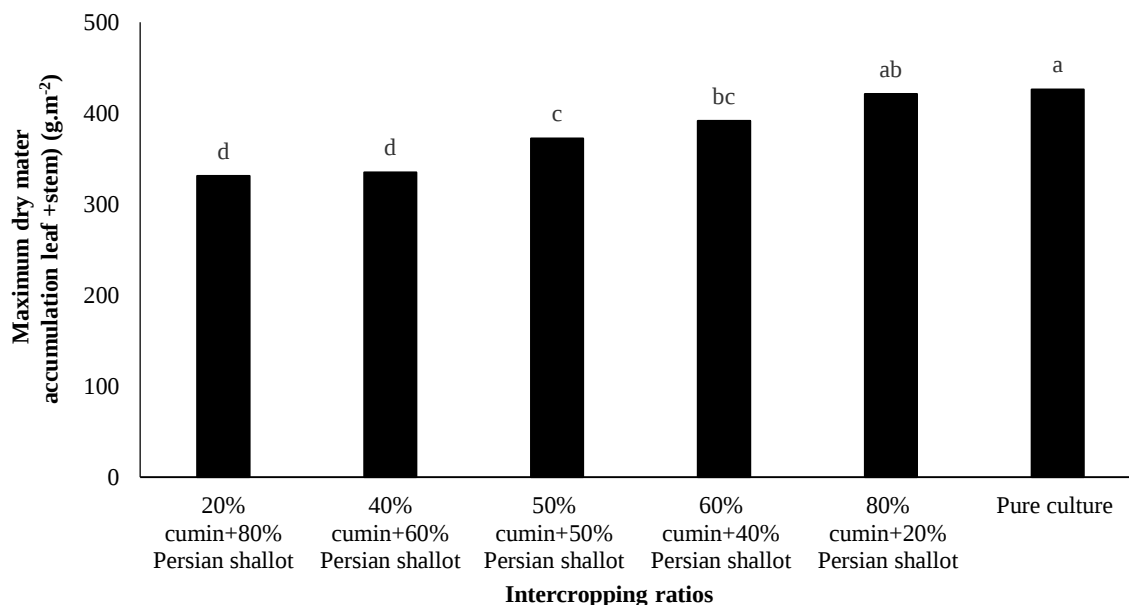
وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در چتر Number of seeds per umbels	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	تجمع ماده خشک حداکثر Maximum dry mater accumulation (leaf+ stem)	درجه آزادی d.f	منبع تغییر S.O.V
0.03 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.34 ^{ns}	496.1 ^{ns}	2	تکرار Replication
0.04 ^{ns}	2.22 ^{ns}	115.32 ^{**}	6413.3 ^{**}	5	تیمار Treatment
0.11	8.32	0.69	270.5	10	خطا Error
12.9	13.0	3.6	4.4		ضریب تغییرات CV (%)

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

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

از کشت خالص به نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از عملکرد دانه زیره‌سبز کاسته شد. بر این اساس، دلیل این کاهش عملکرد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، عمدتاً مربوط به کاهش تعداد بوته در واحد سطح می‌باشد. ظریف‌پور و همکاران (Zarifpour et al., 2014) بیشترین عملکرد ماده خشک حداکثر را در کشت خالص زیره‌سبز در مقایسه با کشت مخلوط با نخود گزارش کردند.

میزان تجمع ماده خشک زیره سبز: میزان تجمع ماده خشک حداکثر زیره سبز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۶). بیشترین میزان تجمع ماده خشک حداکثر زیره سبز برای کشت خالص با ۴۲۶/۱ گرم در متر مربع به‌دست آمد و کمترین میزان تجمع ماده خشک مربوط به تیمار ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر با ۳۱۱/۴ گرم در متر مربع (۲۶ درصد کاهش نسبت به کشت خالص) بود (شکل ۵). با مقایسه نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به نظر می‌رسد که با کاهش تراکم زیره سبز



شکل ۵- اثر نسبت‌های کشت مخلوط با موسیر بر میزان تجمع ماده خشک (برگ و ساقه) زیره سبز

Figure 5- The effect of intercropping ratios with Persian shallot on maximum dry mater accumulation (leaf+ stem) of cumin

میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with same letter(s) have no significant difference based on LSD test at 5% probability level.

تعداد دانه در چتر: تعداد دانه در چتر زیره سبز تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با موسیر قرار نگرفت (جدول ۶)، به نظر می‌رسد که تعداد دانه در چتر صفی ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل مدیریتی نظیر تراکم و کشت مخلوط قرار می‌گیرد (Kafi, 1989).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس مؤید عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با موسیر بر وزن هزار دانه زیره سبز بود (جدول ۶). در همین راستا، لافوند (Lafond, 1994) عنوان نمود که در بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه در گونه‌های مختلف گیاهی، صفی است که وابستگی بالایی به ویژگی‌های ژنتیکی داشته و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. ساهو و همکاران (Chao Dai et al., 2012) در کشت مخلوط آفتابگردان و بادام زمینی اعلام کردند که وزن صد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L. تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نگرفت. بر این اساس، به نظر می‌رسد با توجه به وجود رابطه مثبت بین عملکرد با وزن هزار دانه (Zarifpour et al., 2014; Olsson, 1960)، به منظور حصول عملکرد بالاتر زیره سبز، کاشت ارقام و توده‌های با وزن هزار دانه بالا به‌ویژه در زراعت گونه‌های دارویی که ویژگی‌های آن‌ها بیشتر متأثر از ژنتیک می‌باشد، مدنظر قرار داده شود.

تعداد چتر در بوته: اثر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی با موسیر بر تعداد چتر در بوته زیره سبز معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. (جدول ۶). بیشترین تعداد چتر در بوته مربوط به تیمار ۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر با ۳۲/۲ چتر در بوته و کمترین میزان چتر در بوته مربوط به کشت خالص زیره سبز با ۱۵/۹ چتر در بوته بود (جدول ۷). با تغییر نسبت کاشت از ۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر به ۴۰٪ زیره سبز + ۶۰٪ موسیر، تعداد چتر در بوته حدود ۱۲ درصد کاهش یافت، در حالی که میزان این کاهش با تغییر نسبت کاشت از ۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر به کشت خالص زیره سبز حدود ۵۰ درصد بود (جدول ۷). همچنین بین نسبت‌های کشت ۶۰٪ زیره سبز + ۴۰٪ موسیر و ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). به نظر می‌رسد که با کاهش تعداد بوته از طریق کاهش رقابت درون گونه‌ای و افزایش فراهمی رطوبت، مواد غذایی و سایر عوامل رشد به‌ویژه نور برای بوته‌ها بیشتر شده که این امر در نهایت، با افزایش رشد موجب افزایش رشد رویشی و به تبع آن بهبود تعداد شاخه جانبی و تعداد چتر در بوته شده است. کافی (Kafi, 1989) با بررسی اثر تراکم بر تعداد چتر در بوته زیره سبز عنوان نمود در تراکم‌های کمتر، تعداد چتر در بوته افزایش می‌یابد و در تراکم‌های بالاتر به دلیل کاهش فضای قابل دسترس و تشدید رقابت بین بوته‌ها، احتمالاً بوته‌ها نمی‌توانند تعداد چتر بیشتری تولید کنند.

جدول ۷- اثر نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی با موسیر بر تعداد چتر در بوته زیره سبز
Table 7- The effect of intercropping ratios with Persian shallot on number of umbels per plant of cumin

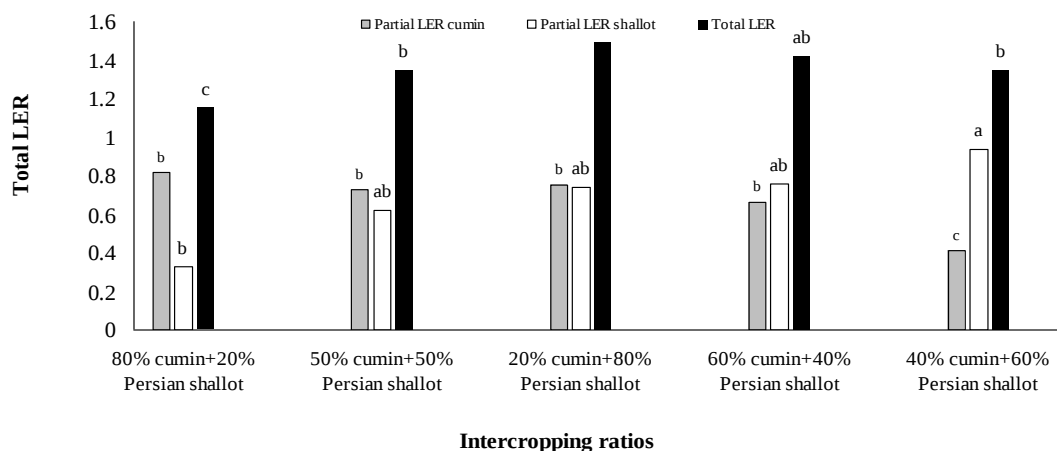
نسبت‌های مخلوط Intercropping ratios	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	عملکرد دانه زیره سبز Seed yield of shallot(per plant)
۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر 80% cumin+20% shallot	18.4	1.18
۶۰٪ زیره سبز + ۴۰٪ موسیر 60% cumin+40% shallot	20.5	2.27
۵۰٪ زیره سبز + ۵۰٪ موسیر 50% cumin+50% shallot	24.6	3.00
۴۰٪ زیره سبز + ۶۰٪ موسیر 40% cumin+60% shallot	28.3	3.37
۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر 20% cumin+80% shallot	32.2	7.63
کشت خالص Pure culture	15.9	2.30
LSD	1.35*	2.58

* هر دو میانگین متوالی که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD کمتر باشد، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.
Every two-consecutive mean that their difference is lower than LSD have no significant difference at 5% probability level.

بالتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی این دو گونه می‌باشد. از میان نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، بیشترین LER کل در تیمار ۵۰٪ زیره سبز + ۵۰٪ موسیر با ۱/۴۹ و کمترین مقدار مربوط به تیمار ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر با ۱/۱۵ محاسبه شد. در نسبت‌های پایین حضور زیره سبز در کشت مخلوط جایگزینی با موسیر، گونه موسیر تأثیر مثبت بیشتری پذیرفته است؛ در حالی که با افزایش سهم زیره سبز در کشت مخلوط، این گیاه تأثیر مثبت بیشتری از همراهی با موسیر پذیرفت که این امر باعث افزایش نسبت برابری زمین جزئی آن در مقایسه با این شاخص برای گونه دیگر گردید (شکل ۶).

عملکرد دانه زیره سبز (به ازای تک بوته): مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه زیره سبز به ازای تک بوته در تیمار ۲۰٪ زیره سبز + ۸۰٪ موسیر (۷/۶۳ گرم به ازای بوته) و کمترین آن در تیمار ۸۰٪ زیره سبز + ۲۰٪ موسیر (۱/۱۸ گرم به ازای بوته) به‌دست آمد. به‌طوری‌که کاهش نسبت زیره سبز در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از ۸۰٪ به ۲۰٪ باعث افزایش ۸۵ درصدی در عملکرد دانه زیره سبز شد (جدول ۷).

نسبت برابری زمین: اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی زیره سبز با موسیر بر نسبت برابری زمین جزئی دو گونه و کل معنی‌دار بود. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، LER کل در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی موسیر با زیره سبز



شکل ۶- نسبت برابری زمین جزئی و کل در نسبت‌های کشت مخلوط زیره سبز و موسیر

Figure 6- Partial and total land equivalent ratio for intercropping ratios of cumin and Persian shallot

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with same letter(s) for each component have no significant difference based on LSD test at 5% probability level.

به‌طور کلی، بر اساس نتایج LER جزئی زیره سبز می‌توان این گونه استنباط کرد، زمانی که زیره سبز با تراکم‌های بالاتر موسیر (۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر و ۴۰٪ زیره‌سبز + ۶۰٪ موسیر) همراه بود، به دلیل انبوهی پوشش گیاهی موسیر، بزرگ‌تر بودن کانوپی آن و همین‌طور سایه‌اندازی بر زیره سبز و رقابت بین گونه‌ای بالا، با افت عملکرد همراه بود. از طرف دیگر، زمانی که موسیر در تراکم پایین‌تری با زیره سبز کاشته شد (مثل تیمارهای ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر و ۶۰٪ زیره‌سبز + ۴۰٪ موسیر)، به دلیل بهبود شرایط مثل زیاد شدن فضای قابل دسترس و نور برای فعالیت و رشد و فتوسنتز، زیره سبز توانست عملکرد بالاتری از خود نشان دهد. نتایج مطالعات اله‌دادی و همکاران (Allahdadi et al., 2013) روی کشت مخلوط ردیفی سویا و همیشه بهار و رضوانی‌مقدم و مرادی (Rezvani Moghaddam and Moradi, 2012) بر کشت مخلوط زیره سبز و سنبله مؤید افزایش نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط بود. در بررسی دیگر بر روی کشت مخلوط کنجد و لوبیا مشاهده شد که در تمامی تیمارهای مخلوط، LER بالاتر از یک به‌دست آمد (Noorbakhsh, 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد زیره‌سبز و موسیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی قرار گرفت. بیشترین تعداد چتر در بوته و بیشترین تعداد چترک در چتر زیره سبز مربوط به تیمار ۲۰٪ زیره‌سبز + ۸۰٪ موسیر بود. به‌واسطه کشت مخلوط با زیره سبز، تعداد بوته‌های موسیر کشت شده کاهش یافت، لذا با کاهش تعداد بوته در واحد سطح از طریق کاهش رقابت درون گونه‌ای و افزایش فراهمی رطوبت، مواد غذایی و سایر عوامل رشد به‌ویژه نور برای بوته‌های زیره سبز بیشتر شده که این امر در نهایت، با افزایش رشد، موجب افزایش تعداد شاخه جانبی و تعداد چتر در بوته شده است.

همچنین بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک زیره‌سبز از کشت خالص به‌دست آمد. این کاهش عملکرد در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان به کاهش تراکم و فضای اختصاص یافته به بوته‌ها جهت رشد در نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی نسبت داد. درصد تولید پیاز دختری، وزن تر پیاز دختری، قطر و وزن تر پیاز مادری و عملکرد پیاز (تر و خشک) در موسیر نیز تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های کشت مخلوط با زیره سبز قرار گرفت؛ به‌طوری که بیشترین درصد تولید پیاز دختری، قطر پیاز مادری و قطر پیاز دختری در کمترین تراکم موسیر (۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر) به‌دست آمد که احتمالاً به دلیل افزایش فضای قابل دسترس و کاهش رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌ها بوده است. همچنین بیشترین وزن پیاز مادری، وزن تر پیاز دختری و عملکرد پیاز تر (مجموع پیاز دختری و مادری) و عملکرد پیاز خشک از کشت خالص موسیر به‌دست آمد؛ به‌طوری که با بالا رفتن تراکم، مقدار آن افزایش یافت. بیشترین عملکرد بیولوژیک نیز مربوط به کشت خالص موسیر بود. ارزیابی نسبت برابری زمین (LER) نیز در تمامی تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی بیشتر از یک بود و بالاترین میزان در کشت مخلوط ۵۰٪ موسیر + ۵۰٪ زیره‌سبز با ۱/۴۹ و کمترین مقدار در ۸۰٪ زیره‌سبز + ۲۰٪ موسیر با ۱/۱۵ به‌دست آمد. همچنین گیاه زیره سبز از همراهی با موسیر تأثیر مثبت‌تری پذیرفته است. بر این اساس، از آنجا که سیستم‌های کشت مخلوط یکی از روش‌های مدیریت تولید محصولات گیاهان دارویی است که در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار و عملکرد مطلوب با حداقل مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی اجرا می‌گردد، توصیه می‌گردد که توسعه کشت و کار این گیاهان دارویی به‌صورت کشت مخلوط به‌طور بهبود ویژگی‌های اکولوژیکی آن‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی به‌طور ویژه‌ای مد نظر قرار گیرد.

References

1. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2 (1): 85-94. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Yield, yield components and potential weed control of intercropping bean (*Phaseolus vulgaris*) with sweet basil (*Ocimum basilicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 541-553. (in Persian with English abstract).
3. Allahdadi, M., Shakiba, M. R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Amini, R. 2013. Evaluation of yield and advantages of soybean (*Glycine max* L.) Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) intercropping systems. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science (Agricultural Sciences) 23 (3): 47-58. (in Persian with English abstract).
4. Asadi, G. A., Khorramdel, S., and Hatefi Farajian, M. H. 2016. The Effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. Saffron Agronomy and Technology 4 (2): 93-103. (in Persian with English abstract).
5. Boquet, D. J., Moser, E. B., and Breitenbeck, G. A. 1993. Nitrogen effect on boll production of field growth cotton. Agronomy Journal 85: 34-39.

6. Chao Dai, C., Chen, Y., Xing- Xiang, W., and Pei-Dong, L. 2012. Effects of intercropping of peanut with the medicinal plant *Atractylodes lancea* on soil microecology and peanut yield in subtropical China. *Agroforestry Systems Springer Science+ Business Media*.
7. Dash, M. C., and Petra, U. C. 1979. Vermicompost production and nitrogen contribution to soil by a tropical earthworm population from a grassland site in Orissa India. *Ecological and Biological Soil Journal* 16: 79-83.
8. Fisher, N. M. 1976. Experiment with maize/ Potato mixed crops in an area with two rainy seasons in highlands of Kenya. In: Symposium on Intercropping in Semi- arid area Morogoro. Tanzania, 10-12 May.
9. Jahani, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6 (1): 67-78. (in Persian with English abstract).
10. Haghiroalsadat, F., Vahidi, A., Sabour, M., Azimzadeh, M., Kalantar M., and Sharafadini, M. 2011. The indigenous *Cuminum cyminum* L. of Yazd province: chemical assessment and evaluation of its antioxidant effects. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences and Health Services* 19 (4): 472-81.
11. Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato/corn intercropping. *Journal of Agroecology* 1 (2): 50-60. (in Persian with English abstract).
12. Kafi, M. 1989. Effect of weed control frequency and density on yield and yield components of cumin. MSc Thesis. College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
13. Kafi, M., Rezvan Bidokhti, S., and Sanjani, S. 2011. The effect of planting date and plant density on yield and morphological traits of Iranian Shallot (*Allium altissimum* Regel.) Weather in Mashhad. *Journal of Horticultural Science* 25 (3): 310-319. (in Persian with English abstract).
14. Keshtehgar, A., Dahmardeh, M., Galavi, M., and Khammari, I. 2015. Evaluation of yield and yield components of peanut (*Arachis hypogea* L.) in intercropping with maize (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal* 107: 115-123. (in Persian with English abstract).
15. Khezri, S. S. 2003. Encyclopedia of Medicinal Plants. Rostamkhani Publication, 568 pp. Central Asia. Ege University Press, Izmir, Turkey.
16. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G. A., and Mirshekari, A. 2016. Effect of additive intercropping series of cumin (*Cuminum cyminum* L.) with saffron (*Crocus sativus* L.) on their yield and yield components. *Journal of Saffron Research* 4 (1): 53-71. (in Persian with English abstract).
17. Khory, R. N., and Katrak N. N. 1985. *Materia Medica of India and Therapeutics*. Dehli: Neeray Publishing House, p. 285-6.
18. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology* 1 (1): 13-23. (in Persian with English abstract).
19. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Amin Ghafouri, A. 2012. Ecological Study of different patterns of row intercropping borage (*Borago officinalis* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology* 4 (1): 1-11. (in Persian with English abstract).
20. Lafond, G. P. 1994. Effects of row spacing, seeding rate and nitrogen on yield of barley and wheat under zero-till management. *Canadian Journal of Plant Science* 74: 703-711.
21. Mansouri, H., Bannayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakzian, A. 2014. Management of nitrogen, irrigation and planting density in Persian shallot (*Allium hirtifolium*) by using central composite optimizing method. *Sustainable Agriculture and Production Science* 41-60. (in Persian with English abstract).
22. Mazaheri, D. 1997. *Intercropping*. Tehran University Press. (in Persian).
23. Nachigera, G. M., Leadent, J. F., and Draye, X. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping. Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany* 64: 180-188.
24. Najybnya, S. A. 2010. Evaluation of absorption efficiency, productivity consumption and radiation, water and nutrients in the ship's systems rape, beans and corn. Crop ecology doctoral dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
25. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2010. Light absorption and use efficiency in winter wheat and maize cropping and relay intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8 (6): 878-890. (in Persian with English abstract).
26. Nourbakhsh, F. 2012. Compare different indexes of mixed cultures and a row of sesame (*Sesamum indicum*) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Master's Thesis Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
27. Olsson, G. 1960. Some relations between number of seeds per pod, seed size and oil content and the effects of selection for these characters in *Brassica* and *Sinapis*. *Hereditas* 46 (1-2): 29-70.
28. Raei, Y., Ghasemi Golezani, K., Javanshir, A., Aliari, H., and Mohammadi, A. 2008. Effects of plant density on soybean (*Glycine max* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) intercropping. *Journal of Water and Soil Science* 12 (45): 35-44. (in Persian with English abstract).

29. Rahimian, H., Salahi Moghaddam, M., and Galavi, M. 1991. Potato intercropping with maize and sunflower. Journal of Agricultural Science and Technology 6 (1): 45-48. (in Persian with English abstract).
30. Rezvan Bidokhti, S. 2005. Compare different combinations in mixed cropping of maize and beans. Agriculture graduate thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
31. Rezvan Beydokhti, S., Nezami, A., Kafi, M., and Khazaei, H. R. 2011. Effects of freezing stress on electrolyte leakage of Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) under controlled condition. Agroecology 3 (3): 371-382. (in Persian with English abstract).
32. Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R. 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Field Crops Research 2: 217-230. (in Persian with English abstract).
33. Sabzevari, S., Kafi, M., Bannayan, M., and Khazaie, H. R. 2015. Investigation of thermal requirement, growth and yield characteristics of two species of Persian shallot (*Allium altissimum* and *A. hertifolium*) in different density, bulb weight and flowering stem removing. Journal of Agroecology 6 (4): 836-847. (in Persian with English abstract).
34. Sabzevari, S., Kafi, M., Banayan, M., and Khazaie, H. R. 2013. Study thermal requirements, growth and yield of Iranian shallot *Allium altissimum* Regel. and Boiss *A. hertifolium* different treatments of density, the weight of onions inflorescence inflorescence. Journal of Agroecology 4 (6): 836-847. (in Persian with English abstract).
35. Yi Kai, Z., Fan Jun, C., Long, L., Yan Hua, C., Bing Ran, C., Yu Ling, Z., Li Xing, Y., Fu Suo, Z., and Guo Hua, M. 2012. The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/ faba bean and maize/ wheat intercropping systems. Science China. Life Sciences 55 (11): 993-100.
36. von Bruchhausen, F. 1973. Hager's handbuch der pharmazeutischen praxis. Vol 4. Berlin: Springer Verlag, p. 363-365.
37. Walker, S., and Ogindo, H.O. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth 28: 919-926.
38. Zarifpour, N., Naseri Poor Yazdi, M., and Nassiri Mahallati, M. 2014. Evaluate the effect of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) on quantity and quality characteristic of species. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (1): 34-43. (in Persian with English abstract).
39. Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient- use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.



Effect of Intercropping Ratios of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) with Persian Shallot (*Allium altissimum* Regel.) on their Agronomic Criteria and Land Equivalent Ratio

J. Meshkani¹, M. Kafi^{2*}, S. Khorramdel³, F. Moallem Benhangi⁴

Received: 03-06-2018

Accepted: 19-12-2018

Introduction

Medicinal plants are a rich source of bioactive compounds, and these plants are thought to be safe to human beings and the environment compared to the synthetic medicines for the treatment of many diseases. The active principles of the plants are generally secondary metabolites. Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is an herbaceous and annual medicinal plant belonging to Apiaceae family which is planted in arid and semi-arid regions of Iran. Persian shallot (*Allium altissimum* Regel.) is another medicinal, industrial and perennial plant that has underground bulbs. It is one of the most important *Allium* species in Iran, which normally grows in semi-cold to very cold highlands. In the last decade, agricultural production, which is mainly based on the application of chemical inputs, is causing environmental impacts. The use of ecological farming approaches, enhancing yield and quality, they will be effective. Intercropping allows for improved resource use efficiency such as light, water and nutrients and beneficial interactions between the companion plants. It works to decrease the spread of plant diseases by reducing the quantity of susceptible host plants. Other benefits of intercropping include optimal use of resources, stabilization of yield, weed control, improved soil fertility, and higher economic returns. This study has evaluated the effect of intercropping ratios as replacement series of cumin and Persian shallot on agronomic criteria such as yield components, yield, harvest index, dry matter accumulation and land equivalent ratio.

Materials and Methods

This experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad during growing season of 2014-2015. Intercropping ratios as replacement series such as 80% cumin+20% Persian shallot, 60% cumin+40% Persian shallot, 50% cumin+50% Persian shallot, 40% cumin+60% Persian shallot, 20% cumin+80% Persian shallot and their pure culture were considered as treatments. Plant density for Persian shallot bulbs and cumin seeds were considered as 10 bulbs.m⁻² and 120 plants.m⁻², respectively. Studied traits were umbel numbers per plant, seed numbers per umbel, 1000-seed weight, biological yield and seed yield of cumin and daughter bulb diameter, mother bulb diameter, fresh weight of daughter bulb, fresh weight of mother bulb, biological yield, fresh yield of bulb, dry weight of bulb of Persian shallot and land equivalent ratio (LER).

The LER was computed through the following equation:

$$LER = \frac{Y_{ij}}{Y_{ii}} + \frac{Y_{ji}}{Y_{jj}}$$

Where, Y_{ij}: Yield of cumin under intercropping conditions, Y_{ji}: Yield of Persian shallot under intercropping conditions, Y_{ii}: Yield of cumin under sole crop conditions and Y_{jj}: Yield of Persian shallot under sole crop conditions. The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) to determine if significant differences existed among means. Multiple comparison tests were conducted for significant effects using the LSD test.

Results and Discussion

The results showed that the effect of intercropping ratios was significant ($p \leq 0.05$) on yield and yield components of cumin and Persian shallot. By decreasing intercropping ratios of Persian shallot improved its criteria. Diameter of mother bulb and production of daughter bulb in intercropping ratios were increased up to 52 and 68% compared to sole culture, respectively. Studied traits of cumin were improved by changing in planting ratios from intercropping to its pure culture. The maximum amounts of dry bulb weight were related to pure culture (82.9 g.m⁻²) and 20% cumin+80% Persian shallot (85.3 g.m⁻²). The highest seed yield of cumin was observed in pure culture with 115 g.m⁻². The highest and the lowest LER were computed in 50% cumin+50% Persian shallot (1.49) and 80% cumin+20% Persian shallot (1.15).

1- MSc in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

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

4- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

Conclusions

Intercropping of Persian shallot and cumin had significantly effect on their yield and yield components. The results confirmed the better use of resources especially for radiation and water of these plants in intercropping ratios. In general, it seems that intercropping may be suitable cropping approach for sustainable production of medicinal plants.

Acknowledgement

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

Keywords: Beneficial interaction, Medicinal plants, Resource use efficiency, Soil conservation, Stabilization of yield



مقاله علمی-پژوهشی

شبیه‌سازی اثرات تاریخ کاشت بر رشد و عملکرد نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) توسط

مدل CROPGRO-CHICKPEA

هانیه حاجی‌شعبانی^۱، فرزاد مندنی^{۲*}، علیرضا باقری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

چکیده

به‌منظور شبیه‌سازی اثرات تاریخ کاشت بر رشد و عملکرد نخود دیم منطقه کرمانشاه توسط مدل CROPGRO-CHICKPEA، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ اجرا شد. تیمارها شامل سه تاریخ کاشت (۱۰ اسفند، ۲۰ اسفند و ۱۷ فروردین) به‌عنوان عامل اصلی و چهار رقم نخود (بیونج، عادل، آرمان و ILC482) به‌عنوان عامل فرعی بود. ضرایب ژنتیکی ارقام توسط بخش محاسبه ضرایب ژنتیکی برای تاریخ کاشت ۱۰ اسفند محاسبه شد. نتایج واسنجی نشان داد مدل قادر است با حداقل اختلاف، ویژگی‌های رشد و نمو را برای ارقام نخود شبیه‌سازی کند که بیانگر دقت بالای ضرایب ژنتیکی محاسبه شده بود. نتایج ارزیابی‌های مدل نشان داد که میانگین nRMSE وزن خشک کل برای ارقام مورد بررسی ۱۶/۵ درصد میانگین مشاهده‌ها بود. میانگین nRMSE عملکرد دانه نیز برای ارقام ذکر شده ۱۳/۵ درصد میانگین مشاهده‌ها بود. هم در شرایط مزرعه و هم در شبیه‌سازی تأخیر در کاشت منجر به کاهش عملکرد نخود شد. بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ به‌ترتیب، ۱۳۲۶/۶ و ۱۲۷۹/۶ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند حاصل شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که مدل CROPGRO-CHICKPEA قادر است واکنش ارقام نخود در تاریخ کاشت‌های مختلف را تحت شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند که این نشان‌دهنده دقت بالای ضرایب ژنتیک محاسبه شده در بخش واسنجی مدل است.

واژه‌های کلیدی: ارقام نخود، عملکرد دانه، نمو فنولوژیک، واسنجی مدل

مقدمه

چشمگیری داشته است (Amouzou et al., 2018; Mondani et al., 2015; Mahru et al., 2010; Soltani et al., 2006).

تحقیقات مزرعه‌ای در مورد یافتن راهکارهای به‌زراعی و به‌نژادی مناسب و با هدف افزایش عملکرد در واحد سطح، نیازمند صرف هزینه و زمان بسیاری می‌باشد. علاوه بر آن انجام آزمایشی با چندین گزینه به‌زراعی و به‌نژادی و بررسی اثرات متقابل آن‌ها در سطح مزرعه بسیار مشکل است (Delghandi et al., 2014). بنابراین، از جمله راهکارهای مناسب و کم هزینه برای کمک به این نوع مطالعات، استفاده از روش‌های مدل‌سازی در تحقیقات کشاورزی است که در حال حاضر، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و می‌توان از آن در پیش‌بینی فرآیندهای رشد و عملکرد محصولات زراعی استفاده کرد (Boote et al., 2018; Jalilian et al., 2015; Deihimfard et al., 2017). بنابر آمار ارائه شده، بیش از صد مدل برای گیاهان زراعی ساخته شده که این توسعه زمینه‌ساز استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را فراهم نموده است، در این سیستم‌ها داده‌های آماری توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری وارد شده و سپس بر اساس اصول ریاضی مدل‌ها تهیه می‌شوند (Penning de Vries and van Laar, 1982) و در مرحله بعد با

کاربرد مدل‌های کامپیوتری در تحقیقات کشاورزی با سرعت زیادی در حال گسترش است. مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی، ابزارهای کمی هستند که براساس اصول علمی و روابط ریاضی استوار بوده و می‌توانند اثرات متفاوت اقلیم، خاک، آب و عوامل مدیریت زراعی را روی رشد و نمو گیاهان زراعی مورد ارزیابی قرار دهند. بر همین اساس در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد برای محاسبه واکنش محصولات زراعی نسبت به تغییر در عوامل محیطی و مدیریت زراعی، ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک جهت بهبود عملکرد و کمک به تصمیم‌سازی‌ها جهت استفاده بهینه از منابع قابل دسترس افزایش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- استادیار علوم شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*) نویسنده مسئول:
(Email: f.mondani@razi.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i2.82684

استفاده از این مدل‌ها، رفتار سیستم به‌ویژه عملکرد گیاه (با تلفیق مدل‌های مختلف) شبیه‌سازی می‌شود.

در سال‌های اخیر، بسته نرم‌افزاری DSSAT^۱ به‌طور موفقیت‌آمیزی برای شبیه‌سازی نتایج آزمایش‌های طولانی‌مدت استفاده شده است (Liu et al., 2017). مدل‌های خانواده DSSAT یا سامانه پشتیبانی از تصمیم برای انتقال فن‌آوری کشاورزی، توسط گروهی از دانشمندان بین‌المللی تدوین شد، و اجرای مدل‌های مختلف شبیه‌سازی گیاهان زراعی به صورت نظام‌مند امکان‌پذیرکرد (Jones et al., 1998). توسعه مقدماتی این شیوه با تکیه بر این ایده ایجاد شد که باید معلومات موجود درباره خاک، آب و هوا، گیاهان زراعی و مدیریت را تلفیق کرد تا بتوان در انتقال فن‌آوری تولید از مکانی به مکان دیگر با شرایط خاک و اقلیم متفاوت تصمیم‌های بهتری اتخاذ کرد (Taie et al., 2018). بسته نرم‌افزاری DSSAT حاوی مدل‌های مختلف شبیه‌سازی برای انواع محصولات است که در این بین از مدل CROPGRO-Chickpea برای نخود استفاده می‌شود (Ovando et al., 2018). در این مدل شبیه‌سازی رشد و نمو نخود از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور روزانه صورت گرفته و در نهایت عملکرد محصول پیش‌بینی می‌شود (Mohammed et al., 2017). در زمینه ارزیابی توانایی این مدل در شبیه‌سازی نقش مدیریت زراعی و عوامل اقلیمی بر تولید نخود مطالعات اندکی در دنیا انجام شده است که از آن جمله می‌توان به شبیه‌سازی حساسیت عملکرد نخود به دماهای بالا در هند (Boote et al., 2018) و پیش‌بینی بهترین شیوه مدیریت زراعی تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال اتیوپی (Mohammed et al., 2017) اشاره کرد. در بین عوامل مدیریتی تأثیرگذار بر میزان تولید نخود، تاریخ کاشت از طریق اثر بر رشد رویشی و زایشی و همچنین توازن بین آن‌ها و تغییر در کیفیت برداشت و در نهایت عملکرد، اهمیت بسیار بالایی دارد. کاشت در تاریخ‌های مختلف، سبب برخورد مراحل رویشی و زایشی گیاه با درجه حرارت، تابش خورشید و طول روز متفاوت می‌شود. انتخاب تاریخ کاشت مناسب در مورد گیاه نخود که معمولاً در شرایط خشک و یا با تکیه بر رطوبت ذخیره شده در خاک کشت می‌شود و در اکثر مواقع نیز با درجه حرارت‌های بالا در طول فصل رشد مواجه است بسیار حائز اهمیت است (Benjamin and Nielsen, 2006).

اگرچه تاکنون در تحقیقات گذشته محققین مختلف تلاش‌های فراوانی برای معرفی تاریخ کاشت مطلوب در هر منطقه داشته‌اند، اما توجه به این نکته مهم که متأسفانه به دلیل فعالیت‌های صنعتی بشر، در بیشتر نقاط دنیا به‌ویژه کشور ایران با بحران تغییر اقلیم روبه‌رو

هستیم که بیشتر نتایج تحقیقات گذشته در تصمیم‌گیری‌های عملیات زراعی را دچار دگرگون‌های شدیدی ساخته است، لذا مرور تحقیقات گذشته به‌منظور معرفی بهترین عملیات زراعی برای محصولات زراعی مختلف ضروری است. از این رو یکی از ابزارهای مناسب برای رسیدن به این اهداف استفاده از راهکارهای علم مدل‌سازی است که این امکان را برای ما فراهم می‌سازد که در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با حداقل هزینه‌ها نقش مدیریت زراعی به‌ویژه انتخاب تاریخ کاشت مناسب برای دستیابی به عملکرد مطلوب در شرایط دیم را برای ما فراهم می‌سازد. همچنین از دیگر قابلیت‌های استفاده از راهکارهای علم مدل‌سازی این است که در صورت موفقیت یک مدل در شبیه‌سازی یک یا چند مدیریت زراعی از آن مدل می‌توان برای پیش‌بینی سایر عملیات زراعی نیز استفاده کرد (Jones et al., 2003; Keating et al., 2003; Jame et al., 1996). از آنجاکه مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی، قبل از کاربرد گسترده در یک منطقه باید مورد ارزیابی (واسنجی^۲ و تعیین اعتبار^۳) گردند و با توجه به اینکه مدل CROPGRO-Chickpea تاکنون برای هیچ‌یک از مناطق ایران مورد ارزیابی قرار نگرفته است، لذا هدف این تحقیق، ارزیابی توانایی مدل مذکور در شبیه‌سازی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد ارقام نخود در شرایط آب و هوایی کرمانشاه به‌منظور کاربرد گسترده مدل برای سایر عملیات زراعی بود.

مواد و روش‌ها

تشریح مدل

به‌منظور شبیه‌سازی اثر تاریخ کاشت بر رشد و تولید نخود از مدل CROPGRO-Chickpea از بسته نرم‌افزاری DSSAT - v 4/6 استفاده شد (Hoogenboom et al., 2015). در این مدل شبیه‌سازی رشد و نمو نخود (*Cicer arietinum* L.) از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور روزانه صورت گرفت و در نهایت عملکرد محصول پیش‌بینی شد. ورودی‌های مدل شامل مدیریت مزرعه، اطلاعات خاک‌شناسی و هواشناسی منطقه مورد مطالعه بود. قسمت مدیریت مزرعه شامل مشخصات کرت‌های آزمایش نظیر فواصل کاشت، عمق کاشت، تراکم بذر، معرفی تیمارهای آزمایش، معرفی ارقام، شیوه مصرف کود و مقدار آن، تاریخ کاشت و برداشت، بافت و ساختمان خاک بود که در بخش XBuild بسته نرم‌افزاری DSSAT معرفی گردید. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز نیز شامل تشعشع خورشیدی (بر حسب مگاژول در متر مربع که از داده‌های ساعت آفتابی توسط روش گودریان و وان‌لار (Goudriaan and Van Laar, 1993) محاسبه شد)، دمای حداقل و حداکثر (بر حسب

روند تغییرات وزن خشک کل و روند تغییرات شاخص سطح برگ نخود بود که در طول فصل رشد اندازه‌گیری شده بود. علاوه بر این اطلاعات خاکشناسی مورد نیاز شامل درصد رس، شن و سیلت، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته خاک، کل نیتروژن قابل جذب توسط گیاه، درصد کربن آلی، نقطه ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و میزان رطوبت اشباع خاک محل آزمایش بود (جدول ۱) که توسط بخش SBuild بسته نرم‌افزاری DSSAT در قالب فایل خاکشناسی به‌عنوان ورودی‌های مدل معرفی گردید.

درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (بر حسب میلی‌متر) که به‌صورت روزانه از سازمان هواشناسی برای شرایط آب و هوایی کرمانشاه گرفته شد و توسط بخش Weatherman بسته نرم‌افزاری DSSAT در قالب فایل هواشناسی به‌عنوان ورودی‌های مدل معرفی گردید. فایل A حاوی اطلاعاتی نظیر عملکرد دانه (بر حسب کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک کل (بر حسب کیلوگرم در هکتار)، حداکثر شاخص سطح برگ، تعداد روز از کاشت تا گلدهی و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک و در نهایت فایل T در برگزیده ویژگی‌های روند تغییرات مراحل نمو فیزیولوژیک، روند تغییرات عملکرد دانه،

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

عمق Depth (cm)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	اسیدیته pH	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm ⁻³)	نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point (m ³ .m ⁻³)	نقطه ظرفیت زراعی Field capacity (m ³ .m ⁻³)	رطوبت اشباع Saturation (m ³ .m ⁻³)
0-30	Clay-Silt	44.3	39.0	16.7	1.5	0.17	7.4	1.4	0.205	0.325	0.49
30-60	Clay-Silt	44.7	38.7	16.7	1.1	0.17	7.4	1.5	0.205	0.325	0.49

دانشگاه رازی (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۰۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۷ متر از سطح دریا) انجام شد. متوسط بارندگی سالانه ۴۵۵ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه منطقه به‌ترتیب، ۲۲/۶ و ۵/۹ درجه سانتی‌گراد است. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد بررسی به‌صورت متوسط ماهیانه طی دوره رشد نخود در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سیستم کشت دیم اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۳ تاریخ کاشت (۱۰ اسفند، ۲۰ اسفند و ۱۷ فروردین که بر اساس وقوع بارندگی موثر در نظر گرفته شد) به‌عنوان عامل اصلی و ۴ رقم (بیونج، عادل، آرمان و ILC480) به‌عنوان عامل فرعی بود. عملیات آماده‌سازی زمین در اسفند ماه سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک به‌ترتیب میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کود اوره و سوپر فسفات تریپل هم‌زمان با کاشت به خاک محل آزمایش اضافه شد. در هر کرت اصلی که به ابعاد ۱۱ × ۴ متر مربع بود، برای هر رقم ۸ ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متری توسط فوکا ایجاد شد. به‌منظور کشت ارقام ذکر شده، بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش Tebaconazole ۲٪ DS، به روش دستی روی ردیف‌هایی با فاصله ۸ سانتی‌متر و در عمق ۵ تا ۸ سانتی‌متر و با تراکم یک‌نواخت ۴۰ بوته در متر مربع کشت شد. در طی فصل رشد کنترل‌های مربوط به بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های هرز در صورت لزوم با روش‌های مرسوم صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها شامل ثبت

یکی از مهم‌ترین بخش‌های فایل مدیریت زراعی معرفی رقم یا ارقام مورد مطالعه است که از طریق تغییر پارامترهای گیاهی که در بسته نرم‌افزاری DSSAT به ضرایب ژنتیکی معروف هستند، صورت می‌گیرد. ضرایب ژنتیکی، رشد و نمو گیاه را در شرایط آب و هوایی متفاوت تحت تأثیر خود قرار می‌دهند (Liu et al., 2011). از آنجا که ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی با یکدیگر تفاوت دارند، این اختلافات روی رشد، نمو و عملکرد آن‌ها تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین این اختلافات وارسته‌ای باید به نوعی در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی در نظر گرفته شوند تا پیش‌بینی قابل قبولی انجام شود. نخود دارای ۱۵ ضریب ژنتیکی (جدول ۳) است، که لازم است جهت واسنجی مدل از اطلاعات مستخرج از آزمایش‌های مزرعه و یا منابع معتبر استخراج شوند. پس از انجام فرآیند واسنجی و کسب اطمینان از دقت ضرایب ژنتیکی، لازم است که مدل مورد ارزیابی توسط اطلاعات مستخرج از آزمایش‌های مستقل (آزمایش‌هایی که به‌منظور استخراج ضرایب ژنتیکی استفاده نشده‌اند) قرار گیرد. در این بررسی استخراج ضرایب ژنتیکی به‌منظور واسنجی مدل و همچنین فرایند ارزیابی از طریق آزمایش مزرعه‌ای زیر صورت گرفت.

آزمایش مزرعه

به‌منظور تهیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای واسنجی و ارزیابی مدل CROPGRO-Chickpea، پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

تصویربرداری از آن‌ها محاسبه و با تعمیم این مقدار در واحد متر مربع، شاخص سطح برگ محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک نیز نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، جهت برداشت نهایی یک متر مربع از هر کرت با رعایت اصول حاشیه به‌صورت کف‌بر برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان کافی، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل اندازه‌گیری شد.

مراحل نمو فنولوژیک نخود برحسب روز پس از کشت و نمونه‌برداری‌های تخریبی از بوته‌های نخود بود. برای نمونه‌برداری تخریبی از ۸ هفته پس از کاشت تا مرحله رسیدگی کامل، هر ۷ روز یکبار ۵ بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثرات حاشیه به‌صورت کاملاً تصادفی برداشت و برای اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از تکنیک پردازش تصویر با بهره‌گیری از نرم‌افزار JMicro version 1.2.7 استفاده شد. به این صورت که مساحت برگ‌های هر بوته با

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی کرمانشاه طی دوره رشد نخود در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵

Table 2- The weather data for Kermanshah region during growth period of chickpea during 2016-2017

ماه Month	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)	تشعشع تجمعی خورشید Cumulative solar radiation (MJ m ⁻²)
اسفند March	15.0	3.1	132.6	355.9
فروردین April	21.9	8.3	64.4	413.1
اردیبهشت May	28.2	9.6	20.1	524.6
خرداد June	34.9	13.5	0.0	640.4
تیر July	39.1	18.2	0.0	594.6

به‌منظور ارزیابی مدل از نتایج دیگر تیمارهای آزمایش (تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و ۱۷ فروردین) که به‌منظور استخراج پارامترها در فرآیند واسنجی استفاده نشده بود و همچنین نتایج آزمایش مندی و جلیلیان (Mondani and Jalilian, 2019) استفاده گردید. در ارزیابی مدل از صفاتی نظیر مراحل نمو فنولوژیک، شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و عملکرد دانه استفاده شد. به‌منظور ارزیابی مدل و دقت در پیش‌بینی از شاخص‌های آماری مختلفی استفاده می‌شود (Mondani, 2017; Mohammed et al., 2017). شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده در این بررسی شامل برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) و شاخص توافق ویلموت (d) بود که از طریق روابط (۱ تا ۳) محاسبه شد:

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

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (2)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (3)$$

در این معادلات S_i مقادیر شبیه‌سازی شده، O_i مقادیر مشاهده شده، n تعداد مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و $\bar{O}$ میانگین

واسنجی مدل

به‌منظور واسنجی مدل لازم است که ضرایب ژنتیکی ارقام مورد ارزیابی در محل آزمایش تحت شرایط مطلوب رشد (عدم وجود تنش‌های زیستی و غیر زیستی) تعیین شوند (Mohammed et al., 2017). برای تخمین ضرایب ژنتیکی از بخش محاسبه ضرایب ژنتیکی (GenCal) بسته نرم‌افزاری DSSAT استفاده شد (Mondani, 2017). برنامه محاسبه ضرایب ژنتیکی، ضرایب را از طریق اجرای متعدد مدل براساس شرایط آب و هوایی، خاکشناسی و همچنین مدیریت زراعی تعریف شده در مدل، برای هر رقم تخمین می‌زند. در این مرحله ضرایب ژنتیکی از طریق مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌ها با مشاهدات مزرعه و انتخاب حداقل اختلاف بین آن‌ها تعیین و به‌طور خودکار در فایل ضرایب ژنتیکی مدل جایگزین می‌شود. اطلاعات لازم برای محاسبه ضرایب ژنتیکی شامل طول دوره نمو از سبز شدن تا گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک، روند تغییرات شاخص سطح برگ، حداکثر شاخص سطح برگ، روند تغییرات عملکرد ماده خشک کل و روند تغییرات عملکرد دانه نخود بود که از شرایط تیماری تاریخ کاشت ۱۰ اسفند (شرایط مطلوب) که به‌منظور واسنجی مدل طرح‌ریزی شده بود، استخراج گردید.

ارزیابی مدل

ضرایب ژنتیکی

ضرایب ژنتیکی تخمین‌زده شده توسط بخش محاسبه ضرایب ژنتیکی (GenCal) بسته نرم‌افزاری DSSAT در جدول ۳ نشان داده شده است. مدل CROPGRO-Chickpea دارای ۱۵ ضریب ژنتیکی است که رشد و نمو نخود را تشریح می‌کند. سینگ و ویرمنی (Singh and Virmani, 1996) نیز دامنه ضرایب ژنتیکی ارقام مختلف نخود را برای ضرایب EM-FL, FL-SH, FL-SD, SD-PM, SLAVR, PODUR, SDFDV, SIZLF, LFMAX, XFRD و THRSH به ترتیب، ۲۹ تا ۴۱، ۸، ۲۰، ۴۱ تا ۴۹ روز فتوترمال، ۱/۲ تا ۱/۶ دانه، ۹۰ تا ۹۵ روز فتوترمال، ۱/۷ میلی گرم دی‌اکسیدکربن بر متر مربع در ثانیه، ۱۰ سانتی متر مربع و ۷۳ تا ۸۵ درصد گزارش کردند. همچنین سورچا و همکاران (Sorecha et al., 2017) همین ضرایب را به ترتیب، ۳۹ تا ۴۰، ۹ تا ۱۰، ۱۴ تا ۱۵، ۳۰ تا ۳۵ روز فتوترمال، ۱ تا ۱/۲ دانه، ۱۸ روز فتوترمال، ۱ میلی گرم دی‌اکسیدکربن بر متر مربع در ثانیه، ۱۰ سانتی متر مربع و ۸۵ درصد گزارش کردند.

مقادیر مشاهده شده است. ضریب تبیین یا R^2 ، نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. جذر میانگین مربعات خطا نشان‌دهنده میانگین اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است (Willmott, 1982). جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز درصد نسبی میانگین اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد که مقادیر صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ درصد به ترتیب بیانگر دقت عالی، خوب و متوسط شبیه‌سازی‌ها است و مقادیر بالاتر از ۳۰ درصد نیز نشان‌دهنده عدم دقت شبیه‌سازی‌های مدل است (Yang et al., 2013). مقادیر شاخص آماری توافق ویلموت بین صفر تا یک است که مقادیر $d \leq 0.9$ ، بیانگر توافق عالی، $0.8 \leq d < 0.9$ ، بیانگر توافق خوب، $0.7 \leq d < 0.8$ ، بیانگر توافق متوسط و $d \leq 0.7$ ، بیانگر توافق ضعیف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است (Liu et al., 2013).

نتایج و بحث

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی محاسبه شده برای ارقام نخود مورد بررسی
Table 3- The genetic coefficients calculated for the evaluated chickpea cultivars

ضرایب ژنتیکی Genetic coefficients	بیونج Bivani	عادل Adel	آرمان Arman	السی ۴۸۲ ILC482
زمان بین سبز شدن تا ظهور اولین گل EM-FL (Photothermal days)	29	35	35	26.5
زمان بین ظهور اولین گل تا اولین غلاف FL-SH (Photothermal days)	5.5	5	5	5
زمان بین ظهور اولین گل تا اولین دانه FL-SD (Photothermal days)	9.5	9	10	9
زمان بین ظهور دانه اول تا بلوغ فیزیولوژی SD-PM (Photothermal days)	30	29	28	27
زمان بین ظهور گل اول و پایان توسعه برگ FL-LF (Photothermal days)	38	37	36	35
حداکثر سرعت فتوسنتز برگ LFMAX ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1	1	1	1
سطح ویژه برگ تحت شرایط استاندارد SLAVR ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	200	155	200	200
حداکثر اندازه برگ کامل SIZLF (cm^2)	10	10	10	10
حداکثر کسری از رشد روزانه تقسیم بر دانه + پوست XFRD	0.96	0.96	0.96	0.96
بیشترین وزن دانه WTPSD (g)	0.255	0.32	0.23	0.26
دوره پر شدن دانه SFDUR (Photothermal days)	29	29	29	29
میانگین دانه در غلاف در شرایط روبه رشد استاندارد SDPDV (#/pod)	1.3	1.2	1.3	1
زمان مورد نیاز برای رسیدن رقم به غلاف نهایی PODUR (Photothermal days)	18	18	18	16
حداکثر نسبت دانه / دانه + پوست در بلوغ THRSH (%)	85	85	85	85
میزان پروتئین در دانه SDPRO ($\text{g protein g}^{-1} \text{ seed}$)	0.216	0.216	0.216	0.216

جدول ۴- نتایج واسنجی مدل برای مراحل نمو فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و عملکرد دانه ارقام نخود در تاریخ کاشت ۱۰ اسفند

Table 4- Model calibration results for development stages, leaf area index, total dry weight and grain yield of chickpea cultivars at 28 February sowing date

ارقام Cultivars	روز تا گلدهی Anthesis day		روز تا رسیدگی فیزیولوژیک Maturity day		شاخص سطح برگ Leaf area index		وزن خشک کل Total dry weight (kg.ha ⁻¹)		عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	
	شبیه سازی شده	اندازه گیری شده	شبیه سازی شده	اندازه گیری شده	شبیه سازی شده	اندازه گیری شده	شبیه سازی شده	اندازه گیری شده	شبیه سازی شده	اندازه گیری شده
	Simulated	Measured	Simulated	Measured	Simulated	Measured	Simulated	Measured	Simulated	Measured
بیونج Bivanij	65	63	108	105	1.985	2.269	2775	2865	1182	1173
عادل Adel	65	71	112	112	1.863	2.048	2789	2943	947	890
آرمان Arman	65	71	114	114	2.326	2.526	2462	2731	898	767
ال سی ۴۸۲ ILC482	65	60	100	100	1.906	1.985	2547	2833	1249	1367

واسنجی مدل

نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف بین داده‌های شبیه سازی شده و اندازه‌گیری روز از کاشت تا گلدهی ۲ تا ۶ روز بود (جدول ۴). تعداد روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای ارقام عادل، آرمان و ILC482 یکسان بود ولی برای رقم بیونج به ترتیب، ۱۰۵ و ۱۰۸ روز بود که نشان‌دهنده ۳ روز اختلاف است. مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای مراحل نمو روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک برای ارقام بیونج و ILC482، ۰/۷۶ و ۰/۸۵ روز و برای ارقام عادل و آرمان نیز، ۰/۸۵ روز بود. همچنین جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مراحل نمو روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک برای ارقام عادل و آرمان حدود ۱۵/۸ درصد میانگین مشاهدات و برای ارقام بیونج و ILC482 به ترتیب، ۱۶/۵ و ۱۴/۷ درصد میانگین مشاهدات بود. میانگین شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده ارقام نخود از ۱/۹ تا ۲/۳ متغیر بود که نشان‌دهنده اختلاف بسیار ناچیزی نسبت به میانگین‌های اندازه‌گیری شده بود (جدول ۴). مقدار جذر میانگین مربعات خطای شاخص سطح برگ برای رقم آرمان ۰/۶۴، رقم ILC482 ۰/۳۴ و برای ارقام بیونج و عادل معادل حدود ۰/۴۷ و مقدار جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده نیز برای ارقام بیونج، عادل، آرمان و ILC482 به ترتیب، ۲۳/۷، ۲۵، ۲۷/۴ و ۱۷/۸ درصد میانگین مشاهدات شاخص سطح برگ بود. میانگین وزن خشک کل شبیه‌سازی شده اختلاف ناچیزی (از ۹۰ تا ۲۸۶ کیلوگرم در هکتار) نسبت به میانگین‌های مشاهده شده داشت (جدول ۴).

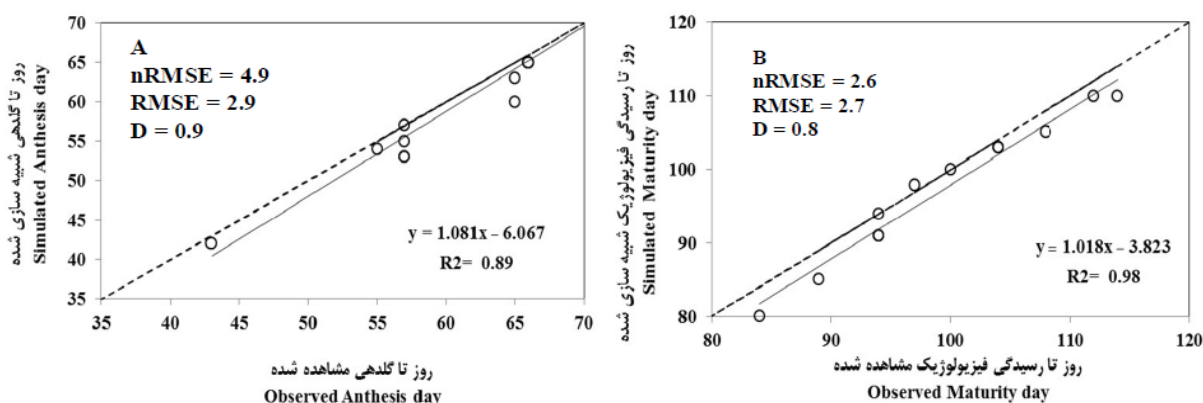
میزان جذر میانگین مربعات خطای وزن خشک کل برای رقم بیونج، عادل، آرمان و ILC482 به ترتیب، ۲۷۲/۹، ۳۳۱/۹، ۳۳۶/۹ و ۳۴۲/۹ کیلوگرم در هکتار و میزان جذر میانگین مربعات خطا نرمال

شده نیز به ترتیب، ۹/۸، ۱۱/۹، ۱۷/۷ و ۱۳/۵ درصد میانگین مشاهدات بود. میانگین عملکرد دانه شبیه‌سازی شده برای ارقام نخود از ۷۶۷ تا ۱۳۶۸ کیلوگرم در هکتار متغیر بود، در حالی که اطلاعات مستخرج از مزرعه این صفت را از ۸۹۸ تا ۱۲۴۹ کیلوگرم در هکتار نشان داد (جدول ۴). اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد بین ۹ تا ۱۳۱ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. میزان جذر میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ارقام بیونج، عادل، آرمان و ILC482 به ترتیب، ۱۳۰/۰، ۶۶/۴، ۱۵۳/۳ و ۱۲۷/۱ کیلوگرم در هکتار و میزان جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده نیز به ترتیب، ۱۱/۰، ۷/۰، ۱۷/۰ و ۱۰/۱ درصد میانگین مشاهدات بود. نتایج واسنجی ضرایب ژنتیکی محاسبه شده نشان داد که مدل CROPGRO-Chickpea قادر است با اختلاف ناچیزی ویژگی‌های رشد و نمو را برای ارقام نخود شبیه‌سازی کند که این مطلب بیانگر دقت بالای ضرایب ژنتیکی محاسبه شده بود. سورچا و همکاران (Sorecha et al., 2017) نیز میزان جذر میانگین مربعات خطا برای مراحل نمو روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام مختلف نخود را به ترتیب حدود ۰/۱ تا ۰/۵ روز، ۰/۳ روز و ۲۷ تا ۲۹/۵ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. مقایسه مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده در این تحقیق با نتایج سایر تحقیقات نشان‌دهنده دقت بسیار بالای ضرایب ژنتیکی محاسبه شده توسط بخش محاسبه ضرایب ژنتیکی بسته نرم‌افزاری DSSAT است (Patil and Patel, 2017; Sorecha et al., 2017).

ارزیابی مدل
نمو فیزیولوژیک

اسفند و ارقام عادل و آرمان به میزان ۱۰۴ روز بود. در شرایط شبیه‌سازی کمترین طول دوره نمو روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک مربوط به تاریخ کاشت ۱۷ فروردین و رقم ILC482 به میزان ۸۰ روز و بیشترین آن مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و ارقام عادل و آرمان به میزان ۱۰۳ روز بود. صرف‌نظر از تاریخ کاشت و ارقام مورد بررسی میزان جذر میانگین مربعات خطا برای مرحله نمو روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب، ۲/۹ و ۲/۷ روز و میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز به‌ترتیب، ۴/۹ تا ۲/۶ درصد مراحل نمو مشاهده شده بود (شکل ۱). ضریب توافق ویلموت (d) برای مرحله نمو روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب، ۰/۸ تا ۰/۹ بود که حاکی از دقت بسیار بالای مدل CROPGRO-Chickpea در شبیه‌سازی مراحل نمو فیزیولوژیک ارقام نخود مورد بررسی در تاریخ کاشت‌های ۲۰ اسفند و ۱۷ فروردین داشت (شکل ۱).

طول دوره نمو روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک هم در شرایط مزرعه و هم در شرایط شبیه‌سازی صرف‌نظر از ارقام مورد بررسی، تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. کشت دیر هنگام نخود منجر به کاهش طول دوره نمو فیزیولوژیک گیاه شد. به نظر می‌رسد در شرایط کشت دیر هنگام، برخورد مراحل نمو گیاه با دماهای بالاتر منجر به افزایش سرعت نمو و در نهایت کاهش طول دوره نمو گردید. در شرایط مزرعه کمترین و بیشترین طول دوره نمو روز از کاشت تا گلدهی مربوط به رقم ILC482 در تاریخ کاشت ۱۷ فروردین و ارقام عادل و آرمان در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند به‌ترتیب معادل ۵۰ و ۶۲ روز بود. در شرایط شبیه‌سازی نیز کمترین و بیشترین طول دوره نمو روز از کاشت تا گلدهی مربوط به رقم ILC482 در تاریخ کاشت ۱۷ فروردین و ارقام عادل و آرمان در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند به‌ترتیب معادل ۴۲ و ۶۵ روز بود. در شرایط مزرعه کمترین طول دوره نمو روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک مربوط به تاریخ کاشت ۱۷ فروردین و رقم ILC482 به میزان ۸۴ روز و بیشترین آن مربوط به تاریخ کاشت ۲۰



شکل ۱- آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مراحل نمو روز از کاشت تا گلدهی (A) و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک (B) در تاریخ‌های کاشت برای ارزیابی مدل

Figure 1- Regression analysis between simulated and measured development stages of Anthesis day (A) and Maturity day (B) in sowing date treatments for model validation

نمو روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک را پیش‌بینی کند که حاکی از دقت بسیار بالای مدل در پیش‌بینی این صفت است (شکل ۱).

یکی از دلایل دقت بسیار بالای مدل CROPGRO-Chickpea در شبیه‌سازی مراحل نمو فیزیولوژیک در این مطالعه را می‌توان برآورد دقیق ضرایب ژنتیکی ارقام نخود ذکر نمود. همچنین دقت در ثبت مراحل مختلف فیزیولوژیکی برای برآورد پارامترها و نیز ارزیابی مدل می‌تواند دلیل دیگر باشد. در مدل‌های رشد گیاهان زراعی دقت شبیه‌سازی مراحل نمو فیزیولوژیک گیاه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است زیرا تمام فرآیندهای تولید مواد فتوسنتزی و تخصیص آن‌ها بین

همان‌گونه که از شکل ۱ پیداست مدل CROPGRO-Chickpea مراحل نمو ارقام نخود را کمتر از داده‌های اندازه‌گیری شده پیش‌بینی نمود، به‌طوری‌که صرف‌نظر از تاریخ کاشت و ارقام مورد بررسی اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و مشاهده شده برای مراحل نمو روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب، ۱ و ۲ روز به‌دست آمد. با این وجود نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تیمارهای مورد بررسی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و مدل توانست به‌ترتیب تا بیش از ۸۹ و ۹۸ درصد تغییرات مشاهده شده مراحل

اندام‌های ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین سایر فرایندهای رشدی گیاه تابعی از مراحل نموی است. پتیل و پتل (Patil and Patel, 2017) مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای مراحل نموی روز از کاشت تا گلدهی و روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک شبیه‌سازی شده ارقام نخود توسط مدل CROPGRO-Chickpea در هندوستان را به ترتیب، ۳/۵ و ۴/۵ روز گزارش کردند. سورچا و همکاران (Sorecha et al., 2017) نیز نشان دادند مدل CROPGRO-Chickpea دقت خوبی برای شبیه‌سازی مراحل نمو فیزیولوژیک دارد. وجود برهمکنش‌های مختلف در شرایط مزرعه، تفاوت زیاد بین گونه‌ها و ارقام و نبود اطلاعات کمی کافی سبب شده مدلسازی نمو فیزیولوژیک در مقایسه با سایر فرایندها نسبتاً مشکل‌تر باشد (Mahru et al., 2010). همچنین با توجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه برای دستیابی به حداکثر تولید دارند به نظر می‌رسد مدل DSSAT می‌تواند با پیش‌بینی مراحل فنولوژی در اقلیم‌های متفاوت به عنوان یک ابزار مفید برای مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد.

شاخص سطح برگ

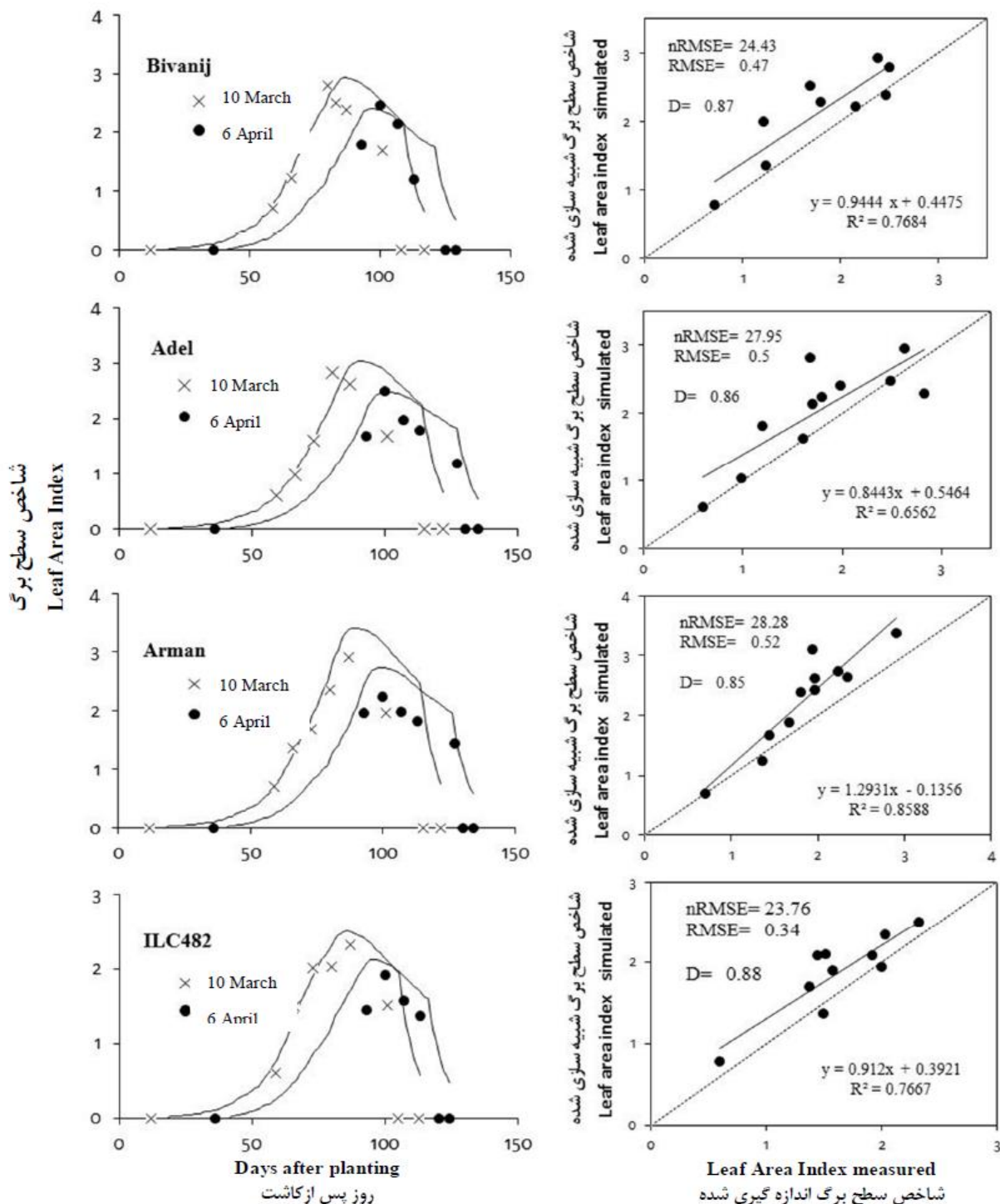
نتایج شبیه‌سازی‌ها حاکی از روند تغییرات نسبتاً یکسان شاخص سطح برگ نخود در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها بود (شکل ۲). در تمام تیمارهای مورد بررسی بعد از سبز شدن، شاخص سطح برگ در ابتدا با سرعت کم و سپس با گرم‌تر شدن هوا از ۱۵ فروردین ماه به بعد به صورت خطی و با شیب تند افزایش یافت. با این حال، در تاریخ کاشت ۱۷ فروردین به دلیل مواجهه سریع‌تر گیاه با روزهای گرم و آفتابی دوره رشد نمای شاخص سطح برگ کوتاه‌تر بوده و گیاه سریع‌تر وارد مرحله رشد خطی افزایش شاخص سطح برگ شد. شاخص سطح برگ بعد از مرحله گلدهی به علت پیری و ریزش برگ‌ها به تدریج کاهش یافت و در نهایت در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و ۱۷ فروردین برای ارقام بیونج، عادل، آرمان و ILC482 به ترتیب در ۱۰۶، ۹۳، ۱۱۱ و ۹۹، ۱۱۱ و ۱۰۲، ۹۸ و ۸۸ روز پس از کاشت به انتهای خود رسید که با نتایج مشاهده شده در مزرعه همخوانی بالایی داشت (شکل ۲). هم در شرایط مزرعه و هم در شرایط شبیه‌سازی‌ها، روز تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ ارقام نخود تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت، به گونه‌ای که با تأخیر در کاشت، شاخص سطح برگ ارقام نخود کاهش یافت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند نسبت به تاریخ کاشت ۱۷ فروردین شاخص سطح برگ برای ارقام بیونج، عادل، آرمان و ILC482 به ترتیب حدود ۵/۴، ۶/۵، ۸/۲۳ و ۴/۸ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد در شرایط کشت دیر هنگام به علت کوتاه شدن دوره رشد رویشی نخود، کوتاهی عمر برگ‌ها و خشک شدن زودتر آن‌ها به دلیل مواجهه شدن با دمای

بالا، شاخص سطح برگ در مقایسه با کشت زود هنگام کاهش شدیدی از خود نشان داد (شکل ۲).

میزان جذر میانگین مربعات خطا و میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده شاخص سطح برگ ارقام مورد مطالعه به ترتیب بین ۰/۳ تا ۰/۵ و ۲۰/۸ تا ۲۸/۲ درصد مشاهدات به دست آمد (شکل ۲). ضریب توافق ویلموت (d) برای شاخص سطح برگ ارقام مورد مطالعه ۰/۸ بود که حاکی از دقت خوب مدل CROPGRO-Chickpea در شبیه‌سازی سطح برگ ارقام نخود داشت (شکل ۲). همچنین نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تیمارهای مورد بررسی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و مدل توانست تا بیش از ۸۶ درصد تغییرات مشاهده شده شاخص سطح برگ را پیش‌بینی کند که حاکی از دقت بسیار بالای مدل در پیش‌بینی این صفت است (شکل ۲). نتایج ارزیابی مدل CROPGRO-Chickpea در شبیه‌سازی سطح برگ ارقام نخود تحت شرایط تاریخ‌های مختلف کشت نشان داد که مدل در تیمارهای مورد بررسی میزان شاخص سطح برگ را در مراحل نموی بعد از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک بالاتر از مقادیر مشاهده شده تخمین زد که این موضوع باعث افزایش مقادیر جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ویژه در ارقام بیونج، عادل و آرمان و در نتیجه کاهش نسبی دقت پیش‌بینی‌ها گردید. قابلیت پیش‌بینی تغییرات سطح برگ در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی دارای اهمیت است. پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای تخمین میزان تشعشع دریافت شده و تولید ماده خشک مورد نیاز است. همچنین پیش‌بینی آن در تعیین نسبت تبخیر به تبخیر تعرق دارای اهمیت است (Soltani et al., 2006). در مجموع از مقایسه شبیه‌سازی‌های انجام گرفته توسط مدل DSSAT در این مطالعه با نتایج مطالعات دیگر مشخص است که نتایج حاصل از این مطالعه برای شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در مقایسه با دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه قابل قبول است اما تفاوت‌های بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیاز به بررسی دقیق‌تر در مطالعات بعدی دارد. لگرسومی و همکاران (Lagarswamy et al., 2000) نیز بیان کردند اگرچه مدل CROPGRO-Soybean میزان شاخص سطح برگ را در طول رشد نمایی شاخص سطح برگ بیشتر از مقدار مشاهده شده پیش‌بینی کرد اما از دقت نسبتاً خوبی برای پیش‌بینی تغییرات شاخص سطح برگ سویا بهره‌مند بود. بتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) میزان جذر میانگین مربعات خطا و ضریب توافق ویلموت (d) در شبیه‌سازی سطح برگ ارقام مختلف سویا تحت شرایط محدودیت آب و بدون محدودیت را به ترتیب بین ۰/۲۹ تا ۰/۶۹ و ۰/۸۹ تا ۰/۹۹ نشان دادند. در مطالعه‌ای دیگر که توسط منگ و همکاران (Meng et al., 2019) در شمال چین اجرا شده بود میزان جذر میانگین مربعات خطا

به‌ترتیب ۰/۹۶۵ و ۰/۹۱ گزارش شد.

و ضریب توافق ویلموت (d) برای تغییرات شاخص سطح برگ پنبه تحت روش‌های مختلف آبیاری توسط مدل CROPGRO-Cotton



شکل ۲- گراف سمت چپ: اثر تاریخ کاشت بر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده (نقاط) و شبیه‌سازی شده (خط) نخود. گراف سمت راست:

آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ در تاریخ‌های کاشت برای ارزیابی مدل

Figure 2- Left figure: Effect of sowing date on measured (points) and simulated (lines) of chickpea leaf area index. Right figure: Regression analysis between simulated and measured leaf area index in sowing date treatments for model validation

عملکرد وزن خشک کل

روند افزایش ماده خشک کل مشاهده شده ارقام نخود در کلیه تیمارهای آزمایش به صورت سیگموتیدی بود، به گونه‌ای که در اوایل دوره رشد، تجمع ماده خشک کل به علت جذب نور و در نتیجه فتوسنتز و تولید ماده خشک کمتر، پایین بود اما به تدریج و پس از عبور از مرحله رشد نمایی با وارد شدن به مرحله رشد خطی به دلیل افزایش شاخص سطح برگ، میزان فتوسنتز کانوپی افزایش یافته و شیب منحنی تجمع ماده خشک کل شدت بیشتری به خود گرفت و بعد از آن در انتهای دوره رشد گیاه به علت پیری و ریزش برگ‌ها و همچنین سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر برگ‌های پایینی کانوپی و افزایش سرعت تنفس آن‌ها وارد مرحله رشد ثابت گردید که همخوانی بالایی با روند تغییرات عملکرد ماده خشک کل شبیه‌سازی شده داشت (شکل ۳). در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، صرف‌نظر از تاریخ کاشت بیشترین وزن خشک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب مربوط به رقم عادل (۳۵۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار) و رقم بیونج (۴۴۲۸/۷ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۳).

میزان جذر میانگین مربعات خطای وزن خشک کل برای ارقام مورد ارزیابی از ۲۹۲/۲ تا ۶۷۴/۲ کیلوگرم در هکتار و میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز از ۱۱/۷ تا ۲۵/۵ درصد میانگین مشاهده‌ها بود (شکل ۳ و جدول ۵). ضریب توافق ویلموت (d) برای وزن خشک کل ۰/۹ بود که حاکی از دقت بسیار بالای مدل CROPGRO-Chickpea در شبیه‌سازی وزن خشک کل در تیمارهای مختلف داشت (شکل ۳). همچنین نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با

شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تیمارهای مورد بررسی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و مدل توانست تا بیش از ۹۸ درصد تغییرات مشاهده شده وزن خشک کل را پیش‌بینی کند که حاکی از دقت بسیار بالای مدل در پیش‌بینی این صفت است (شکل ۳).

اگرچه همانطور که در شکل ۳ مشخص است مقدار ماده خشک شبیه‌سازی شده از مقدار ماده خشک مشاهده شده اندکی بیشتر است، زیرا یکی از دلایل این امر، عدم وجود شرایط کاملاً مطلوب رشد در مزرعه می‌باشد در حالی که در مدل فرض می‌شود که عوامل محدودیت وجود ندارد. همچنین احتمال دارد این کاهش ماده خشک مشاهده شده ناشی از ماده خشک ریخته شده بر روی زمین در شرایط مزرعه باشد. در مطالعه‌ای دیگر آموزو و همکاران (Amouzou et al., 2018) نشان دادند که میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده و ضریب توافق ویلموت (d) در شبیه‌سازی ماده خشک کل پنبه تحت شرایط آبیاری و کاربرد کود نیتروژن در عمق‌های مختلف خاک توسط مدل CROPGRO-Cotton به ترتیب بین ۳۱ تا ۴۶ درصد میانگین مشاهده‌ها و ۹۱ تا ۹۷ درصد گزارش شد. بتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) نیز میزان جذر میانگین مربعات خطا و ضریب توافق (d) در شبیه‌سازی ماده خشک ارقام مختلف سویا تحت شرایط محدودیت آب و بدون محدودیت را به ترتیب بین ۰/۳ تا ۰/۷ و ۰/۸۹ تا ۰/۹۹ نشان دادند. همچنین محمد و همکاران (Mohammed et al., 2017) بیان کردند مدل CROPGRO-Chickpea از دقت بالایی در شبیه‌سازی ماده خشک نخود برخوردار بود.

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل CROPGRO-CHICKPEA برای ارقام عادل، آرمان و بیونج با استفاده از اطلاعات آزمایش سال ۹۴-۱۳۹۳

Table 5- Validation results for CROPGRO-CHICKPEA model for Adel, Arman and Bivanij cultivars using data of experiments at 2015

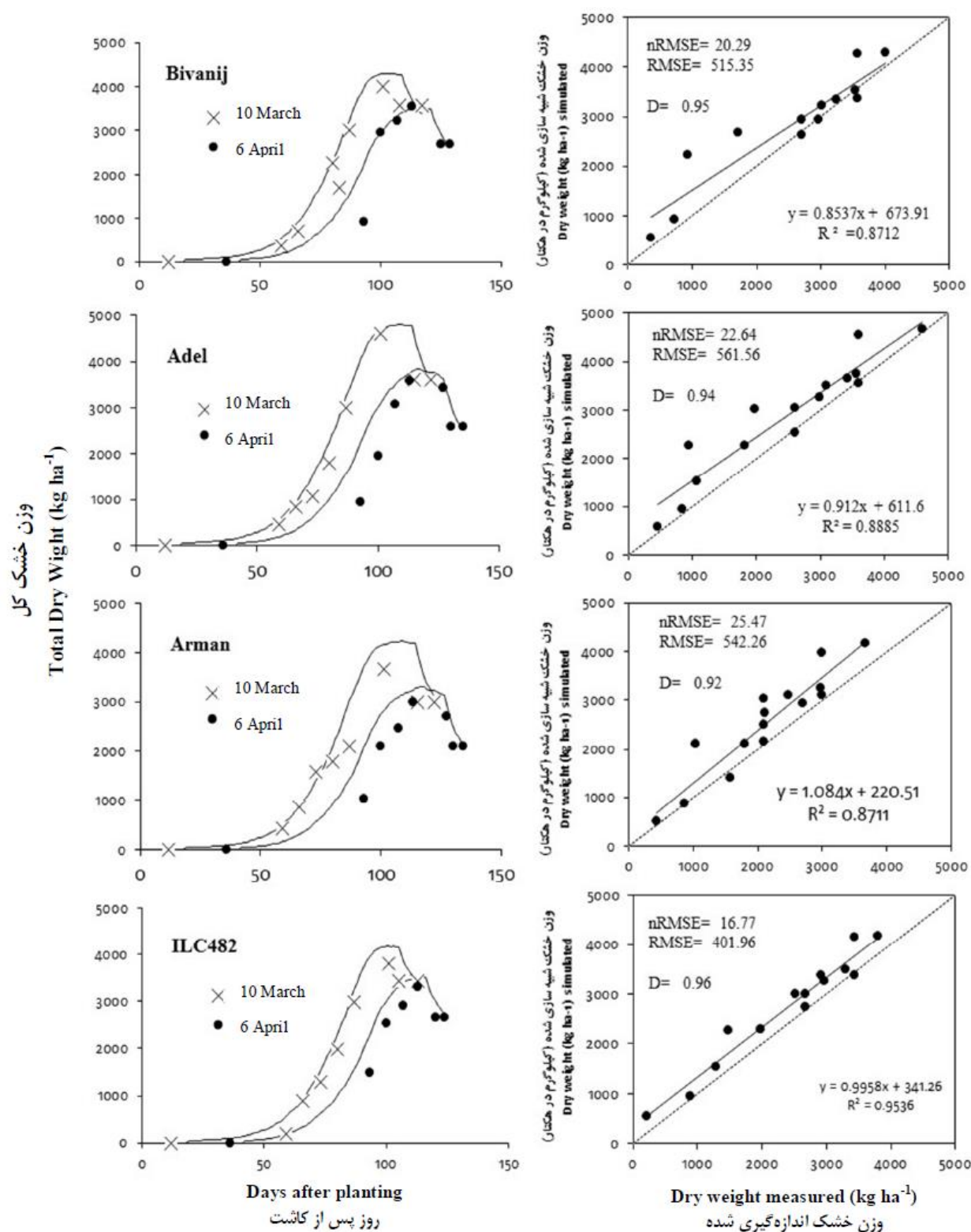
فصل رشد Growing season	Adel				Arman				Bivanij			
	میانگین وزن خشک کل		میانگین عملکرد دانه		میانگین وزن خشک کل		میانگین عملکرد دانه		میانگین وزن خشک کل		میانگین عملکرد دانه	
	Average of total dry weight (kg.ha ⁻¹)		Average of grain yield (kg.ha ⁻¹)		Average of total dry weight (kg.ha ⁻¹)		Average of grain yield (kg.ha ⁻¹)		Average of total dry weight (kg.ha ⁻¹)		Average of grain yield (kg.ha ⁻¹)	
	O ^a	S ^b	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S
2015	3914	3473	1556	1381	3412	3044	1167	1039	2383	2110	908	792
شاخص‌های آماری												
Statistical Indices												
RMSE ^c	674.2		223.4		399.8		195.3		292.2		134.5	
nRMSE (%) ^d	17.2		14.4		11.7		16.6		12.3		14.8	

^a Observed data. داده‌های مشاهده شده.

^b Simulated data. داده‌های شبیه‌سازی شده.

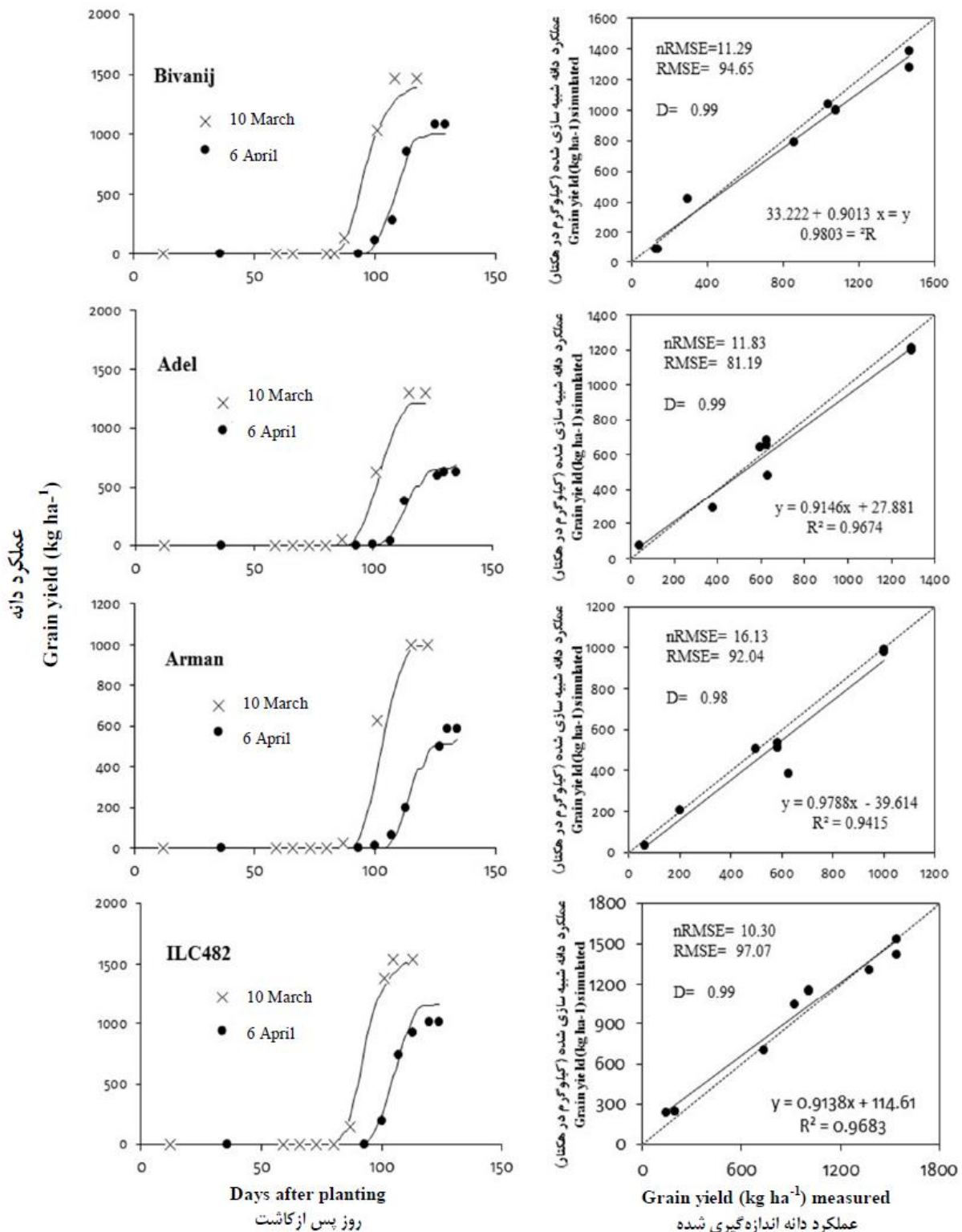
^c Root mean square error. جذر میانگین مربعات خطا.

^d Normalized root mean square error. جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده.



شکل ۳- گراف سمت چپ: اثر تاریخ کاشت بر وزن خشک کل اندازه‌گیری شده (نقاط) و شبیه‌سازی شده (خط) نخود. گراف سمت راست: آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده وزن خشک کل در تاریخ‌های کاشت برای ارزیابی مدل

Figure 3- Left figure: Effect of sowing date on measured (points) and simulated (lines) of chickpea total dry weight. Right figure: Regression analysis between simulated and measured total dry weight in sowing date treatments for model validation



شکل ۴- گراف سمت چپ: اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه اندازه گیری شده (نقاط) و شبیه سازی شده (خط) نخود. گراف سمت راست: آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده عملکرد دانه در تاریخ های کاشت برای ارزیابی مدل

Figure 4- Left figure: Effect of sowing date on measured (points) and simulated (lines) of chickpea grain yield. Right figure: Regression analysis between simulated and measured grain yield in sowing date treatments for model validation

عملکرد دانه

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که از شروع مرحله گلدهی نخود (حدود ۶۸ تا ۸۰ روز پس از کاشت در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و ۵۵ تا ۶۸ روز پس از کاشت در کاشت ۱۷ فروردین)، در تمام تیمارها عملکرد دانه به سرعت افزایش یافت و تا انتهای مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار خود رسید (شکل ۴). این نتایج با داده‌های مشاهده شده در شرایط مزرعه هم‌خوانی بسیار بالایی داشت. هم در شرایط مزرعه و هم در شبیه‌سازی تأخیر در کاشت منجر به کاهش عملکرد دانه شد، به گونه‌ای که با تأخیر در کاشت از ۲۰ اسفند به ۱۷ فروردین میزان عملکرد دانه هم در شرایط مزرعه و هم شبیه‌سازی به ترتیب حدود ۳۷/۷ و ۳۳/۹ درصد کاهش یافت. صرف نظر از تاریخ کاشت بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به ترتیب به میزان ۱۲۷۵/۵ و ۱۳۴۵/۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم ILC482 بود. به نظر می‌رسد وجود عوامل محیطی مناسب در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند، نظیر تشعشع خورشیدی و درجه حرارت مطلوب در زمان گلدهی و پرشدن دانه موجب افزایش بازده فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه نخود شد. همچنین در تاریخ کاشت ۱۷ فروردین عواملی مانند شاخص سطح برگ پایین، جذب کمتر تشعشع در طی مرحله رشد رویشی، کوتاه شدن دوره رشد زایشی و برخورد مرحله گل‌دهی و مراحل پس از آن با دمای بالا سبب اختلال در انتقال مواد ذخیره‌ای به دانه‌ها شده و در نهایت کاهش عملکرد را به دنبال داشته است (Fathi et al., 2003; Behtari et al., 2010).

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و داده‌های مشاهده شده عملکرد دانه اختلاف بسیار ناچیزی وجود داشت، به طوری که میزان جذر میانگین مربعات خطا و میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه برای ارقام کشت شده به ترتیب بین ۸۱/۲ تا ۲۲۳/۴ کیلوگرم در هکتار و ۱۰/۳ تا ۱۶/۶ درصد میانگین مشاهده‌ها بود (شکل ۴ و جدول ۵). ضریب توافق ویلموت (d) برای عملکرد ارقام کشت شده حدود ۰/۹۹ بود که نشان‌دهنده توانایی بسیار بالای مدل CROPGRO-Chickpea در شبیه‌سازی عملکرد دانه در تیمارهای مختلف بود (شکل ۴). علاوه بر این، نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های

مشاهده شده و شبیه‌ساز شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تیمارهای مورد بررسی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و مدل CROPGRO-Chickpea قادر بود تا بیش از ۹۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه مشاهده شده را پیش‌بینی کند که نشان از توانایی بسیار خوب این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های مختلف داشت (شکل ۴). محققین دیگر نیز مقدار جذر میانگین مربعات خطا در شبیه‌سازی عملکرد دانه نخود توسط مدل CROPGRO-Chickpea را از ۱۴۷/۹ تا ۲۴۹ کیلوگرم در هکتار نشان دادند (Mohammed et al., 2017; Patil et al., 2017; Singh et al., 2014).

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که بخش محاسبه ضرایب ژنتیکی بسته نرم‌افزاری DSSAT نسخه ۴/۶ به خوبی توانست ضرایب ژنتیکی مورد نظر را برای ارقام مورد مطالعه در شرایط اقلیمی کرمانشاه محاسبه کند، به گونه‌ای که نتایج واسنجی این ضرایب برای صفات شبیه‌سازی شده مورد نظر و مقایسه آنها با نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده در تیمار تاریخ کاشت مطلوب نشان داد، مدل قادر است با حداقل اختلاف، ویژگی‌های رشد و نمو نخود را پیش‌بینی کند که این مطلب بیانگر دقت بالای ضرایب ژنتیکی محاسبه شده برای ارقام مورد بررسی بود. هم در شرایط مزرعه و هم در شبیه‌سازی تأخیر در کاشت منجر به کاهش عملکرد نخود شد. به طوری که بیشترین عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به ترتیب، ۱۳۲۶/۷۵ و ۱۲۷۹/۷۵ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند حاصل شد. در حالی که مدل توانست با دقت بسیار بالایی صفات مورد بررسی را پیش‌بینی کند، پایین‌ترین دقت ارزیابی در بین این صفات مربوط به شبیه‌سازی روند تغییرات شاخص سطح برگ بود. با توجه به نتایج، مدل روند شاخص سطح برگ را بیشتر از مقدار به دست آمده شبیه‌سازی کرده است، علت این امر می‌تواند وجود محدودیتی در مزرعه بوده که به مدل معرفی نشده است. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که مدل CROPGRO-Chickpea می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید برای پیش‌بینی ویژگی‌های رشد و نمو نخود به کار برده شود.

References

1. Amouzou, K. A., Naab, J. B., Lamers, J. P., Borgemeister, C., Becker, M., and Vlek, P. L. 2018. CROPGRO-Cotton model for determining climate change impacts on yield, water-and N-use efficiencies of cotton in the Dry Savanna of West Africa. *Agricultural Systems* 165: 85-96.
2. Benjamin, J., and Nielsen, D. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *Field Crops Research* 97: 248-253.
3. Boote, K. J., Prasad, V., Allen Jr, L. H., Singh, P., and Jones, J. W. 2018. Modeling sensitivity of grain yield to elevated temperature in the DSSAT crop models for peanut, soybean, dry bean, chickpea, sorghum, and millet. *European Journal of Agronomy* 100: 99-109.

4. Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2015. Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model. *Agroecology* 7: 315-330. (in Persian with English abstract).
5. Goudriaan, J., and Van Laar, H. 2012. Modelling potential crop growth processes: textbook with exercises. Springer Science & Business Media.
6. Hoogenboom, G., Jones, J. W., Wilkens, P. W., Porter, C. H., Boote, K. J., Hunt, L. A., Singh, U., Lizaso, J. L., White, J. W., Uryasev, O., Ogoshi, R., Koo, J., Shelia, V., and Tsuji, G. Y., 2015. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (www.DSSAT.net). DSSAT Foundation, Prosser, Washington.
7. Jalilian, A., Mondani, F., Khorramivafa, M., and Bagheri, A., 2017. Evaluation of CliPest model in simulation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena ludoviciana* L.) competition in Kermanshah. *Agroecology* 10: 248-266. (in Persian with English abstract).
8. Jame, Y. W., and Cutforth, H. W. 1996. Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science* 76: 9-19.
9. Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., and Ritchie, J. T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* 18: 235-265.
10. Jones, J. W., Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Thornton, P. K., Wilkens, P. W., Imamura, D. T., Bowen, W. T., and Singh, U. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In *Understanding options for agricultural production* (pp. 157-177). Springer, Dordrecht.
11. Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Huth, N. I., Hargreaves, J. N., Meinke, H., Hochman, Z., and McLean, G. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18: 267-288.
12. Liu, H., Yang, J., Drury, C. A., Reynolds, W., Tan, C., Bai, Y., He, P., Jin, J., and Hoogenboom, G. 2011. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89: 313-328.
13. Liu, H. L., Liu, H. B., Lei, Q. L., Zhai, L. M., Wang, H. Y., Zhang, J. Z., Zhu, Y. P., Liu, S. P., Li, S. J., Zhang, J. S., and Liu, X. X. 2017. Using the DSSAT model to simulate wheat yield and soil organic carbon under a wheat-maize cropping system in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture* 16: 2300-2307.
14. Liu, S., Yang, J., Zhang, X., Drury, C., Reynolds, W., and Hoogenboom, G. 2013. Modelling crop yield, soil water content and soil temperature for a soybean-maize rotation under conventional and conservation tillage systems in Northeast China. *Agricultural Water Management* 123: 32-44.
15. Mahru, A. H., Soltani, A., Galeshi, S., and Kalate-Arabi, M. 2010. Estimates of genetic coefficients and evaluation of model DSSAT for Golestan province. *Electronic Journal of Crop Production* 3: 229-253. (in Persian with English abstract).
16. Mohammed, A., Tana, T., Singh, P., Korecha, D., and Molla, A. 2017. Management options for rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) in northeast Ethiopia under climate change condition. *Climate Risk Management* 16: 222-233.
17. Mondani, F., and Jalilian, A. 2019. Evaluation of the Interaction between Sowing Date and Cultivar on Different Traits of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Kermanshah Climate Conditions. *Plant Production Technology* 1: 37-51. (in Persian with English abstract).
18. Mondani, F., Nassiri-Mahallati, M., Koocheki, A., and Hajian-Shahri, M. 2015. Simulation of wild oat (*Avena ludoviciana* L.) Competition on Winter Wheat (*Triticum aestivum*) Growth and Yield. I: Model Description and Validation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13: 218-231. (in Persian with English abstract).
19. Mondani, F. 2017. Simulation of Nitrogen Fertilizer Effect on Maize (*Zea mays*) Production by CERES-Maize Model under Kermanshah Climate Condition. *Journal of Water and Soil* 31: 1665-1678. (in Persian with English abstract).
20. Ovando, G., Sayago, S., and Bocco, M. 2018. Evaluating accuracy of DSSAT model for soybean yield estimation using satellite weather data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 138: 208-217.
21. Patil, D. D., and Patel, H. R. 2017. Calibration and Validation of CROPGRO (DSSAT 4.6) Model for Chickpea under Middle Gujarat Agroclimatic Region. *International Journal of Agriculture Sciences* 9: 4342-4344.
22. Penning, de Vries, F. W. T., and Van Laar, H. H. 1982. Simulation of plant growth and crop production. *Simulation Monographs*. Wageningen (Netherlands): Pudoc. 308p.
23. Singh, P., and Virmani, S. 1996. Modeling growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research* 46: 41-59.
24. Singh, P., Nedumaran, S., Boote, K. J., Gaur, P. M., Srinivas, K., and Bantilan, M. C. S. 2014. Climate change impacts and potential benefits of drought and heat tolerance in chickpea in South Asia and East Africa. *European Journal of Agronomy* 52: 123-137.
25. Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crop Research* 99: 14-23.

26. Sorecha, E. M., Kibret, K., Hadgu, G., and Lupi, A. 2017. Exploring the impacts of climate change on Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Production in central highlands of Ethiopia. Academic Research Journal of Agricultural Science and Research 5: 140-150.
27. Taie, J., Amiri, E., Aien, A., Boroumand, N., and Jokar, M. 2018. Evaluation of DSSAT model for potential yield prediction of potato under autumn cropping system (Case study: Jiroft, Iran), Journal of Crops Improvement 19: 893-905.
28. Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society 63: 1309-1313.
29. Yang, J., Yang, J., Dou, S., Yang, X., and Hoogenboom, G. 2013. Simulating the effect of long-term fertilization on maize yield and soil C/N dynamics in northeastern China using DSSAT and CENTURY-based soil model. Nutrient Cycling in Agroecosystems 95: 287-303.



Simulation Effects of Sowing Date on Growth and Yield of Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) by CROPGRO-CHICKPEA Model

H. Hajishabani¹, F. Mondani^{2*}, A. Bagheri³

Received: 27-08-2019

Accepted: 28-12-2019

Introduction

Simulation crop models allow to represent growth, phenological development and yield of crops and to evaluate new technologies or conditions not yet explored. The DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) is one of the most widely used modeling systems across the world. The DSSAT was developed with a modular structure to facilitate its maintenance and to include additional components to simulate cropping systems, considering different soils, climates, and management conditions. The DSSAT has also proven to be a useful tool for selecting improved agricultural practices. Currently, the DSSAT is able to incorporate models of 27 different crops, including several cereal grains, grain legumes, and root crops. The CROPGRO-Chickpea model is part of the DSSAT model. This model allows simulating the development and yield of the grain legumes, to represent and to evaluate the influence of multiple environmental and agronomic factors. Among all management practices, selecting optimum sowing date helps in minimizing the effect of high temperatures during the grain filling period responsible for reduction of grain yield. Therefore, the objectives of the present study were: (1) to estimate the genetic coefficients and calibrate the CROPGRO-Chickpea model (2) to evaluate the performances of the CROPGRO-Chickpea model in simulating chickpea cultivars growth, development and grain yield in different sowing dates under Kermanshah climatic conditions.

Materials and Methods

This experiment was carried out in a split-plot design with three sowing dates (28 February, 10 March and 6 April) as main plots and 4 current chickpea cultivars (Bivani, Adel, Arman and ILC482) as sub plots with three replications at 2017. The required model inputs consisted field management, daily weather conditions, soil profile characteristics, and cultivar characteristics. The cultivar coefficients were obtained under optimum conditions (i.e., minimum stress in weather and nutrients). The genetic coefficients of the chickpea cultivars i.e. Bivani, Adel, Arman and ILC482 were determined using the GenCal software of DSSAT v 4.6 for sowing date of 28 February treatment. Model performance was evaluated by comparing simulated and measured values of chickpea cultivars phenological development stages (DVS), leaf area index (LAI), total dry weight (TDW) and grain yield (GY) for another sowing date treatments (10 March and 6 April) by root mean square error (RMSE), normalized RMSE (nRMSE) and index of agreement (d).

Results and Discussion

The results of model calibration showed that there were very good agreements between the DVS, LAI, TDW and GY of observed and simulated values. The results of the model validation also indicated that the CROPGRO-Chickpea model was able to accurately simulate DVS and yield for chickpea cultivars. The nRMSE values for Bivani, Adel, Arman and ILC482 of LAI were 26.1, 27.9, 28.3 and 20.1%, respectively. The index of agreement (d) for LAI ranged from 0.8 to 0.9. The nRMSE average for evaluated cultivars of TDW was 16.5%. The index of agreement (d) for TDW was 0.99. The nRMSE average for evaluated cultivars of GY was 13.5%. The index of agreement (d) for GY ranged from 0.96 to 0.98. For both simulated and measured conditions the late sowing date led to reduce in the grain yield. The greatest grain yield of simulated and measured were 1279.7 and 1326.6 kg ha⁻¹ that related to sowing date of 10 March 2017 treatment.

Conclusions

Based on the results of model calibration, it can be concluded that the estimated of genetic coefficients by the GenCalc software were very robust in simulating the phenological development stages and growth of chickpea. The results of model validation showed that the CROPGRO-Chickpea model was able to give an accurate simulation of all studied traits of chickpea cultivars except leaf area index in different sowing date under Kermanshah climate conditions.

Keywords: Chickpea cultivars, Grain yield, Model calibration, Phenological development

1- MSc. Student in Agroecology, Department of Crop Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Assistant Professor in Crop Ecology, Department of Crop Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

3- Assistant Professor in Weed Science, Department of Crop Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

(* - Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir)



مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط کم‌آبیاری در مشهد

کمال حاج محمدنیا قالی‌باف^{۱*}، محمد بنایان اول^۲، محمد حسن راشد محصل^۳، نیوشا ولایی^۴، فاطمه یعقوبی^۴، زهرا رشیدی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه دارویی زیره سبز آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، سه تاریخ کاشت در ماه‌های آذر، اسفند و فروردین به‌عنوان عامل فرعی و دو تراکم کاشت ۴۰ و ۸۰ بوته در مترمربع عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد آبیاری کامل زیره سبز در آذر ماه با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع دارای بیشترین تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و عملکرد دانه بود. در حالی که در شرایط مشابه با کاهش تراکم، وزن ۱۰۰ دانه و وزن تک بوته افزایش و کارایی مصرف آب کاهش یافت. تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در فروردین ماه با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب با کاهش ۵۳/۷۷ و ۵۲/۲۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاشت آن در آذر ماه با آبیاری کامل و تراکم ۸۰ بوته در مترمربع، دارای کمترین مقدار بود. همچنین، سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در ماه‌های اسفند و فروردین با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب علی‌رغم کاهش ۱۲/۸۳، ۲۹/۲۴ و ۲۱/۴۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاشت در آذر ماه با آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و تراکم مشابه، دارای بیشترین کارایی مصرف آب بودند. بنابراین، با افزایش تراکم بوته در واحد سطح همراه با آبیاری متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) در کشت‌های دیر هنگام (اسفند و فروردین) می‌توان تا حدودی کاهش عملکرد دانه زیره سبز را با افزایش کارایی مصرف آب جبران نمود.

واژه‌های کلیدی: تعداد چتر در بوته، تنش خشکی، ظرفیت زراعی، عملکرد دانه، فاصله ردیف

مقدمه

اگزالیک اسید و فیتات است، بنابراین می‌تواند داوطلب^۸ بسیار مناسبی به‌عنوان ماده مغذی زیستی^۹ باشد (Roustakhiz and Raissi, 2017). دوره رشد کوتاه، نیاز آبی کم و ارزش اقتصادی بالای زیره سبز سبب شده است تا زراعت این گیاه در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور دارای توجیه اقتصادی باشد (Kafi et al., 2002; Kamkar et al., 2011; Rezvani Moghaddam et al., 2007) که اغلب در این مناطق از مرحله گلدهی تا دانه‌بندی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Bahraminejad et al., 2011). به‌علاوه، فاکتورهای زراعی از قبیل تاریخ کشت، تراکم، آبیاری، کود نیتروژن، کنترل علف‌های هرز، زمان برداشت و شرایط اقلیمی مختلف نیز می‌تواند کیفیت و کمیت این گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Chandhary and Gupta, 1982; Jangir and Singh, 1996; Ehteramian, 2003).

تنش خشکی معمولاً به‌عنوان شایع‌ترین تنش غیر زنده شناخته می‌شود و خسارات سنگینی را به محصولات عمده کشاورزی وارد می‌کند (Askar et al., 2010). اثر تنش خشکی به میزان و طول

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از خانواده چتریان^۶ یکی مهمترین گیاهان دارویی اهلی و صادراتی ایران است (Kafi et al., 2002) و طبق آمارنامه کشاورزی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ بیش از ۱۲ هزار و ۴۳۵ تن زیره در سطح زیرکشت ۲۰ هزار و ۷۲۵ هکتار در کشور تولید شده است (Anonymous, 2020). از آنجایی که این گیاه دارای سطوح پایینی از فاکتورهای ضد تغذیه‌ای^۷ مانند تانن،

۱- استادیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

۳- دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

مشهد

۴- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

مشهد

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

(*)- نویسنده مسئول: (Email: hajmohamadnia@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.83813

6- Apiaceae

7- Anti-nutritional factors

محصول به حجم آب مصرفی می‌باشد که به عملکرد گیاه، ترق و گیاهی، تبخیر، تبخیر و ترق و حتی میزان آب آبیاری نسبت داده شده است (Seckler et al., 2002).

تولید زیره سبز در شرایط دیم نشان‌دهنده مقاومت و سازگاری نسبی این گیاه به تنش خشکی است (Kafi et al., 2002). محققین بیان کردند که عملکرد زیره سبز در سال‌های پر باران با تیمارهای آبیاری در شرایط دیم برابر بوده و این گیاه به مقادیر کم آبیاری پاسخ مثبت داده است (Kafi et al., 2006). همچنین، تغییر در شکل برگ، کوچکی برگ‌ها و رنگ سطح پوشش گیاه نشان‌دهنده سازگاری زیره سبز با شرایط تنش خشکی می‌باشد (Kizil et al., 2003).

همچنین، با افزایش تنش خشکی تعداد چتر در بوته (Kafi and Keshmiri, 2011)، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه و اسانس نیز در این گیاه کاهش می‌یابد (Yazdani Chamheidary et al., 2014). با توجه به اهمیت تاثیر دما به‌ویژه یخبندان زمستانه و همچنین دمای بالا در بهار و تابستان بر جوانه‌زنی و رشد زیره سبز و نیز امکان کشت این گیاه در اقلیم‌هایی با بارندگی کم به‌صورت دیم، دما می‌تواند بر عملکرد این گیاه دارویی مهم تاثیر به‌سزایی داشته باشد. از این‌رو، هدف از این تحقیق بر آن است تا با برآورد تبخیر و ترق و کارایی مصرف آب زیره سبز تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری، تراکم بوته در واحد سطح و تاریخ‌های کشت بهترین مدیریت کشت جهت دستیابی به عملکرد مطلوب این گیاه در شرایط مشهد تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش کم آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی^۱)، تاریخ کاشت به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (آذر ۹۶/۹/۲۲)، اسفند ۹۶/۱۲/۲۴ و فروردین ۹۷/۱/۲۲ (ماه) و عامل فرعی فرعی تراکم در دو سطح (۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع) در نظر گرفته شد. همچنین، زمان برداشت نیز به‌ترتیب در تاریخ‌های ۹۷/۳/۱۷، ۹۷/۴/۱ و ۹۷/۴/۷ انجام گردید. داده‌های مربوط به میانگین دما و میزان بارندگی در طی فصل رشد زیره سبز در جدول ۱ آورده شده است. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری گردید (جدول ۲). نیاز کودی گیاه نیز بر اساس آزمون خاک صورت

دوره آن، مرحله رشدی گیاه، ظرفیت ژنوتیپی گونه‌ها و بر همکنش عوامل محیطی بستگی دارد (Leung and Griaudat, 1998). همچنین، بروز تنش کم آبی در مراحل مختلف رشد گیاه، به‌ویژه در مرحله زایشی به علت کاهش طول دوره فتوسنتز، متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی، انتقال مواد به دانه و کاهش وزن دانه، موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Farrokhinia et al., 2011).

تاریخ کاشت مناسب برای هر گیاه یکی از مهمترین عوامل موثر در مدیریت رشد و نمو و دوره بحرانی عملکرد و اجزای عملکرد محصول است (Khajehpour, 2008). بنابراین، با توجه به اهمیت نقش عوامل اقلیمی بر رشد گیاه زراعی، تغییر تاریخ کاشت به علت تغییر در پارامترهای آب و هوایی بسته به نوع گیاه زراعی می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش عملکرد محصول گردد (He et al., 2018). بررسی‌ها نشان می‌دهد در کشت زود هنگام گیاهان تیره چتریان، تعداد شاخه‌های جانبی و در کشت دیر هنگام تعداد شاخه‌های جانبی و حجم ریشه کاهش می‌یابد (Aslam, 2006; Ayub et al., 2006; Khosh-Khui and Bonyanpour, 2008). از سویی دیگر، تأخیر در تاریخ کاشت (از ماه‌های آبان، آذر، دی تا اواخر اسفند) می‌تواند سبب کاهش معنی‌دار بر تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع زیره سبز شود (Rasam et al., 2007). از این‌رو، کاشت بهاره زیره سبز به دلیل حساسیت مراحل فنولوژی گیاه به گرما عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Rahimian Mashhadi, 1992). کاهش عملکرد به علت تاریخ کاشت و تراکم نامطلوب در بسیاری از گیاهان زراعی گزارش شده است (Mashayekhi Sardoooyi et al., 2011; Sadeghi et al., 2009; Rasam et al., 2007).

تراکم بوته در واحد سطح تاثیر زیادی بر رشد و نمو و عملکرد دانه گیاهان دارد (Momoh and Zhou, 2001). به‌علاوه، یکی از مکانیزم‌های رقابت گیاهان زراعی نسبت به علف‌های هرز، افزایش تراکم گیاهی در واحد سطح است. به طوری که، کاشت زود هنگام و تراکم بیشتر زیره سبز بر عملکرد و اجزای عملکرد آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند میزان عملکرد دانه را بیشتر کند (Sadeghi et al., 2003; Yadav and Dahama, 2009). از سویی دیگر، تغییر در تاریخ کاشت و تراکم گیاه می‌تواند سبب کاهش یا افزایش رشد رویشی و زایشی، عملکرد بذر و در نهایت عملکرد بیولوژیک آن گیاه گردد (Mashayekhi Sardoooyi et al., 2011). تغییر تاریخ کاشت، تراکم گیاه و همچنین میزان دسترسی گیاه به آب مورد نیاز در طول فصل رشد می‌تواند رشد رویشی و زایشی گیاه و طول دوره رویش آن را تحت تاثیر قرار دهد. کارایی مصرف آب (WUE^۱) (کیلوگرم محصول تولید شده به متر مکعب آب ترق شده) به معنای مقدار

گرفت. قبل از کشت، ۱۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، ۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به زمین داده شد.

جدول ۱- میانگین دما و بارندگی ماهانه در منطقه مورد مطالعه در طی فصل رشد زیره سبز (۱۳۹۶-۱۳۹۷)
Table 1- Mean of monthly temperature (°C) and rainfall (mm) at site of experiment during the growing season of cumin (2017-2018)

(2017-2018)			
میانگین دما			بارندگی Rainfall (mm)
ماه Month	Mean of temperature (°C)		
	دمای کمینه Tmin	دمای بیشینه Tmax	
12-31 December (آذر)	0.11	14.16	0.021
January (دی)	-1.34	11.30	0.047
February (بهمن)	1.83	13.82	1.306
March (اسفند)	9.01	20.54	1.441
April (فروردین)	8.86	19.91	1.129
May (اردیبهشت)	13.72	27.44	1.865
June (خرداد)	19.82	34.18	0.070

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت زیره سبز (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)
Table 2- Physicochemical properties of the experimental soil before cumin planting (0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (mS.cm ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)
سیلتی-رسی-لومی Silty-clay-loam	0.45	7.82	0.076	83.8	365	0.97	1.68

۴۰ سانتی‌متر خاک اشیاع شد. روی آن با استفاده از پلاستیک پوشیده شد تا از تبخیر از سطح خاک و نفوذ باران به خاک جلوگیری شود. با در نظر گرفتن زمان بعد از نفوذ آب به خاک به‌عنوان زمان صفر، تغییرات رطوبت خاک هر شش ساعت قرائت شد تا زمانی که در دو اندازه‌گیری متوالی مقدار رطوبت قرائت شده تقریباً برابر شد. مقدار میانگین این دو رطوبت به‌عنوان رطوبت در ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد.

برای هر نوبت آبیاری، پس از تعیین حجم آب آبیاری مورد نیاز برای تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با استفاده از معادله یک، ۷۵ و ۵۰ درصد آن به‌عنوان حجم آب مورد نیاز برای آبیاری تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. آبیاری برای تمامی تیمارها با فاصله زمانی هر ۷ روز یکبار انجام شد. تبخیر و تعرق گیاه (ET) در هر تیمار با استفاده از موازنه آب خاک (معادله ۲) محاسبه شد (Andreu *et al.*, 1997).

$$ET = I + P \pm \Delta S - R - D \quad (2)$$

در این معادله، I مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، P بارندگی (میلی‌متر)، ΔS تغییر در محتوای آب خاک (میلی‌متر)، R رواناب (میلی‌متر) و D زه‌کش زیر ناحیه ریشه (میلی‌متر) می‌باشد. مقدار آب آبیاری با توجه به حجم آب مورد استفاده برای آبیاری هر کرت برآورد

به‌منظور آماده‌سازی زمین برای عملیات کاشت از تراکتور مجهز به تسطیح لیزری استفاده گردید. کاشت بذر زیره سبز بومی مشهد به‌صورت خطی و با دست و در عمق ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۵ متر مربع، با فاصله ردیف‌های کاشت ۲۵ و فواصل بذر پنج سانتی‌متر برای تراکم ۸۰ بوته در متر مربع و فاصله ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر با فواصل بذر ۸/۳ سانتی‌متر از یکدیگر برای تراکم ۴۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. یک روز قبل از هر آبیاری میزان رطوبت خاک در تیمار بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) با استفاده از دستگاه TDR^۱ جهت تعیین میزان کاهش آب خاک اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از معادله ۱ حجم آبیاری مورد نیاز برای جبران این کاهش تا ظرفیت زراعی در تیمار بدون تنش تعیین گردید (Alizadeh, 1995).

$$Vw = \{(FC - \theta)(Bd \times D \times A)\} \quad (1)$$

در این معادله، Vw حجم آب آبیاری، FC درصد وزنی ظرفیت زراعی، θ درصد وزنی رطوبت خاک، D عمق توسعه ریشه (متر)، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب) و A مساحت هر کرت (مترمربع) می‌باشد. جهت تعیین ظرفیت زراعی، کرتی به ابعاد ۲×۲ مترمربع در کنار زمین اصلی ایجاد شد و تمامی علف‌های هرز آن خارج گردید. سپس درون کرت آبیاری شد و تا عمق ۳۰ تا

شد. ΔS از تفاوت بین میزان رطوبت خاک در زمان کاشت و پس از برداشت تعیین گردید. برای این منظور رطوبت خاک در سه نقطه از هر کرت توسط دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. میزان آبیاری در کلیه تیمارها تحت کنترل بوده و آبیاری براساس ظرفیت زراعی انجام شد لذا میزان رواناب و زه‌کش صفر در نظر گرفته شد. به‌منظور برآورد کارایی مصرف آب زیره سبز از معادله ۳ استفاده گردید (Stewart et al., 1977).

$$WUE=(Y/ET) \quad (3)$$

در این معادله، Y عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) و ET مقدار آب مصرفی (تبخیر و تعرق واقعی گیاه) (میلی‌متر) می‌باشد. در انتهای فصل رشد، ۱۷ خرداد ماه برای تاریخ کاشت اول و ۳ و ۱۰ تیر ماه برای تاریخ کاشت‌های دوم و سوم، جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ضمن رهاسازی خطوط حاشیه، چهار مترمربع از هر کرت برداشت گردید. سپس تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر، وزن ۱۰۰ دانه، وزن تک بوته و عملکرد دانه گیاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R و مقایسه میانگین تیمارها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و تراکم گیاه بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز به‌جز صفت وزن تک بوته و همچنین اثر متقابل آبیاری و تراکم بر صفات تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تاریخ کاشت آذر ماه دارای بیشترین تعداد چتر در بوته (۲۷/۵۵) و تعداد دانه در هر چتر (۲۲/۳۴) بود، در حالی که آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در فروردین ماه به‌ترتیب کاهش ۸۴/۱۸ و ۸۰/۵۸ درصدی را در این صفات نشان داد (جدول ۴). محققین بیان کردند کاهش آب مورد نیاز گیاه تا ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط رشد زایشی به‌ویژه پس از گلدهی می‌تواند از تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن ۱۰۰۰ دانه در اکوتیپ‌های زیره سبز به‌ترتیب ۳۳/۳۴، ۲۲/۴۶ و ۳/۷۸ درصد بکاهد (Safari et al., 2017; Kafi and Keshmiri, 2011). نتایج حاکی از آن است که در شرایط تنش آبی تعداد چتر در بوته زیره سبز ۳۶ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت که این امر نیز سبب کاهش تعداد دانه در چتر گردید. با افزایش تراکم بوته در متر مربع نیز از تعداد چتر در گیاه تا حدود ۶۶ درصد کاسته شد. با این وجود تعداد چتر در متر مربع در تراکم‌های بالاتر (۲۰۰ بوته در متر مربع) تقریباً ۲/۷۱ برابر تعداد چتر در متر مربع در تراکم‌های کمتر (۲۵ بوته در متر مربع) بود. این در حالی است که افزایش تراکم تاثیر چندانی در

کاهش تعداد دانه در چتر نداشت (Nakhzari Moghaddam, 2010). طاووسی (Tavoosi, 2001) اظهار داشت که زیره سبز قادر به جذب آب حتی در پتانسیل‌های بسیار کم آب نیز می‌باشد. همچنین، اثر دور آبیاری (۴، ۵ و ۶ مرتبه) تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد زیره سبز نداشت. به‌طوری‌که ۵ مرتبه آبیاری بیشترین عملکرد را نشان داد، اما آبیاری بیشتر تاثیر به‌سزایی نداشت. در حالی که وزن هزار دانه با افزایش دفعات آبیاری کاهش یافت (Jangir and Singh, 1996). محققین در بررسی اثر رژیم آبیاری بر زیره سبز گزارش کردند که تیمار آبیاری کامل دارای کمترین شاخص برداشت و بیشترین زیست توده کل در بین سایر تیمارها بود (Alizadeh et al., 2004). همچنین، بررسی مقایسه میانگین اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب نشان داد، تاریخ کاشت آذر ماه در هر سه شرایط آبیاری بیشترین میزان اجزای عملکرد را به خود اختصاص داده و در مقابل کارایی مصرف آب در این تیمارها کاهش یافته است. به طوری که کاهش بارندگی در دی ماه و افزایش بارندگی در بهمن و اسفند ماه همراه با آب آبیاری سبب افزایش رشد زیست‌توده و در مقابل کاهش اجزای عملکرد نسبت به تاریخ کاشت آذر ماه شده است (جدول ۱ و ۴). تاتاری (Tatari, 2004) گزارش کرد که افزایش زمان آبیاری باعث افزایش زیست‌توده و کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت در زیره سبز می‌گردد و بهترین تیمار دو مرتبه آبیاری بعد از گل‌دهی بود. همچنین، کاربرد ۳ و ۵ مرتبه آبیاری در زیره سبز نشان داد با ۳ مرتبه آبیاری عملکرد و اجزای عملکرد گیاه افزایش یافت (Motamedi-Mirhosseini et al., 2011).

وزن ۱۰۰ دانه زیره سبز در شرایط آبیاری کامل در آذر ماه نسبت به سایر تیمارها افزایش یافت (جدول ۴). در حالی که کمترین وزن ۱۰۰ دانه بذر در هر سه سطح آبیاری در تاریخ کاشت فروردین ماه در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شد که تفاوت معنی‌داری نیز با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به‌جز در تیمار آبیاری کامل وجود نداشت (جدول ۴). گزارشات نشان می‌دهد تاخیر در تاریخ کاشت از فوریه (بهمن ماه) به مارس (اسفند ماه) و افزایش تراکم از ۴۴ به ۹۶ و ۱۴۸ بوته در مترمربع سبب کاهش معنی‌داری در تعداد چتر در بوته، تعداد بذر در هر چتر و وزن ۱۰۰۰ دانه در زیره سبز می‌شود (Mashayekhi, Sardoooyi et al., 2011).

آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در آذر ماه با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در فروردین ماه در هر دو تراکم گیاهی به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن تک بوته زیره سبز را به همراه داشت (جدول ۴). همچنین، بین سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در هر دو نوع تراکم گیاهی در فروردین ماه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). کاهش سطح آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در فروردین ماه با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع می‌تواند وزن ۱۰۰ دانه و وزن تک بوته زیره سبز را به‌ترتیب ۹۵/۶۵ و

۹۶/۴۹ درصد نسبت به آبیاری کامل با تراکم کمتر در آذرماه کاهش دهد.

برهمکنش تیمارها نشان داد در شرایط آبیاری کامل در آذر ماه با افزایش تراکم بوته در مترمربع عملکرد دانه نیز افزایش یافت. این در حالی است که با کاهش سطح آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در فروردین ماه با کاهش تراکم بوته در مترمربع از عملکرد دانه به میزان ۵۳/۷۸ درصد نسبت به آبیاری کامل در آذر ماه با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع کاسته شد (جدول ۴). این کاهش عملکرد دانه در زیره سبز تفاوت معنی‌داری با آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در فروردین ماه نداشت (جدول ۴). همچنین، نتایج مطالعات حاکی از آن است که تنش کم آبی و کاهش تراکم گیاه از ۲۰۰ به ۲۵ بوته در متر مربع سبب کاهش چشمگیری در عملکرد زیره سبز گردید. این در حالی است که تنش کم آبی سبب کاهش وزن ۱۰۰۰ دانه شد، اما تغییر در تراکم تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (Nakhzari Moghaddam, 2010). شایان ذکر است که رقابت شدید بوته‌ها در تراکم زیاد سبب کاهش شدید در عملکرد دانه شد، اما میزان این کاهش کمتر از افزایش تراکم بوته در واحد سطح بود لذا عملکرد در واحد سطح در تراکم بالاتر افزایش یافت. همچنین، بیشترین عملکرد دانه زیره سبز در تاریخ کاشت زود هنگام (فوریه) با تراکم کاشت ۱۴۸ بوته در متر مربع گزارش شده است (Mashayekhi Sardoooyi et al., 2011). با کاهش تراکم بوته در زیره سبز، سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ به دلیل از دست رفتن بخش عظیمی از تشعشع در مراحل اولیه رشد کمتر می‌شود و از این رو عملکرد دانه نیز کاهش خواهد یافت (Kafi et al., 2002). بررسی‌ها نشان داد اثر متقابل تاریخ کاشت زیره سیاه (*Cuminum carvi*) (Sadeghi et al., 2009) و زیره سبز (Heidari Zolleh et al., 2009) در اوایل مارس (اسفند ماه) با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع نسبت به تاریخ کاشت در اواخر این ماه با تراکم‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ بوته در مترمربع سبب افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر و عملکرد دانه گردید. اما تاریخ‌های کاشت و تراکم گیاهی تأثیر معنی‌داری بر وزن ۱۰۰۰ دانه نداشت (Sadeghi et al., 2009). این در حالی است که در تحقیق حاضر صرف‌نظر از سطوح آبیاری، با تأخیر در تاریخ کاشت و افزایش تراکم بوته در واحد سطح، وزن ۱۰۰ دانه کاهش یافت. بنابراین، افزایش تراکم بوته تا حدی که موجب رقابت شدید برای کسب منابع نور، آب و عناصر غذایی در بین بوته‌ها نگردد، می‌تواند سبب افزایش عملکرد در گیاه شود. بررسی اثرات تاریخ‌های مختلف کاشت پاییزه زیره سبز (اواسط ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر) نشان داد کاشت زود هنگام در ماه اکتبر می‌تواند بیشترین تعداد چتر در بوته، تعداد دانه و وزن ۱۰۰۰ دانه را تولید نماید. در حالی که کاشت در ماه دسامبر حداکثر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را نسبت به دو تاریخ کاشت دیگر به همراه داشت (Nezami et al., 2011). بررسی اثرات

تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز نشان داد که در اکثر تاریخ‌های کشت عملکرد دانه به‌طور مستقیم تحت تأثیر تعداد بذر و وزن ۱۰۰۰ دانه قرار گرفت. در حالی که تعداد چتر در بوته و ارتفاع گیاه اثرات غیرمستقیمی بر این صفات داشت (Ghanbari et al., 2014). قادری و مقدم (Ghaderi and Moghaddam, 2015) نشان دادند که تراکم کشت ۵۰ بوته در مترمربع نسبت به تراکم‌های ۶۷ و ۱۰۰ بوته در متر مربع در اسفند ماه دارای بیشترین تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در زیره سبز بود، در حالی که، بیشترین ارتفاع گیاه و تعداد دانه در بوته در تراکم کشت ۶۷ بوته در مترمربع به‌دست آمد (Ghaderi and Moghaddam, 2015). در تحقیق حاضر در هر سه سطح آبیاری در تاریخ کشت اسفند ماه و در تراکم ۸۰ بوته در مترمربع تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر و عملکرد دانه بیشتر از تراکم ۴۰ بوته در مترمربع بود. تأخیر در تاریخ کاشت به علت افزایش دمای هوا در طی دوره رشد و روزهای بلند سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود. زیره سبز با افزایش طول روز به فتوسنتز واکتس نشان داده که این امر سبب کوتاه شدن دوره رشد رویشی، کاهش سطح برگ و سطح فتوسنتزکننده و نهایتاً رشد زایشی و عملکرد گیاه می‌گردد. همچنین، دلیل افزایش عملکرد گیاه با افزایش تراکم بوته در واحد سطح احتمالاً آن است که اگرچه افزایش تراکم سبب افزایش رقابت و کاهش وزن و اندازه تک بوته و نهایتاً کاهش تولید بذر می‌شود، اما افزایش تعداد گیاه در واحد سطح می‌تواند کاهش عملکرد یک گیاه را تا حجم یا میزان معینی از تراکم جبران نماید. از این رو بهتر است تا تراکم کاشت برای جبران کاهش عملکرد ناشی از کشت دیر هنگام افزایش یابد.

نتایج نشان داد آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی زیره سبز در ماه‌های اسفند و فروردین و آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در آذر ماه به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب بود (جدول ۴). همچنین، با توجه به میزان بارندگی (جدول ۱)، افزایش بارندگی در تاریخ‌های اسفند و فروردین ماه سبب افزایش زیست توده گیاه گردید و اثر مستقیم بر کارایی مصرف آب داشت، درحالی که کاهش بارندگی در آذر و دی ماه علاوه بر افزایش اجزای عملکرد سبب کاهش کارایی مصرف آب شد. این روند فارغ از تیمارهای آبیاری در کلیه تیمارها نیز قابل مشاهده است (جدول ۱ و ۴). قمرنیا و جلیلی (Ghamarnia and Jalili, 2013) نیز گزارش کردند که کارایی مصرف آب در سیاه دانه (*Nigella sativa*) بر اساس عملکرد دانه در شرایط ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در ماه‌های تابستان (مارس تا جولای) تفاوت معنی‌داری نسبت به آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی داشت؛ به طوری که با افزایش تنش آبیاری کارایی مصرف آب در این گیاه کاهش یافت. محققین بیان داشتند که افزایش سطح آبیاری می‌تواند زیست توده گیاهان دارویی را افزایش

دهد و از سویی دیگر سبب کاهش اجزای عملکرد اقتصادی گردد (Harisha et al., 2017). این امر بیانگر آن است که حساسیت گیاه به خشکی در مراحل اولیه رشد زایشی بیشتر بوده و شکل‌گیری گل آذین به دور از تنش فقط مانع رشد چترهای آخری شده و تاثیر کمی بر تعداد دانه در چتر و اجزای عملکرد دارد. در مقابل، در شرایط آبیاری ظرفیت زراعی رقابتی بر سر انتقال مواد و فتوسنتز وجود نداشته و رشد رویشی گیاه افزوده می‌گردد و تعداد چتر در گیاه بیش از تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان تاثیر آبیاری بر تعداد چتر در گیاه را مهمترین عامل کاهش عملکرد دانه علی‌رغم افزایش کارایی مصرف آب (افزایش زیست‌توده) دانست. نتایج حاضر با نتایج محققین مطابقت دارد (Nakhzari Moghaddam, 2007). از آنجایی که زیره سبز یکی از گیاهان متحمل به خشکی است و کارایی مصرف آب بالایی دارد، بنابراین می‌تواند با حداقل میزان آب مصرفی عملکرد قابل‌قبولی را تولید نماید (Samadzadeh et al., 2016). کارایی مصرف آب در سیاه دانه نشان داد آبیاری با فواصل ۵ روزه با حجم ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به فواصل ۳ روزه با آبیاری کامل به‌ترتیب دارای بیشترین ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) و کمترین ($3/18\ kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) مقدار بود (Senyigit and Arslan, 2018). از آنجایی که میزان ET با افزایش آب آبیاری افزایش می‌یابد، بنابراین، در حجم معینی از آبیاری میزان ET در فواصل آبیاری ۳ روزه بیشتر از فواصل آبیاری ۵ و ۱۰ روزه بیشتر خواهد بود. از این‌رو، صرف‌نظر از فواصل آبیاری، میزان کارایی مصرف آب با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشتر از تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود (Senyigit and Arslan, 2018).

نتایج همبستگی بین صفات نشان داد در تیمارهای آبیاری کامل و تنش‌های کم آبیاری در طول فصل رشد زیره سبز، تعداد دانه در هر چتر بیشترین همبستگی مثبت را با تعداد چتر در هر بوته داشت (جداول ۵ و ۶). صفات مرفولوژیک تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در هر چتر نیز همبستگی بالایی در هر دو شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری با وزن ۱۰۰ دانه، وزن تک بوته و عملکرد دانه نشان داد (جداول ۵ و ۶). تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر این صفات در زیره سبز توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Karimi afshar et al., 2016; Bahraminejad et al., 2011).

همبستگی وزن ۱۰۰ دانه و وزن تک بوته نیز در تیمارهای آبیاری کامل و تنش کم آبیاری معنی‌دار بود (جداول ۵ و ۶). بدین معنا که با افزایش وزن بوته گیاه صرف‌نظر از سطوح آبیاری، وزن ۱۰۰ دانه نیز افزایش خواهد یافت. از آنجایی که انتقال ماده خشک در پرکردن دانه‌ها نقش موثری دارد و رفتار اندام‌های هوایی در انتقال مجدد مواد پرورده ذخیره شده به دانه متفاوت می‌باشد، ساقه و برگ‌ها به‌ترتیب نقش بیشتری در انتقال مجدد ماده خشک در راستای پرکردن دانه‌ها ایفا می‌کنند (Shaykewich and Bullock, 2020).

همچنین، نتایج همبستگی نشان داد که سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب در زیره سبز تاثیرگذار بود. به طوری که در هر دو شرایط آبیاری (آبیاری کامل و تنش‌های کم آبیاری) وزن ۱۰۰ دانه و تک بوته زیره سبز تحت تاثیر تراکم گیاه همبستگی قوی و منفی با کارایی مصرف آب داشت. به طوری که با افزایش تراکم میزان کارایی مصرف آب افزوده شد و در شرایط نرمال گیاه زیره سبز میزان آب بیشتری نسبت به شرایط تنش خشکی در ازای مقدار ماده خشک تولید شده مصرف نموده، در نتیجه سبب کاهش بیشتر کارایی مصرف آب شده است (جداول ۴، ۵ و ۶). همچنین در تراکم کمتر و تیمار آبیاری کامل میزان رشد رویشی افزوده شده و همبستگی معنی‌داری و منفی بین اجزای عملکرد (تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، وزن ۱۰۰ دانه و وزن تک بوته) با کارایی مصرف آب طی شرایط تنش مشاهده شد (جداول ۵ و ۶). امین پور و موسوی (Aminpoor and Moosavi, 1995) بیان داشتند آبیاری کامل مزرعه باعث حداکثر تولید محصول بوده و عدم آبیاری در مرحله پر شدن دانه در مقایسه با آبیاری کامل تفاوتی معنی‌داری نشان نداد. همچنین این امر در خصوص تعداد چتر در گیاه، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه نیز صدق نمود. کاهش تعداد چتر در بوته سبب اختصاص مواد فتوسنتزی به تعداد چتر کمتر و تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه افزایش یابد (Aminpoor and Moosavi, 1995). بنابراین، زیره سبز با توجه به پتانسیل ذاتی خود می‌تواند در شرایط تنش خشکی تعداد چتر و بذر بیشتری را به ازای آب مصرفی تولید نماید (Forouzandeh et al., 2015). تاثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز نشان داد می‌توان به‌منظور برداشت دانه در مراحل انتهایی (پر شدن دانه) رشد گیاه بدون آن‌که عملکرد دانه دچار کاهش شود نسبت به قطع آبیاری اقدام نمود و از این‌رو در مصرف آب نیز صرفه‌جویی کرد (Shekofteh and Dehghani Fatehabad, 2016). محققین گزارش کردند آبیاری کامل در مرحله آخر رشد گیاه زیره سبز (مرحله پر شدن دانه) تأثیری در افزایش عملکرد نداشته و تا حدی باعث کاهش آن نیز می‌گردد. در حالی که آبیاری کامل در مراحل قبل از آن (به‌ویژه در مراحل زایشی) باعث افزایش معنی‌دار تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیکی و نهایتاً عملکرد کاه و دانه می‌شود (Ahmadian et al., 2006). بررسی اثر تراکم بوته و تنش آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز نشان داد، در تیمارهای بدون تنش و تنش آبی در انتهای دوره زایشی، رقابتی بین دانه‌ها در جذب مواد فتوسنتزی وجود نداشته و گیاه به‌خوبی فتوسنتز می‌نماید. به طوری که تعداد چتر در گیاه بیش از تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه تحت تاثیر تنش کم آبی قرار می‌گیرد. بنابراین تاثیر تنش بر تعداد چتر در گیاه را می‌توان مهمترین عامل کاهش عملکرد دانه دانست (Nakhzari Moghaddam, 2010).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز
Table 3- Analysis of variance (mean square) of irrigation levels, planting date and density on cumin yield, yield components and water use efficiency

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		تعداد چتر در بوته No. of umbel per plant	تعداد دانه در چتر No. of seed per umbel	وزن ۱۰۰ دانه 100-Seed weight	وزن تک بوته Plant weight	عملکرد دانه Seed Yield	کارایی مصرف آب WUE
Block (بلوک)	2	3.88 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.00192 ^{ns}	0.1869 ^{ns}	1440 ^{ns}	0.01029 ^{ns}
Irrigation (آبیاری)	2	145.25 ^{**}	114.13 ^{**}	0.01887 ^{**}	1.6987 ^{**}	29563 ^{**}	1.7001 ^{**}
Error a (خطای اول)	4	0.42	0.27	0.00055	0.0071	402	0.0618
Date (تاریخ کاشت)	2	853.22 ^{**}	368.92 ^{**}	0.44226 ^{**}	7.4760 ^{**}	27609 ^{**}	6.6072 ^{**}
Irrigation×Date (آبیاری × تاریخ کاشت)	4	7.67 ^{**}	3.98 [*]	0.00341 [*]	1.0700 ^{**}	1768 ^{**}	0.021 ^{ns}
Error b (خطای دوم)	12	0.57	0.87	0.00091	0.0785	115	0.0194
Density (تراکم)	1	216.00 ^{**}	139.97 ^{**}	0.04111 ^{**}	0.1768 ^{**}	78998 ^{**}	7.0706 ^{**}
Density×Irrigation (تراکم × آبیاری)	2	1.63 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.00270 [*]	0.2661 ^{***}	2215 ^{**}	0.214 ^{**}
Density×Date (تراکم × تاریخ کاشت)	2	5.91 [*]	12.54 ^{**}	0.00281 [*]	0.0750 ^{**}	1228 ^{**}	0.0877 [*]
Density×Irrigation×Date (تراکم × آبیاری × تاریخ کاشت)	4	0.33 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.00116 ^{ns}	0.1561 ^{**}	175 ^{ns}	0.0407 ^{ns}
Error c (خطای کل)	18	1.33	0.38	0.00053	0.0095	108	0.0155
CV(%) ضریب تغییرات		17.4	18.4	16.2	16.4	14.6	19.4

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب زیره سبز
Table 4- Mean comparisons for the effects of irrigation levels, planting dates and density on cumin yield, yield components and water use efficiency

آبیاری Irrigation	تاریخ کاشت Planting Date	تراکم Density (plant.m ⁻²)	تعداد چتر در بوته No. of umbel per plant	تعداد دانه در هر چتر No. of seed per umbel	وزن ۱۰۰ دانه 100- seed weight (g)	وزن تک بوته Plant weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب WUE (kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)
I1	Date 1	40	22.06 ^c	16.85 ^b	0.46 ^a	2.57 ^a	326.00 ^c	1.96 ⁿ
		80	27.55 ^a	22.34 ^a	0.32 ^c	1.82 ^b	424.00 ^a	2.55 ^{ef}
	Date 2	40	15.26 ^e	11.74 ^{de}	0.24 ^e	0.63 ^{ef}	264.66 ^{fg}	2.59 ^{ef}
		80	18.33 ^d	14.45 ^c	0.17 ^f	0.26 ^{gh}	369.60 ^b	3.79 ^a
	Date 3	40	6.46 ^{ij}	7.71 ⁿ	0.07 ^{hi}	0.16 ^{gh}	233.33 ^{hi}	2.93 ^{cd}
		80	11.86 ^f	9.96 ^{fg}	0.03 ^j	0.13 ^{gh}	300.00 ^d	3.76 ^a
I2	Date 1	40	19.06 ^d	12.67 ^d	0.39 ^b	1.07 ^{cd}	266.33 ^{fg}	1.65 ^{ij}
		80	24.26 ^b	17.74 ^b	0.35 ^c	1.19 ^c	378.33 ^b	2.35 ^{fg}
	Date 2	40	12.60 ^f	9.11 ^g	0.19 ^f	0.46 ^{fg}	251.33 ^{gh}	2.55 ^{ef}
		80	15.20 ^e	12.15 ^d	0.13 ^g	0.20 ^{gh}	333.10 ^c	3.39 ^b
	Date 3	40	5.60 ^{jk}	6.16 ^j	0.04 ^j	0.12 ^{gh}	202.66 ^{jk}	2.64 ^e
		80	9.46 ^g	7.49 ^h	0.02 ^j	0.11 ^h	275.10 ^{ef}	3.58 ^{ab}
I3	Date 1	40	15.26 ^e	10.77 ^{ef}	0.30 ^{cd}	0.43 ^{gh}	224.66 ^l	1.41 ^j
		80	19.68 ^d	14.91 ^c	0.27 ^{de}	0.86 ^{de}	291.66 ^{de}	1.83 ^{hi}
	Date 2	40	8.93 ^{gh}	6.84 ^{hi}	0.17 ^f	0.30 ^{gh}	219.33 ^{ij}	2.26 ^g
		80	11.56 ^f	10.69 ^{ef}	0.11 ^{gh}	0.15 ^{gh}	266.00 ^{fg}	2.74 ^{de}
	Date 3	40	4.36 ^k	4.34 ^k	0.03 ^j	0.10 ^h	196.00 ^k	2.59 ^{ef}
		80	7.70 ^{hi}	5.44 ^{jk}	0.02 ^j	0.09 ^h	235.00 ^{hi}	3.10 ^c

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

I1: آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، I2: آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، I3: آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی

Date 1: آذر ماه، Date 2: اسفند ماه، Date 3: فروردین ماه

Mean of each group in columns of each treatment with similar letters are not significantly different (Duncan test 5%).

I1: 100 %FC, I2: 75 %FC, I3: 50 %FC, Date1: (December), Date2: (March), Date3: (April).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیک و کارایی مصرف آب زیره سبز در شرایط آبیاری کامل
Table 5- Correlation coefficients of cumin morphological traits and water use efficiency in 100%FC

	1	2	3	4	5	6
1. تعداد چتر در بوته (No. of umbel per plant)	1					
2. تعداد دانه در هر چتر (No. of seed per umbel)	0.97**	1				
3. وزن ۱۰۰ دانه (100- seed weight)	0.77**	0.72**	1			
4. وزن تک بوته (Plant weight)	0.76**	0.75**	0.91**	1		
5. عملکرد دانه Seed yield	0.87**	0.88**	0.45	0.45	1	
6. کارایی مصرف آب (WUE)	-0.40	-0.40	-0.79**	-0.80**	0.03	1

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد می باشد.

** significant at 1 % probability level.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیک و کارایی مصرف آب زیره سبز در شرایط تنش کم آبیاری
Table 6- Correlation coefficients of cumin morphological traits and water use efficiency in 75 and 50%FC

	1	2	3	4	5	6
1. تعداد چتر در بوته (No. of umbel per plant)	1					
2. تعداد دانه در هر چتر (No. of seed per umbel)	0.96**	1				
3. وزن ۱۰۰ دانه (100- seed weight)	0.85**	0.78**	1			
4. وزن تک بوته (Plant weight)	0.79**	0.76**	0.81**	1		
5. عملکرد دانه Seed yield	0.79**	0.82**	0.43**	0.48**	1	
6. کارایی مصرف آب (WUE)	-0.43**	-0.37*	-0.75**	-0.57**	0.18	1

** و * به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشد.

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

نتیجه گیری

مستقیم بر کارایی مصرف آب داشت، درحالی که کاهش میزان بارندگی (آذر و دی ماه) سبب افزایش اجزای عملکرد و کاهش کارایی مصرف آب در زیره سبز شد. نتایج نشان داد عملکرد زیره سبز در کشت پاییزه بیشتر از کشت بهار است. در حالی که در کشت های آخر زمستان و بهار با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع به ترتیب علی رغم کاهش ۲۱/۴۳ و ۳۵/۱۱ درصدی عملکرد دانه، می توان کارایی مصرف آب را افزایش داد. به منظور استفاده بهینه از آب و افزایش کارایی مصرف آب بایستی به موازات کاهش مصرف آب (تبخیر و تعرق) عملکرد محصول افزایش یابد. بنابراین، در مناطق دارای میزان بارندگی مناسب مطابق با نیاز آبی گیاه در فصول پاییز و زمستان می توان کاهش عملکرد را با افزایش تراکم بوته در واحد سطح برطرف نمود. به علاوه، با افزایش تراکم بوته در واحد سطح همراه با آبیاری متوسط (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) در کشت های دیر هنگام (اسفند و فروردین) می توان کاهش عملکرد زیره سبز را با افزایش

تغییر در سطوح آبیاری و در نتیجه تبخیر و تعرق گیاه با توجه به تاریخ های مختلف کاشت و تراکم بوته در واحد سطح می تواند عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز را تحت تاثیر قرار دهد. در کشت زود هنگام (آذر ماه) با افزایش تراکم بوته و سطح آبیاری تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و عملکرد دانه افزایش، اما کارایی مصرف آب در این ماه نسبت به ماه های اسفند و فروردین در هر سه سطح آبیاری کاهش یافت. عملکرد دانه زیره سبز در آخرین تاریخ کاشت (فروردین ماه) با کمترین سطح آبیاری و تراکم به میزان ۵۳/۷۷ درصد نسبت به آبیاری کامل در آذر ماه با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع کاهش یافت. از سویی دیگر، کارایی مصرف آب در تنش کم آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در فروردین ماه با افزایش تراکم به میزان ۵۳/۹۱ درصد بیشتر از سطح آبیاری مشابه در آذر ماه با تراکم کمتر بود. همچنین، افزایش میزان بارندگی (اسفند و فروردین ماه) بر زیست توده گیاه افزود و اثری

References

1. Ahmadian, A., Ghanbari, A., and Galavi, M. 2006. Investigation of water stress levels on yield, yield components, quality and essences of cumin. 9th Congress of Agronomy and Plant Breeding Science of Iran, Abooreihan, Iran. (in Persian).
2. Alizadeh, A. 1995. Water, Soil and Plant Relationship. Astan e Qods Razavi Publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
3. Alizadeh, A., Tavoosi, M., Inanloo, M., and Nasiri Mahallati, M. 2004. Effect of irrigation treatments on yield and yield components of cumin. Agronomy Researchs of Iran 1 (1): 35-42. (in Persian with English abstract).
4. Aminpoor, R., and Moosavi, F. 1995. The effects of irrigation on development stages, yield and yield components cumin seeds. Agricultural and Natural Resources Science 1 (1): 1-8.
5. Andreu, L., Hopmans, J. W., and Schwankl, L. J., 1997. Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. Agricultural Water Management 35: 123-146.
6. Anonymous. 2020. Ministry of Agriculture-Jahad Statistics. Available from: https://www.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&sub=65&tempname=amar&PageID=11583. Accessed 18 February 2020.
7. Askar, M., Yazdan Sepas, A., and Amini, A. 2010. Evaluation of winter and facultative bread wheat genotypes under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. Seed and Plant Improvement Journal 26 (3): 313-329. (in Persian with English abstract).
8. Aslam, M. 2006. Guidelines for cultivation, collection, conservation and propagation of medicinal herbs. Introduction of Medicinal Herbs and Spices, Crop Ministry of Food, Agriculture and Livestock, Islamabad.
9. Ayub, M., Nadeem, M. A., Tanveer, A., Tahir, M., Saqib, M. T. Y., and Nawaz, R. 2008. Effect of different sowing methods and times on the growth and yield of fennel (*Foeniculum vulgare* MILL.). Pakistan Journal of Botany 40: 259-264.
10. Bahraminejad, A., Mohammadi-Nejad, G. H., and Khadir, M. 2011. Genetic diversity evaluation of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) based on phenotypic traits. Australian Journal of Crop Science 5: 301-307.
11. Chandhary, G. R., and Gupta, O. P. 1982. Effect of weed control, sowing method and nitrogen application on growth and quality of cumin (*Cuminum cyminum* L.) Haryana. Agronomy Journal 5: 9-82.
12. Ehteramian, K. 2003. The effects of different levels of nitrogen fertilizer and plant dating on Black Cumin (*Cuminum carvi* L.) in Kooshkak region in the Fars province. Master of Science Thesis of arid area management. Shiraz University. Shiraz.
13. Farrokhinia, M., Roshdi, M., PasebanEslam, B., and Sasandoust, R. 2011. Evaluation of some physiological characteristics on yield of spring safflower under water stress. Iranian Journal of Crop Sciences 42 (3): 545-553. (in Persian).
14. Forouzandeh, M., Karimian, M. A., and Mohkami, Z. 2015. Effect of drought stress and different types of organic fertilizers on yield of cumin components in Sistan region. European Journal of Medicinal Plants 5 (1): 95-100.
15. Ghaderi, Y., and Moghaddam, M. 2015. Effect of different levels of plant density and N fertilizer on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Plant Ecophysiology 23: 104-112. (in Persian with English abstract).
16. Ghamarnia, H., and Jalili, Z. 2013. Water stress effects on different Black cumin (*Nigella sativa* L.) components in a semi-arid region. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (4): 753-762.
17. Ghanbari, J., Khajoeinejad, G., and Mohamadinejad, G. 2014. Casual explanation of threlationships between seed yield and some yield components in cumin (*Cuminum cyminum* L.) different multivariate statistical analysis at different sowing dates. Journal Ethno-pharmacuticale Products 1 (1): 115-22.
18. Harisha, C. B., Asangi, H., Singh, R., Meena, N. K., and Lal, G. 2017. Irrigation Management for Higher Productivity in Seed Spices-A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 2334-2345.
19. He, W., Yang, J. Y., Qian, B., Drury, C. F., Hoogenboom, G., He, P., Lapen, D., and Zhou, W. 2018. Climate change impacts on crop yield, soil water balance and nitrate leaching in the semiarid and humid regions of Canada. PLOS ONE 13 (11): e0207370.
20. Heidari Zolleh, H., Bahraminejad, S., Maleki, G., and Papzan, A. H. 2009. Response of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) to Sowing Date and Plant Density. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5 (4): 597-602.
21. Jangir, R. P., and Singh, R. 1996. Effect of irrigation and nitrogen on seed yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Indian Journal of Agronomy 41: 140-143.
22. Kafi, M. 1990. Effect of weed frequency and density on yield and yield components of cumin. Master of science Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).

23. Kafi, M., Rashed-Mohassel M., Koocheki A. R., and Mollafilabi, A. 2002. Cumin: production and processing technology. Ferdowsi University of Mashhad Press. (in Persian).
24. Kafi, M., Rashed-Mohassel M., Koocheki A. R., and Nassiri, M. 2006. Cumin (*Cuminum cyminum*) production and processing. Science Publishers.
25. Kafi, M., and Keshmiri, A. 2011. Study of yield in landraces and cultivars of Hindi cumin (*Cuminum cyminum*) in dry and saline conditions. Journal of Horticultural Science 25 (3): 327-334. (in Persian).
26. Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Teixeira da Silva, J. A., Rezvani-Moghaddam, P., and Kafi, M. 2011. Fungal diseases and inappropriate sow-ing dates, the most important reducing factors in cumin fields of Iran, a case study in Khorasan provinces. Crop Protection 30: 208-215.
27. Khajehpour, M. R. 2008. The principles of agriculture. Jahad-e Daneshgahi Publication, Isfahan.
28. Khosh-Khui, M., and Bonyanpour, A. R. 2006. Effects of some variables on seed germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.). International Journal of Agricultural Research 1: 20-24.
29. Kizil, S., Arslan, N., and Ipek, A. 2003. A research on adaptation of different cumin (*Cuminum cyminum* L.) lines in Diyarbakir ecological conditions. The Agricultural Science Journal 9 (3): 340-343.
30. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Nadjafi, F. 2004. The agrobiodiversity of medicinal and aromatic plants in Iran. Iranian Field Crop Research 2: 208-216. (in Persian).
31. Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., and Mohammadi-Nejad, G. 2016. Evaluation of relationships between morphological traits and grain yield in Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under normal and drought conditions. Journal of Crop Breeding 8 (18): 160-165. (in Persian).
32. Leung, J., and Griaudat J. 1998. Absciscic acid signal transduction. Plant Physiology 49: 199-222.
33. Mashayekhi Sardooyi, A., Shirzadi, M. H., and Naghavi, H. 2011. Effect of planting date and plant density on yield and yield components of green cumin (*Cuminum cyminum* L.). Middle-East Journal of Scientific Research 9 (6): 773-777.
34. Momoh, E. J. J., and Zhou, W. 2001. Growth and yield responses to plant density and stage of transplanting in winter oilseed ape (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Crop Science 186: 253-259.
35. Motamedi-Mirhosseini, L., Mohammadi-Nejad, G., Bahraminejad, A., Golkar, P., and Mohammadinejad, Z. 2011. Evaluation of cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces under drought stress based on some agronomic traits. African Journal of Plant Science 5: 749-752.
36. Nakhzari Moghaddam, A. 2010. The Effect of water stress and plant density on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum*). Iranian Journal of Field Crop Science 40 (3): 63-69.
37. Nezami, A., Eyshi Rezaei, E., Khorasani, Z., Khorramdel, S., and Bannayan, M. 2011. Evaluation of the impacts of fall sowing dates on different ecotypes of cumin (*Cuminum cyminum* L., Apiaceae) productivity in northeast of Iran. Notulae Scientia Biologicae 3 (4): 123-128.
38. Rahimian Mashhadi, H. 1992. Effect of planting date and irrigation regime on growth and yield of cumin. Journal of Agricultural Science (university of Tabriz) 3: 46-61. (in Persian with English abstract).
39. Rasam, G. H., Ndaf, M., and Sefid Con, F. 2007. Effect of planting date and plant density on seed yield and yield components of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Pajouhesh-va-Sazandegi Journal 75: 128-133. (in Persian with English abstract).
40. Rezvani Moghaddam, P., Huda, A. K. S., Parvez, Q., and Koocheki, A. 2007. Indigenous knowledge in agriculture with particular reference to medicinalcrop production in Khorasan, Iran. In: Fifth International Conference, Jointly Organised by the World Association for Sustainable Devel-opment (WASD) and Griffith University, Griffith University, Brisbane, Australia.
41. Roustakhiz, J., and Raissi, A. 2017. Properties, cultivation method and requirements of cumin (*Cuminum cyminum* L.) - an overview. International Journal of Farming and Allied Sciences 6 (1): 24-29.
42. Sadeghi, B., and Rashed-Mohassel, M. 1991. Effect of nitrogen and irrigation on cumin production. Iranian Research Organization for Science and Technology 77-80. (in Persian).
43. Sadeghi, S., Rahnavard, A., and Ashrafi, Z. Y. 2009. Study importance of sowing date and plant density affect on black cumin (*Cuminum carvi*) yield. Botany Research International 2 (2): 94-98.
44. Safari, B., Mortazavian, S. M. M., Sadat Noori, S. A., and Foghi, B. 2017. Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. Journal of Plant Production Research 23 (4): 185-204.
45. Samadzadeh, A., Fallahi, H. R., Zamani, G., Nakhaie, S., Aghhavani-Shajari, M., and Amirizadeh, A. 2016. Impact of super absorbent polymer and irrigation management on seed and essential oil yields of cumin. Journal of Medicinal Plants and By-products 2: 145-152.
46. Seckler, D., Molden, D., and Sakthivadivel, R. 2002. The concept of efficiency in water resource management and policy. In water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement. Ed. Kijne JW. Wallingford. UK. CABI.
47. Senyigit, U., and Arslan, M. 2018. Effects of irrigation programs formed by different approaches on the yield and water consumption of black cumin (*Nigella sativa* L.) under transition zone in the west anatolia conditions. Journal of Agricultural Sciences 24: 22-32.

48. Shaykewich, C. F., and Bullock, P. R. 2020. Modeling Canola Phenology. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate* 60: 303-325.
49. Shekofteh, H., and Dehghani Fatehabad, R. 2016. Effect of water stress and potassium on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Plant Production Technology* 16 (2):167-178. (in Persian with English abstract).
50. Stewart, J. I., Cuenca, R. H., Pruitt, W. O., Hagan, R. M., and Tosso, J. 1977. Determination and utilization of water production functions for principal California crops. W-67 California Contribution Projects. University of California.
51. Tatari, M. 2004. The effect of different levels of salt and irrigation times on growth and yield of cumin. Master of science Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
52. Tavoosi, M. 2001. The effect of irrigation regimes on yield and yield components of *Cuminum cyminum*. Master of science Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
53. Yazdani Chamheidary, Y., Ramroudi, M., and Asgharipour, M. R. 2014. Evaluation the effects of drought stress on yield, yield components and quality of (*Cuminum cyminum* L.) under Fe and Zn foliar spraying conditions. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology* 1 (3): 81-96. (in Persian).
54. Yadav, R. S., and A. K. Dahama, 2003. Effect of planting date, irrigation and weed control method on yield and water use efficiency of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 73 (9): 494-496.



Effects of Planting Date and Deficit Irrigation on Water Use Efficiency of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) at two different Densities in Mashhad Conditions

K. Hajmohammadnia Ghalibaf^{1*}, M. Bannayan Aval², M. H. Rashed Mohassel², N. Valaei³, F. Yaghoubi⁴, Z. Rashidi⁵

Received: 14-10-2019

Accepted: 16-05-2020

Introduction

Supplies of irrigation water are severely limited and water use efficiency (WUE) has become more vital, especially for valuable drought tolerant plants. Green cumin (*Cuminum cyminum* L.) is a medicinal and spices plant adapted to arid and semi-arid regions such as Iran. Planting date, irrigation and plant density can affect quality and quantity of cumin. Seed yield of cumin decreases by increasing water deficit, despite absorbing water even in very low water potentials. Changes in planting date can also affect water use efficiency due to rainfall and evapotranspiration (ET) differences between each season. Therefore, crop yield should increase in parallel with decreasing water consumption (or evapotranspiration) for optimal water use and increasing WUE. Additionally, different plant densities and late or early planting dates could affect morphological traits and grain yield.

Materials and Methods

In order to study the effects of planting date, deficit irrigation and plant density on yield, yield components and WUE of cumin, a field experiment was conducted as split-split plot based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad during growing season of 2017-2018. The main plots were irrigation levels including 100, 75 and 50% field capacity (FC). Three planting dates were studied in the split plots (December, March and April) and two plant densities (40 and 80 plant m⁻²) arranged as split-split plots. Soil moisture content was determined a day before and two days after each irrigation with TDR. Then, irrigation was done based on treatments during the growth period. Number of umbel per plant, number of seed per umbel, 100-seed weight, plant weight, seed yield and WUE were measured at the end of growing season. Analysis of variance were calculated using R software and Duncan's multiple range test was used at 5% probability level to compare the averages.

Results and Discussion

The results showed that the full irrigation (100% FC) of cumin in December with 80 plants m⁻² had the highest number of umbel per plant, number of seed per umbel and seed yield, whereas, 100-seed weight and plant weight increased and WUE decreased with decreasing density (40 plants m⁻²) under 100%FC during December. The lowest seed yield were obtained from 75 and 50% FC in April with 40 plants m⁻² (53.77% and 52.20% respectively) compared with December with 100% FC and 80 plants m⁻². Seed yield were decreased by irrigation levels of 100 and 75% FC in March and April with 80 plants m⁻² 12.83, 29.24, 21.43 and 35.11%, respectively compared with 100% FC in December (80 plants m⁻²), despite the highest WUE. Therefore, increasing plant density with medium irrigation in late planting dates (March and April) can partially compensate decreasing cumin seed yield by increasing WUE. The correlation analysis showed that 100-seed weight and plant weight had significant negative correlation with WUE in full irrigation and two levels of water deficit. However, there was no significant correlation between WUE and seed yield under both levels of water deficit and full irrigation conditions.

Conclusions

The results of this study indicate that seed yield can be improved by increasing plant density when rainfall is proportional to plant water requirement in autumn and winter. In addition, increasing plant density in medium irrigation (75% FC) conditions in late planting dates (March and April) can increase WUE and produce high economic value.

Keywords: Field capacity, Number of umbel per plant, Row spacing, Seed yield, Water stress

1- Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

3- PhD. student of Weed Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- PhD. student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

5- PhD. student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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



مقاله علمی-پژوهشی

اثر تراکم کاشت بر میزان جذب و کارایی مصرف تشعشع ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط کشت مستقیم

فرزین پورامیر^۱، بیژن یعقوبی^۲، یاسر علی‌زاده^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷

چکیده

به منظور بررسی میزان جذب و کارایی مصرف نور و همچنین تعیین ضریب استهلاک نوری در سه ژنوتیپ برنج در تراکم‌های مختلف کشت مستقیم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل پنج تراکم بذر (۶۵، ۸۰، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) و سه ژنوتیپ برنج (لاین امید بخش طاهر، رقم آنام و رقم هاشمی) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در رقم طاهر (۶۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم آنام (۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار به دست آمد ولی بیشترین عملکرد دانه در رقم هاشمی (۵۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد. در این تحقیق، بیشترین (۳/۰۶ گرم بر مگاژول PAR) و کمترین (۲/۲۰ گرم بر مگاژول PAR) میزان کارایی مصرف نور به ترتیب در تراکم‌های ۹۵ و ۱۲۵ کیلوگرم لاین طاهر مشاهده شد. دو ژنوتیپ آنام و طاهر در تراکم ۹۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با ۷۷۳ و ۸۵۲ مگاژول PAR بر متر مربع و رقم هاشمی در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار با ۸۸۰ مگاژول PAR بر متر مربع، بالاترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد را داشتند. افزایش تراکم تا سطح مطلوب در ارقام برنج باعث افزایش جذب و همچنین کارایی مصرف نور گردید. بین جذب و کارایی نور با عملکرد زیستی و دانه ارقام برنج همبستگی مثبتی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: رقم هاشمی، سایه‌اندازی، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور

مقدمه

(et al., 2002) و همچنین سرعت فتوسنتزی بالاتر در تک برگ (Wang et al., 2006) می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که تقریباً تمامی عوامل موثر بر افزایش عملکرد در گیاه برنج به دلیل افزایش جذب و کارایی مصرف نور می‌باشد (Zhang et al., 2009).

در شرایط مطلوب زراعی و بدون هیچ عامل محدودکننده رشد، شیب رگرسیون خطی بین جذب تشعشع تجمعی و بیوماس تولیدی گیاه، کارایی مصرف نور را تعیین می‌کند (Tsubo et al., 2001). کسری از تشعشع نوری که توسط گیاه جذب می‌شود در طول رشد گیاه متغیر بوده و به شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌های گیاه وابسته است (Zhang et al., 2008). اختلاف آرایش برگ‌ها که توسط ضریب استهلاک نوری (K) شرح داده می‌شود به همراه شاخص سطح برگ، اختلاف جذب تشعشع نوری را در شرایط مختلف مشخص می‌کند (Kineri et al., 1999). افزایش شاخص سطح برگ امکان جذب نور را افزایش می‌دهد اما هم‌زمان، سایه‌اندازی متقابل برگ‌ها بر روی یکدیگر قابلیت استفاده از نور را کاهش می‌دهد. این عامل موجب کاهش تصاعدی نور می‌گردد که به وسیله قانون لامبرت- بیر شرح داده می‌شود (Marcelis et al., 1998). یکی از راهکارهای اصلی برای افزایش عملکرد، بهینه‌سازی جذب نور از طریق شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور بیان شده است

برنج (*Oryza sativa* L.) یک منبع اصلی غذایی در آسیا بوده که ۳۸/۵ درصد سطح زیر کشت و حدود ۴۸ درصد تولید غلات در آسیا را دارد بنابراین بهبود عملکرد این گیاه با استفاده از روش‌های مختلف برای تامین غذای جمعیت روبه رشد بخصوص در قاره آسیا بسیار مهم است (Huang et al., 2017). برای دستیابی به این میزان افزایش عملکرد، باید تلاش‌های زیادی در جهت اصلاح ارقام جدید با پتانسیل عملکرد بالاتر انجام شود (Peng et al., 2009). به طور کلی، خصوصیات مختلفی برای تولید دانه بالاتر در ارقام پر محصول برنج ذکر شده است که برخی از آن‌ها شامل تولید زیست‌توده بیشتر (Wu, 2009)، شاخص سطح برگ بالاتر (Huang et al., 2017)، دوام سطح برگ بیشتر (Katsura et al., 2008)، پنجه‌زنی بیشتر (Wang

۱- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲- دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

(Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.85482

(Awal et al., 2006). ارقام جدید برنج از کارایی جذب و مصرف نور بالاتری برخوردار بوده که این موجب عملکردهای بالاتر این ارقام می‌گردد (Liu et al., 2019). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2009) مشاهده کردند که تولید بیوماس بیشتر در برنج سوپر هیبرید در مقایسه با برنج هیبرید معمولی به دلیل کارایی مصرف نور بالاتر آن بود. در آزمایشی مشابه، هوانگ و همکاران (Huang et al., 2016) مشاهده کردند که عملکرد رقم سوپر هیبرید ۱۱ درصد بیشتر از هیبرید معمولی بود. این درحالی بود که شاخص برداشت دو رقم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت و فقط افزایش بیوماس منجر به این اختلاف شده بود. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که بهبود خصوصیات فتوسنتزی برگ از قبیل محتوای کلروفیل a و آنزیم رابیسکو در برنج سوپر هیبرید منجر به افزایش کارایی مصرف نور و در نتیجه عملکرد آن شده است. همچنین وانگ و همکاران (Wang et al., 2016) یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد برنج در شرایط گرمسیری را کاهش کارایی مصرف نور عنوان کردند. کارایی مصرف نور علاوه بر ژنوتیپ تحت تاثیر مدیریت‌های زراعی نیز قرار می‌گیرد یکی از مدیریت‌هایی که با اثر بر شاخص سطح برگ، میزان جذب و کارایی مصرف نور را تحت تاثیر قرار می‌دهد تراکم کاشت می‌باشد (Holshouser and Wittaker, 2002; Purcell et al., 2002). تراکم کاشت با اثر بر شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی برگ و زمان ایجاد پوشش کامل در سطح خاک، میزان جذب نور توسط گیاه و کارایی استفاده از آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Purcell et al., 2002). دو عامل ژنوتیپ و تراکم کاشت، بر ضریب استهلاک نوری و شاخص سطح برگ غلات اثر گذاشته و در نتیجه میزان نور جذب شده توسط گیاه را تحت تاثیر قرار داده و می‌تواند بر کارایی نور نیز تاثیرگذار باشد (Gallagher et al., 1978; Kiniry et al., 1999). تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و عملکرد برنج از طریق افزایش تراکم گیاهی افزایش می‌یابد (Chen et al., 2009; Lin et al., 2019). هر چند با افزایش بی‌رویه تراکم ممکن است نفوذ نور به لایه‌های پایینی کانونی کاهش یابد که این عمل منجر به پیری زودرس برگ‌های پایینی و در نتیجه کاهش کارایی مصرف نور می‌گردد (Liu et al., 2019). مقدار تشعشع دریافتی توسط گیاهان یکی از عوامل کلیدی برای تولید ماده خشک است که خود تحت تاثیر شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی می‌باشد (Sinclair, 2006). در مطالعات مختلفی بیان شده است که کارایی مصرف نور در برنج تحت تاثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد (Xu et al., 1997; Sanoh et al., 2002) و همچنین بیان شده است که در ارقام جدید برنج ضریب خاموشی از ارقام قدیمی‌تر، کوچک‌تر است (Saitoh et al., 1990). الگوی کشت مستقیم و تراکم کاشت می‌تواند بر میزان ضریب خاموشی و میزان جذب نور توسط گیاه برنج اثر داشته باشد (Sanoh et al., 2004). سانو و

همکاران (Sanoh et al., 2006) در بررسی اثر تراکم بر ضریب خاموشی و میزان جذب نور در گیاه برنج در شرایط کشت مستقیم بیان کرده‌اند که در شرایط تراکم بالاتر میزان جذب نور در برنج افزایش یافته و از طرفی میزان ضریب خاموشی گیاه کوچک‌تر می‌گردد. همچنین این محققین بیان داشتند که در شرایط کشت مستقیم به دلیل پنجه‌زنی بیشتر گیاه برنج به‌ویژه تا مرحله پنجه‌زنی فعال، میزان جذب نور در تراکم ثابت نسبت به کشت نشایی بالاتر است. از طرفی دیگر، کمانیان و همکاران (Kemanian et al., 2004) بیان کردند که اثر تراکم بر میزان ضریب خاموشی گیاه جو بی‌تاثیر بود. به هر حال بررسی‌ها نشان می‌دهد که درباره میزان جذب نور، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور که جزو عوامل اثرگذار بر عملکرد گیاه برنج می‌باشند، در شرایط کشت مستقیم به‌خصوص در ایران اطلاعات کمی وجود دارد و از آن‌جایی که یکی از مهم‌ترین راهکارهای انتخاب رقم مناسب و تعیین تراکم مطلوب در شرایط کشت مستقیم برنج، مطالعه میزان جذب نور در طول فصل رشد گیاه می‌باشد (Sanoh et al., 2004)، در این تحقیق سعی شده است تا میزان جذب و کارایی مصرف نور و همچنین ضریب استهلاک نوری در ارقام جدید و قدیم برنج در تراکم‌های مختلف کشت مستقیم در شرایط آب و هوایی شهرستان رشت ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات آزمایش

به‌منظور بررسی اثر تراکم و ژنوتیپ بر میزان جذب نور، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در گیاه برنج آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل پنج تراکم بذر (۶۵، ۸۰، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) و سه ژنوتیپ برنج (لاین امید بخش طاهر، رقم آنام و رقم هاشمی) بودند.

آماده‌سازی زمین و نهاده‌های مصرفی

آماده‌سازی زمین شامل انجام شخم اول در نیمه اول فروردین، شخم دوم در اواخر فروردین و تسطیح هفت روز قبل از بذرپاشی بود. پس از آماده‌سازی زمین، کرت‌هایی به ابعاد ۳×۵ متر ایجاد گردید. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. (کشت بذرهای جوانه‌دار شده در هر کرت بر اساس تراکم مدنظر به‌صورت دست‌پاش و بدون ردیف بود). تمامی بذور قبل از کاشت پیش‌جوانه‌دار شدند. به‌منظور پیش‌جوانه‌دار کردن بذور، ابتدا آن‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در آب ولرم غوطه‌ور کرده و سپس به مدت یک تا دو روز در شرایط گرم و مرطوب (داخل گونی‌های کفی مرطوب) قرار داده تا جوانه‌زنی انجام گیرد و پس از آن، بذور جوانه‌زده

کودهای فسفات و پتاسه در مرحله آماده‌سازی زمین به کرت‌های مورد نظر اضافه شدند. کود نیتروژنه در چهار مرحله (۴۰ درصد ۲۰ روز پس از کاشت، ۲۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی، ۲۰ درصد در مرحله ساقه‌رفتن و ۲۰ درصد در مرحله خوشه‌دهی) به صورت سرک اعمال گردید. به منظور مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج نیز، گرانول‌پاشی حشره‌کش دیازینون ۱۰ درصد به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار طی دو نوبت انجام شد.

به صورت دستپاش در کرت‌های مورد نظر پاشیده شدند. به منظور کنترل علف‌های هرز از علف‌کش کانسیل (به صورت خاک‌پاش) پنج روز قبل از بذریابی و کلین‌وید (به صورت برگ‌پاش) در مرحله سه تا چهار برگی علف‌های هرز استفاده گردید. به منظور تعیین میزان کودهای مصرفی، ابتدا نمونه‌های خاک از مزرعه آزمایشی مورد نظر تهیه شده و پس از تعیین میزان عناصر غذایی موجود در آن در آزمایشگاه خاک‌شناسی بخش خاک و آب موسسه تحقیقات برنج (جدول ۱)، اقدام به کوددهی شد. تمامی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Physical and chemical characteristics of soil

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)	بافت خاک Soil texture
0.92	7.49	2.11	0.2	6.7	191	Silty Clay

محاسبات بخش نور

با توجه به معادله ۱ و با داشتن شاخص سطح برگ و اندازه‌گیری نور در بالا و پایین کانوپی، ضریب استهلاک نوری (K) با رگرسیون‌گیری از لگاریتم طبیعی مقدار نور عبور کرده (I_i / I_0) در مقابل شاخص سطح برگ به دست آمد. (Keating and Carberry, 1993).

$$\frac{I_i}{I_0} = e^{-k \cdot LAI} \quad (1)$$

I_0 : مقدار تشعشع در بالای کانوپی، I_i : مقدار تشعشع در پایین کانوپی، K: ضریب استهلاک نوری، LAI: شاخص سطح برگ.

برای محاسبه کارایی مصرف نور، میزان شاخص سطح برگ روزانه و همچنین تشعشع جذب شده روزانه برآورد شد. بدین منظور مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (معادله ۲) به مقایر LAI اندازه‌گیری شده (Y) تعیین گردید (Tsubo et al., 2005).

معادله ۲، $y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d)) / (1 + \exp(-(x-c)/d))^2$ (۲)
در معادله ۲، a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

میزان تشعشع خورشیدی روزانه بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت (واقع در مجاورت مزرعه تحقیقاتی مورد نظر)، به روش گودریان و وان‌لار (Goudriaan and Van Laar, 1993) محاسبه شد و تشعشع جذب شده روزانه بر اساس معادله (۳) محاسبه شد.

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - P) \times (1 - \exp(-K \times LAI)) \quad (3)$$

نمونه‌برداری‌ها

نمونه‌برداری از ۲۵ روز پس از سبز شدن تا زمان برداشت هر دو هفته یک‌بار (پنج مرحله) انجام شد. نمونه‌برداری‌ها با کوادرات‌های 0.5×0.5 متر به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک ارقام برنج در تراکم‌های مختلف انجام گرفت. هم‌زمان و در همان مکان نمونه‌گیری‌ها و قبل از برداشت نمونه‌ها، اندازه‌گیری تشعشع بالا و زیر تاج پوشش گیاه برنج به وسیله دستگاه نورسنج (مدل LI-250) انجام گرفت و میزان تشعشع کل در بالا (کل نور رسیده به سطح کانوپی I_0) و زیر کانوپی گیاهان (نور عبور یافته I_i) اندازه‌گیری شد. به منظور کاهش خطا زمان تمامی نمونه‌برداری‌های نوری ساعت ۱۱ صبح الی ۲ بعدازظهر بود. در هر کوادرات نمونه‌برداری، چهار بار اندازه‌گیری نور (مراحل اندازه‌گیری نور بر اساس مقیاس BBCH شامل مرحله پنجه‌زنی، مرحله طویل شدن ساقه، مرحله آبستنی، مرحله گل‌دهی (Lancashire et al., 1991)). در زیر پوشش گیاهی (حدوداً ۱۰ سانتی‌متری سطح زمین) انجام می‌گرفت که دو بار در یک جهت و دو بار دیگر عمود بر آن‌ها انجام شد و میانگین این چهار اندازه‌گیری به عنوان تشعشع عبور یافته به زیر کانوپی ثبت گردید (Sanoh et al., 2006). در مرحله برداشت پس از حذف اثر حاشیه، ابتدا نمونه‌گیری با کوادرات‌های یک مترمربعی از نیمه دست نخورده هر کرت آزمایشی انجام گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی برنج اندازه‌گیری شده و شاخص برداشت برنج نیز محاسبه شد. تاریخ برداشت لاین طاهر، ۹۸/۵/۱۹ و ارقام آنام و هاشمی ۹۸/۵/۲۲ بود. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Li-cor) استفاده شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گرفتند.

در این معادله، I_{abs} : نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، I_0 : نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P : ضریب انعکاس که ۰/۰۶ منظور شد، K : ضریب خاموشی گیاه برنج بود و LAI : شاخص سطح برگ است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab. Ver 16 استفاده شده و مقایسه میانگین آماری با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. رسم شکل‌ها در محیط نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

به منظور بررسی شاخص سطح برگ در تمامی فصل رشد برازش داده‌ها انجام شد تا روند تغییرات آن به طور دقیق‌تر بررسی گردد. روند شاخص سطح برگ در همه تیمارها مشابه بود (شکل ۱) و تقریباً در ۷۰ روز پس از سبز شدن بالاترین شاخص سطح برگ در همه رقم‌ها ثبت شد (شکل ۱). بالاترین شاخص سطح برگ (۵/۶۳) در رقم هاشمی و در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار در ۷۰ روز پس از سبز شدن مشاهده شد و در همین مرحله، کمترین شاخص سطح برگ (۴/۲۱) مربوط به رقم طاهر در تراکم ۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. اندازه شاخص سطح برگ در اندازه‌گیری‌های اول (۲۵ و ۴۰ روز پس از سبز شدن) در تمامی ارقام کاملاً از تراکم تبعیت کرده به طوری که با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت ولی در ۷۰ روز پس از سبز شدن که شاخص سطح برگ حداکثری ثبت شد، در رقم آنام تراکم ۹۵ (۵/۶۸) در رقم هاشمی تراکم ۱۱۰ (۵/۶۳) و در رقم طاهر تراکم ۹۵ (۴/۹۰) کیلوگرم در هکتار، بالاترین شاخص سطح برگ را داشتند. اگرچه سرعت افزایش شاخص سطح برگ در تمامی ارقام در تراکم‌های بالاتر در مراحل اول بیشتر بود اما بعد از رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ بین تراکم‌های ۹۵ تا ۱۲۵ کیلوگرم تفاوت معناداری مشاهده نشد. نتایج حاصل نشان داد که سرعت افزایش شاخص سطح برگ در رقم آنام کندتر از دو رقم دیگر بود اگرچه در زمان حداکثر شاخص سطح برگ یعنی حدود ۶۰ تا ۷۵ روز پس از سبز شدن اختلافی بین حداکثر شاخص سطح برگ در آنام و دیگر ارقام مشاهده نگردید (شکل ۱).

حدوداً در تمامی ارقام، ۳۵ روز پس از سبز شدن افزایش شاخص سطح برگ سرعت پیدا کرده و این سرعت افزایش در تراکم ۹۵ و ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار بیشتر بوده و باعث ثبت بالاترین شاخص سطح برگ‌ها در این دو تراکم در تمامی ارقام گردید در حدود ۵۵ روز تا ۷۵ روز پس از سبز شدن شاخص سطح برگ در بالاترین میزان هر رقم و تراکم قرار داشته و پس از آن روند کاهشی پیدا کرد اگرچه روند

کاهشی در تراکم‌های ۶۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار چندان متفاوت نبود اما در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار سرعت بیشتری داشت (شکل ۱). علا و همکاران (Ala et al., 2015) در بررسی کارایی مصرف نور در ارقام برنج در شرایط تداخل علف هرز در استان مازندران، شاخص سطح برگ برنج را در شرایط کشت مستقیم در ارقام مورد مطالعه ۴ تا ۵/۷ گزارش کردند که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت داشت. همچنین ایشان عنوان کردند که رقم طارم سرعت بالاتری در افزایش شاخص سطح برگ داشت که اختلاف سرعت افزایش سطح برگ در این مطالعه نیز مشاهده گردید به طوری که رقم طاهر به طور مشخص سرعت کمتری در افزایش شاخص سطح برگ به خصوص در اوایل رشد نسبت به رقم هاشمی داشت. سرعت بسته شدن شاخص سطح برگ در تراکم‌های پایین‌تر، کم‌تر بود به عبارتی تراکم‌های بالاتر بیش از آن که بر اندازه نهایی شاخص سطح برگ اثرگذار باشد بر سرعت رسیدن به شاخص نهایی تاثیر داشت. در یک مطالعه با بررسی اثر تراکم بر کارایی مصرف و جذب نور در برنج گزارش گردید که سرعت افزایش شاخص سطح برگ در تراکم‌های بالا، بیشتر بود و از طرفی روند کاهش شاخص سطح برگ در اواخر دوره رشد در تراکم‌های بالاتر نیز سرعت بیشتری داشت (Sanoh et al., 2006).

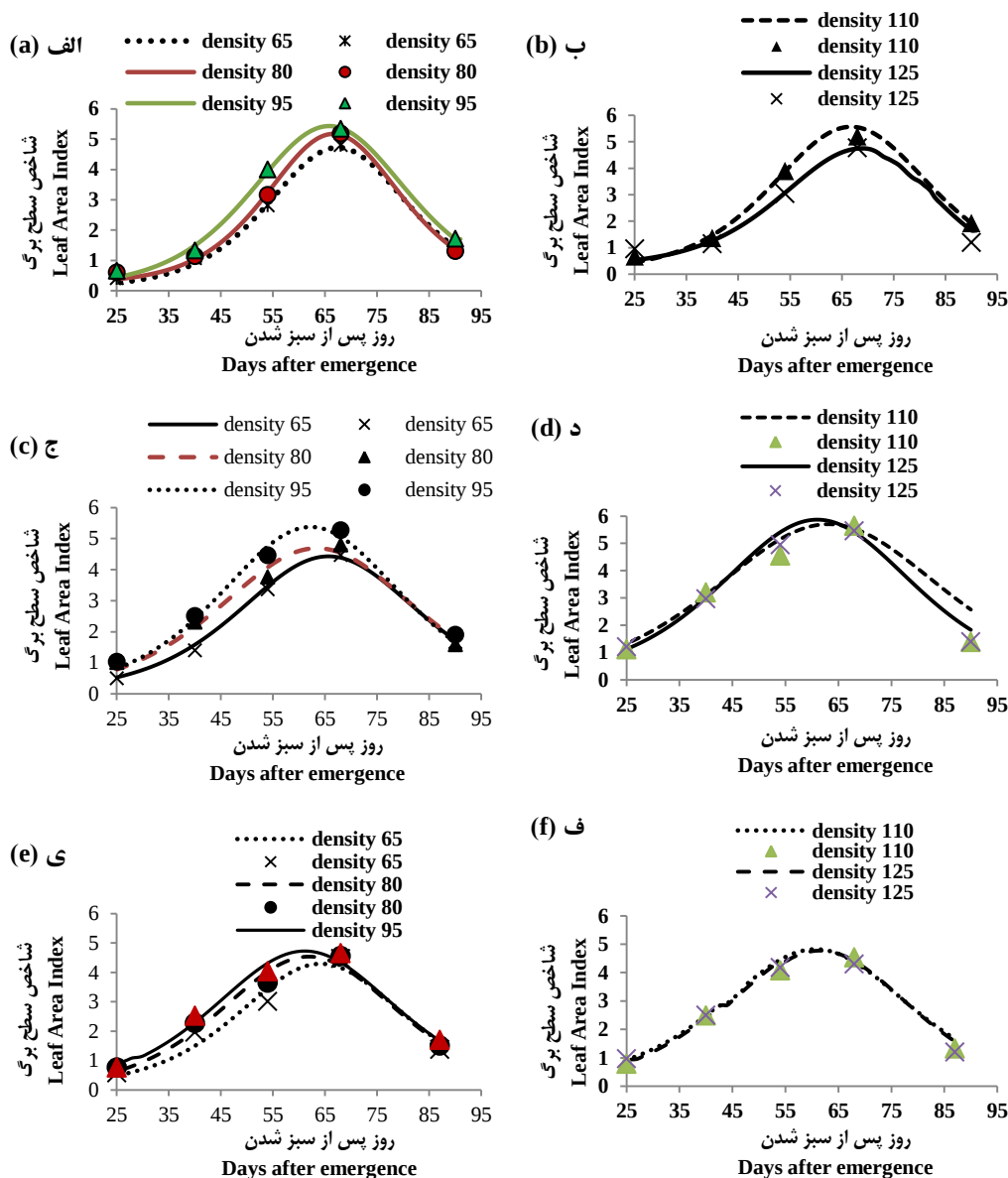
ضریب خاموشی نور

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تراکم و رقم و اثر متقابل این دو بر ضریب خاموشی نور بی‌تاثیر بود (جدول ۲). معادله ۱ به خوبی تغییرات نور عبور یافته نسبت به کل نور رسیده به کانوپی را در برابر شاخص سطح برگ توجیه کرد (جدول ۳). میزان ضریب خاموشی به دست آمده در این آزمایش در ارقام و تراکم‌های مختلف در بازه ۰/۴ تا ۰/۵ متغیر بود و اگرچه اختلاف معناداری در داده‌ها مشاهده نشد ولی رقم طاهر از نظر ضریب خاموشی نور بالاتر بود و با افزایش تراکم نیز تا حدودی افزایش ضریب خاموشی مشاهده گردید به طوری که بالاترین میزان ضریب خاموشی در رقم طاهر با تراکم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید که البته با دیگر تیمارها اختلاف معنادار نداشت (جدول ۳).

در منابع مختلف ضریب خاموشی گیاه برنج از ۰/۳۰ (Dingkuhn et al., 1999) تا ۰/۶۸ (Kampbel et al., 2001) و ۰/۷۱ (Ala et al., 2015) گزارش شده است. از آنجایی که یکی از والدین رقم آنام رقم بومی هاشمی بوده و اصلاح طاهر نیز از طریق ایجاد موتاسیون در رقم محلی طارم بوده است و هدف از اصلاح آن‌ها بیشتر حفظ خصوصیات کیفی آن‌ها بوده تا عملکرد، از این رو این ارقام در خصوصیات مانند ضریب خاموشی که به نوع توزیع برگ‌ها مرتبط است با یکدیگر اختلاف چندانی نداشتند. علا و همکاران (Ala et al., 2015) ضریب خاموشی برنج را ۰/۴۴ تا ۰/۷۱ اعلام کردند و

نتیجه در این آزمایش مشاهده نشد. کمانیان و همکاران (Kamanian *et al.*, 2004) نیز گزارش کردند که اثر رقم، تاریخ کاشت و تراکم بر ضریب خاموشی جو بی‌تاثیر بود.

گزارش کردند که دو ژنوتیپ لاین ۸۴۳ و رقم خزر اختلاف معناداری از نظر ضریب خاموشی نداشتند. سانو و همکاران (Sanoh *et al.*, 2006) در بررسی ضریب خاموشی برنج گزارش کردند که در شرایط افزایش تراکم، ضریب خاموشی گیاه کاهش می‌یابد، که البته این



شکل ۱- روند شاخص سطح برگ ارقام آنام (الف و ب)، هاشمی (ج و د) و طاهر (ی و ف) در تراکم‌های مختلف. (خطوط، داده‌های برازش یافته و نقاط داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند)

Figure 1- Leaf area index (LAI) trend of Anam (A and B), Hashemi (C and D) and Taher (E and F) Cultivars at different densities. (The lines are fitted data and the points are measured data)

مشاهده نشد (جدول ۲). بالاترین میزان عملکرد زیستی با ۱۳ تن در هکتار در رقم طاهر و تراکم ۹۵ کیلوگرم مشاهده شد و کمترین میزان عملکرد زیستی با ۱۰/۲ تن در هکتار در رقم آنام و تراکم ۶۵ کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۴).

عملکرد زیستی، دانه و شاخص برداشت

اثر اصلی تراکم در سطح یک درصد و اثر متقابل رقم و تراکم در سطح پنج درصد بر عملکرد زیستی گیاه برنج معنادار بود و همچنین بین ارقام برنج از نظر عملکرد زیستی تفاوت معناداری از نظر آماری

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و تراکم بر ضریب خاموشی، کارایی مصرف نور، عملکرد اقتصادی، زیستی و شاخص برداشت برنج

Table 2- Analysis of variance results of effect density and cultivar on light extinction coefficient, radiation use efficiency, seed and biological yield and harvest index of rice

منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ضریب خاموشی نور Light extinction coefficient	کارایی مصرف نور Radiation use efficiency	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replicate	2	0.0051ns	0.0121**	3556.95ns	124.68ns	6.1555ns
وارسته Cultivar	2	0.0171ns	0.301**	7247.35ns	2345.75ns	5.9555ns
تراکم Density	4	0.0022ns	0.407**	41089.61**	9812.20**	17.8000**
وارسته*تراکم Density*Cultivar	8	0.0003ns	0.071**	11838.57*	2388.61*	2.0666ns
اشتباه Error	28	0.0221	0.009	3912.40	924.59	2.7746
ظریب تغییرات C.V		8.0	10.4	5.5	5.6	3.4

ns, * and **: به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۳- برآورد ضریب خاموشی از معادله $I/I_0 = \exp(-k \cdot LAI)$ در سطوح مختلف تراکم و رقم در گیاه برنجTable 3- Estimation of extinction coefficient by equation $I/I_0 = \exp(-k \cdot LAI)$ at different levels of density and cultivars in rice plant

رقم Cultivar	تراکم Density	تعداد نمونه n	K±SE	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R ²
آنام Anam	65	15	0.41±0.014	0.022	0.99
	80	15	0.41±0.008	0.019	0.99
	95	15	0.42±0.017	0.017	0.97
	110	15	0.42±0.019	0.042	0.98
	125	15	0.44±0.009	0.062	0.96
هاشمی Hashemi	65	15	0.42±0.011	0.052	0.89
	80	15	0.44±0.013	0.057	0.88
	95	15	0.45±0.023	0.029	0.88
	110	15	0.47±0.027	0.036	0.93
	125	15	0.47±0.022	0.042	0.89
طاهر Taher	65	15	0.47±0.013	0.037	0.91
	80	15	0.47±0.032	0.039	0.92
	95	15	0.49±0.009	0.020	0.92
	110	15	0.50±0.007	0.023	0.92
	125	15	0.51±0.021	0.041	0.90

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تراکم بر عملکرد زیستی و دانه گیاه برنج

Table 4- Means comparison of interaction effects between cultivar and density on biological and grain yield in rice

تیمار Treatment	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)
آنام Anam	65 10210±15.2 ^c	5190±4.9 ^{cd}
	80 10270±20.2 ^c	5170±35.6 ^{cd}
	95 12720±16.4 ^{ab}	6100±15.0 ^{ab}
	110 11470±11.6 ^{abc}	5540±3.8 ^{bc}
	125 10370±5.8 ^c	4890±6.7 ^d
هاشمی Hashemi	65 10900±30.5 ^{bc}	5210±4.8 ^{cd}
	80 10950±12.4 ^{bc}	5340±6.1 ^{cd}
	95 11240±58.5 ^{abc}	5400±21.4 ^{cd}
	110 11890±77.8 ^{abc}	5490±10.3 ^{bc}
	125 11380±9.8a ^{bc}	5270±4.7 ^{cd}
طاهر Taher	65 10600±23.5 ^c	5410±7.93 ^{cd}
	80 11600±69.4 ^{abc}	5700±44.0 ^{bc}
	95 13030±17.5 ^a	6380±9.8 ^a
	110 11170±45.8 ^{abc}	5330±9.0 ^{cd}
	125 11030±4.8 ^{bc}	5050±6.7 ^d

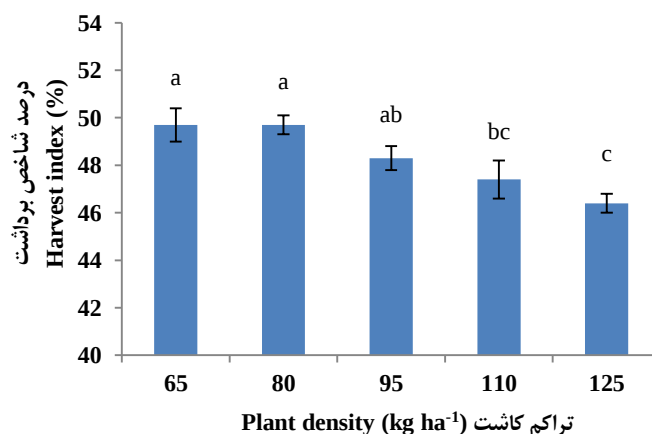
میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند.

Means (± SE) in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

آزمایش، پنجه‌زنی بیشتر این ارقام و همچنین ورس زیاد طاهر از جمله آنها می‌باشد (داده‌ها نشان داده نشدند). از طرفی، به نظر می‌رسد دلیل اصلی حساسیت رقم طاهر به تراکم‌های بالاتر، ضریب خاموشی بیشتر این رقم باشد به‌طوری‌که به‌دلیل ضریب خاموشی بالاتر در تراکم‌های بالا، سایه‌اندازی و رقابت نوری شدیدتر بوده و این امر کاهش استقامت ساقه و در نتیجه افزایش حساسیت گیاه به ورس را به دنبال داشت. با افزایش تراکم تا حد مطلوب، افزایش عملکرد برنج مشاهده می‌شود و پس از آن به‌دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای عملکرد گیاه کاهش می‌یابد که این کاهش برای عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی بیشتر می‌باشد (Akita and Tanaka, 1992). موسوی و همکاران (Mosavi et al., 2012) با بررسی اثر تراکم بر عملکرد برنج در کشت مستقیم در شرایط اهواز گزارش کردند که تراکم ۱۴۰ کیلوگرم بذر در هکتار، عملکرد ماده خشک و دانه و همچنین تعداد دانه در خوشه را در مقایسه با تراکم ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار کاهش داد. این محققین بیان کردند که در تراکم ۱۴۰ کیلوگرم بذر در هکتار، کاهش عملکرد حاصل از رقابت درون گونه‌ای برنج از کاهش عملکرد حاصل از رقابت با علف‌هرز سوروف نیز بالاتر بود.

اثر تراکم بر شاخص برداشت معنادار بود ولی اثر اصلی رقم و اثر متقابل رقم در تراکم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱). بالاترین شاخص برداشت (۴۹/۷ درصد) در تراکم‌های ۶۵ و ۸۰ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد و با افزایش تراکم شاخص برداشت کاهش داشت به‌طوری‌که کمترین شاخص برداشت (۴۶/۴ درصد) در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار به‌دست آمد (شکل ۲).

بالاترین عملکرد دانه در رقم طاهر (۶۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم آنام (۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار به‌دست آمد این در حالی بود که بالاترین عملکرد رقم هاشمی (۵۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد. تقریباً در هر سه رقم، عملکرد دانه از عملکرد زیستی تبعیت کرده و تیمارهای دارای عملکرد زیستی بالاتر از عملکرد دانه بالاتری نیز برخوردار بوده‌اند (جدول ۴). رقم طاهر بهترین رقم از نظر عملکرد دانه و زیستی بود به‌طوری‌که در تراکم ۹۵ کیلوگرم که بهترین عملکرد دانه و زیستی را داشت نسبت به بهترین عملکرد دانه و زیستی رقم هاشمی (تراکم ۱۱۰) به‌ترتیب ۱۱۴۰ و ۸۹۰ کیلوگرم در هکتار برتری در تولید داشت. بالاترین عملکرد دانه در رقم طاهر حدوداً بیش از ۱۶٪ بیشتر از بالاترین عملکرد دانه در رقم هاشمی بود و با توجه به این‌که اصلاح این رقم بیشتر در راستای بهبود خصوصیات کیفی بوده است در نتیجه این افزایش عملکرد می‌تواند مناسب ارزیابی گردد. در تمامی ارقام تا رسیدن به تراکم مطلوب، افزایش عملکرد مشاهده شده و پس از آن عملکرد کاهش یافت. به‌طوری‌که برای دو رقم طاهر و آنام از تراکم ۶۵ تا ۹۵ کیلوگرم، عملکرد زیستی و دانه افزایش یافت و پس از آن در تراکم ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم، کاهش یافت اما در رقم هاشمی از تراکم ۶۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار، عملکرد افزایش یافته و در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم کاهش یافت. میزان کاهش عملکرد دو رقم طاهر و آنام در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار بیش از رقم هاشمی بوده که حساسیت بالاتر این دو رقم نسبت به تراکم بالا را نسبت به هاشمی نشان داد. دلایل مختلفی برای حساسیت بالاتر به تراکم می‌توان بیان کرد که در این



شکل ۲- اثر تراکم کشت بر شاخص برداشت گیاه برنج
Figure 2- Plant density effect on harvest index of rice

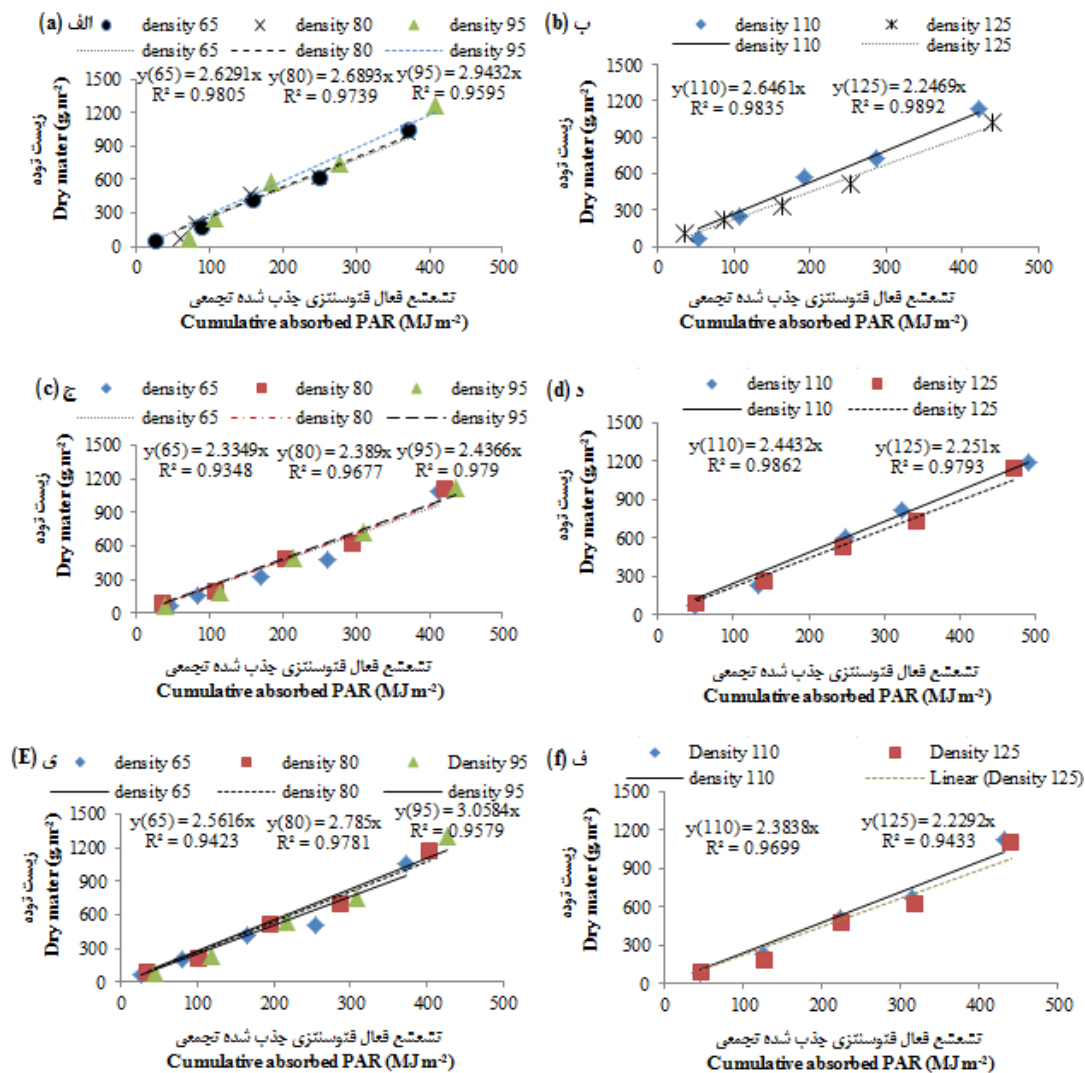
عملکرد دانه در واحد سطح را بالا می‌برد اما افزایش عملکرد زیستی معمولاً بالاتر است (Akita and Tanaka, 1992). افزایش تراکم باعث محدود شدن رشد گلچه‌ها در برنج می‌گردد زیرا در تراکم‌های

افزایش تراکم در برنج به‌دلیل این‌که عملکرد دانه در تک بوته را بیش از عملکرد زیستی کاهش می‌دهد در نتیجه منجر به کاهش شاخص برداشت می‌گردد البته افزایش تراکم تا حد مطلوب اگرچه

اثرات اصلی رقم، تراکم و اثر متقابل این دو بر کارایی مصرف نور معنادار بود (جدول ۱). نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع ماده خشک ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی داشت و در همه موارد ضریب تبیین بالاتر از ۹۰ درصد به دست آمد (شکل ۳).

بالا سایه اندازی بیشتر شده و باعث عقیمی سنبله در برنج می گردد و بنابراین کاهش باروری در تراکم های بالا یکی از دلایل کاهش تولید دانه در تک بوته برنج می باشد که کم شدن شاخص برداشت را به دنبال دارد (Zeng and Shanon, 2000).

کارایی مصرف نور



شکل ۳- رابطه بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک ارقام برنج در تراکم های مختلف. شکل الف و ب: رقم آنام شکل ج و د رقم هاشمی و شکل ی و ف رقم طاهر می باشد.

Figure 3- Relationship between cumulative absorbed photosynthetic active radiation (PAR) and total dry matter of rice cultivars at different densities. Anam cultivar (a and b), Hashemi cultivar (c and d) and Taher cultivar (e and f).

مگاژول PAR بود که به ترتیب در تراکم ۱۲۵ و ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بیشترین (۳/۰۶ گرم بر مگاژول PAR) و کمترین (۲/۲۰ گرم بر مگاژول PAR) میزان کارایی مصرف نور در این آزمایش در رقم طاهر به دست آمد که به ترتیب در تراکم های ۹۵ و ۱۲۵ کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۳ و جدول ۵).

شیب رابطه بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک گیاه، بیانگر کارایی مصرف نور می باشد که میانگین آن در رقم آنام از ۲/۲۴ تا ۲/۹۴ گرم بر مگاژول PAR به ترتیب در تراکم های ۱۲۵ و ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد. بازه کارایی مصرف نور به دست آمده در رقم هاشمی بین ۲/۲۶ تا ۲/۵۶ گرم بر

جدول ۵- کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) ارقام برنج در تراکم‌های مختلف
Table 5- Radiation use efficiency (g.dm.MJ⁻¹) of rice cultivars at different densities

رقم Cultivar	تراکم کاشت (kg ha ⁻¹) Plant density				
	65	80	95	110	125
آنم Anam	2.62±0.09cde	2.68±0.12bcd	2.94±0.02ab	2.64±0.16cde	2.24±0.26g
هاشمی Hashemi	2.33±0.10fg	2.39±0.15efg	2.44±0.02defg	2.56±0.15cdefg	2.28±0.26g
طاهر Taher	2.56±0.10cdefg	2.80±0.12abc	3.06±0.24a	2.40±0.18defg	2.20±0.23g

میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در جدول (ستون و ردیف) حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند.
Means (± SE) in table (row and column) followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

افزایش تراکم مشخص نیست. برخی از محققین، افزایش ورس گیاه تحت تاثیر افزایش تراکم را دلیل کاهش کارایی مصرف نور بیان کردند (Purcell *et al.*, 2002). با این حال در شرایط بدون ورس نیز کاهش کارایی مصرف نور با افزایش تراکم مشاهده گردید، بنابراین دلایل دیگری نیز وجود دارد. سینکلایر و ماچو (Sinclair and Muchow, 1999) بیان کردند که در تراکم‌های بالاتر از حد مطلوب در گیاه برنج، بخاطر کاهش نور رسیده به قسمت‌های پایین پوشش گیاه، برگ‌های پایینی زودتر پیر شده و این یک عامل موثر بر کاهش کارایی مصرف نور در برنج می‌باشد. در آزمایش حاضر نیز در تمامی ارقام در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم کاهش شاخص سطح برگ در اواخر دوره رشد، سریع‌تر از تراکم‌های دیگر اتفاق افتاد (شکل ۱). در تراکم‌های بالا رقابت بر سر جذب نیتروژن افزایش یافته و در نتیجه غلظت نیتروژن در برگ کاهش می‌یابد و با توجه به نقش نیتروژن در فتوسنتز (آنزیم رابیسکو) و ساختار کلروفیل‌ها این شرایط باعث کاهش میزان کارایی مصرف نور می‌گردد (Sinclair and Horie, 1989). لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2019) نیز بیان کردند که کارایی مصرف نور در ارقام سوپر هیبرید برنج تحت تاثیر افزایش تراکم بالا رفته و باعث افزایش عملکرد می‌گردد ولی در تراکم‌های خیلی زیاد عواملی چون ورس و عقیمی سنبه باعث کاهش کارایی مصرف نور و به دنبال آن کاهش عملکرد می‌گردد.

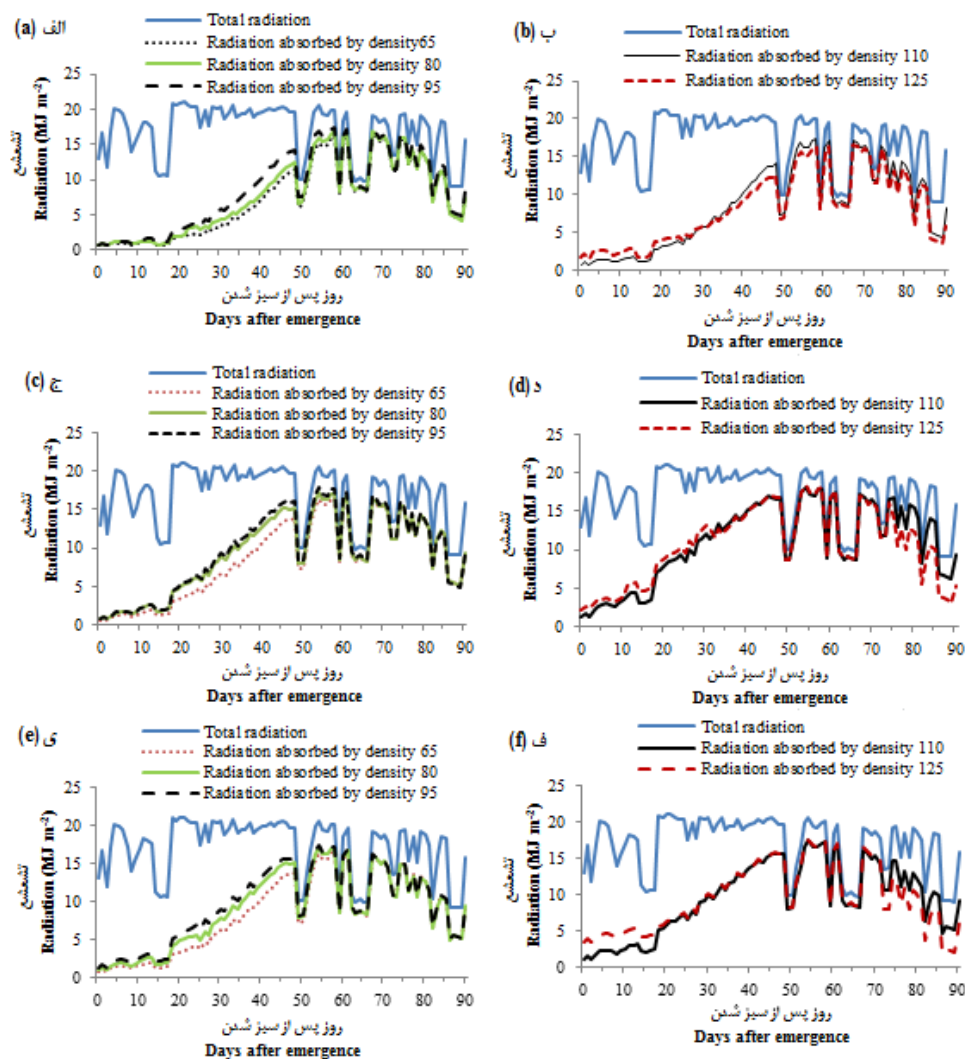
میزان جذب نور

روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح گیاه و میزان تشعشع جذب شده روزانه توسط کانوپی ارقام برنج در تراکم‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در ابتدای دوره رشد از میزان کل تشعشع رسیده به سطح پوشش گیاهی، به دلیل پایین بودن شاخص سطح برگ و باز بودن کانوپی، جذب نور توسط گیاه کم بود ولی با گذشت زمان و متناسب با افزایش شاخص سطح برگ میزان جذب نور توسط کانوپی افزایش یافت و پس از رسیدن به میزان حداکثر خود، به علت کاهش سطح برگ تا انتهای دوره رشد روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۴). آنچه که مشخص است در ابتدای دوره رشد

کارایی مصرف نور برای رقم طاهر و آنم، تا تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار، افزایش و سپس کاهش یافت، ولی در رقم هاشمی بالاترین کارایی مصرف نور در تراکم ۱۱۰ به دست آمد (جدول ۵). روند کارایی مصرف نور با عملکرد گیاه برنج مشابه بود (جدول ۴). نتایج نشان داد تا زمانی که با افزایش تراکم، کارایی مصرف نور افزایش یافت، میزان عملکرد نیز افزایش داشت ولی وقتی تراکم به قدری زیاد شد (تراکم ۱۱۰ برای رقم طاهر و تراکم ۱۲۵ برای ارقام هاشمی و آنم) که به دلیل سایه‌اندازی زیاد، کارایی مصرف نور کاهش یافت، عملکرد نیز کاهش یافت. علا و همکاران (Ala *et al.*, 2015) کارایی مصرف نور برنج رقم طارم را ۲/۷۷ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت و البته در آزمایش ایشان کارایی‌های بالاتری تا حدود ۳/۳۰ نیز گزارش شد که مربوط به ارقام پرمحصول بود. تراکم‌های مطلوب به دلیل ایجاد شرایط مناسب بین میزان نور جذب شده و ماده خشک تولید شده می‌توانند منجر به افزایش کارایی مصرف نور گردند (Purcell *et al.*, 2002, Chen *et al.*, 2019). بین میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی و سرعت رشد گیاه برنج رابطه خطی وجود دارد که تراکم با اثر بر شیب این رابطه عملکرد گیاه برنج را تحت تاثیر قرار می‌دهد (San-oh *et al.*, 2006, Lin *et al.*, 2009). کاتسورا و همکاران (Katsura *et al.*, 2010) با بررسی ارقام مختلف برنج بیان کردند که خصوصياتی مانند میزان باز بودن روزنه‌ها، ضریب خاموشی متفاوت و شاخص سطح برگ باعث اختلاف در کارایی مصرف نور بین ارقام مختلف می‌گردد. همچنین این محققین، مقدار کارایی مصرف نور را در ارقام مورد بررسی بین ۲/۴۰ تا ۳/۴۵ گرم ماده خشک بر مگاژول تشعشع بیان کردند که با اعداد حاصل از این آزمایش مطابقت داشت. کاهش کارایی مصرف نور در تراکم‌های بالا باعث تعیین سقف عملکرد می‌شود به طوری که با افزایش تراکم در هر گیاه تا یک میزانی، کارایی مصرف نور زیاد شده و پس از آن کاهش می‌یابد که این عامل، عملکرد پتانسیل گیاه را تعیین می‌کند (Ball *et al.*, 2001). البته دقیقاً دلیل کاهش کارایی مصرف نور تحت تاثیر

سطح برگ، میزان جذب نور در تمامی تیمارها حدوداً برابر بود (یا تفاوت اندکی داشت) (شکل ۴). بر این اساس، عامل اصلی در تفاوت میزان جذب تشعشع روزانه در طول فصل رشد برنج را می‌توان سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و زمان باقی ماندن شاخص سطح برگ در حداکثر دانست. بالاترین میزان جذب نور در هر سه رقم در تیمارهایی به‌دست آمد که بالاترین میزان شاخص سطح برگ را داشتند. به‌طوری‌که آنام و طاهر در تراکم ۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با ۷۷۳ و ۸۵۲ مگاژول بر متر مربع PAR و رقم هاشمی در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار با ۸۸۰ مگاژول بر متر مربع PAR بالاترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد را داشتند. میزان جذب نور تجمعی در تمامی ارقام در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار کاهش یافت (جدول ۶).

تیمارهای با تراکم زیاد در تمامی ارقام جذب بالاتری داشتند ولی در زمانی‌که شاخص سطح برگ به حداکثر میزان خود رسید تفاوت جذب بین تیمارهای مختلف حدوداً یکسان بود. حداکثر جذب برای تمامی ارقام و تراکم‌ها در حدود ۵۰ تا ۷۵ روز پس از سبز شدن اتفاق افتاد (شکل ۴)، دقیقاً زمانی‌که شاخص سطح برگ آن‌ها به حداکثر میزان خود رسید (شکل ۱). با توجه به این‌که جذب نور به میزان تشعشع برخورد کرده به کانوپی، شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور بستگی دارد و از آنجایی‌که در این آزمایش ضریب خاموشی تفاوت معنی‌داری نداشت، بنابراین تفاوت جذب روزانه تشعشع در تیمارهای مختلف ناشی از تفاوت در شاخص سطح برگ آن‌ها بود. البته تفاوت در میزان جذب نور به‌دلیل تفاوت اندازه نهایی شاخص سطح برگ نبود یا حداقل صرفاً به آن دلیل نبود زیرا در زمان حداکثر شاخص



شکل ۴- تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده روزانه در کانوپی ارقام برنج در تراکم‌های مختلف در طول فصل رشد. شکل الف وب، رقم آنام شکل ج و د رقم هاشمی و شکل ی و ف رقم طاهر می‌باشد.

Figure 3- Daily photosynthetic active radiation absorbed of rice cultivars at different densities during the growing season. Anam cultivar (a and b), Hashemi cultivar (c and d) and Taher cultivar (e and f).

شاخص سطح برگ نهایی، از تمامی تراکم‌های دیگر بالاتر بود اما کل جذب تشعشع در طول فصل رشد به دلیل سرعت از دست رفتن شاخص سطح برگ در اواخر دوره رشد کاهش یافت (جدول ۶).

در این آزمایش هرچه میزان تراکم در ارقام مختلف بیشتر شد سرعت افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه میزان جذب نور روزانه افزایش یافت که در نهایت منجر به افزایش جذب تشعشع کل گردید، اما در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم اگرچه میزان جذب تا قبل از رسیدن به

جدول ۶- میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع) ارقام برنج در تراکم‌های مختلف در طول فصل رشد
Table 6-Cumulative absorbed photosynthetic active radiation (MJ.m^{-2}) of rice cultivars at different densities.

رقم Cultivar	تراکم بذر Seed density (kg.ha^{-1})				
	65	80	95	110	125
Anam	665	701	773	766	710
Hashemi	678	744	810	880	790
Taher	685	770	852	790	690
LSD (5%)	45	39	37	43	49

که این خود تحت تاثیر نوع پراکنش برگ و زاویه آن می‌باشد (Stewart et al., 2003). در تراکم‌های بالا، گیاه برنج شاخص سطح برگ بیشتری داشته و زمان کمتری برای پنجه‌زنی هدر می‌دهد که این عامل جذب بالاتر نور را به همراه خواهد داشت (Liu et al., 2019).

بررسی همبستگی بین صفات نشان‌دهنده همبستگی مثبت کارایی مصرف نور در سطح احتمال یک درصد با عملکرد دانه، زیستی و شاخص برداشت بود و همچنین بین کارایی مصرف نور و شاخص سطح برگ همبستگی در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۷).

میزان جذب نور تجمعی نیز با صفات عملکردی و شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور و ضریب خاموشی نور همبستگی معنادار داشت (جدول ۷). نتایج همبستگی نشان‌دهنده ارتباط بین شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام گیاه برنج بود. ماده خشک تولید شده در گیاه به میزان دی‌اکسیدکربن تثبیت شده و تسهیم آن بستگی دارد و در شرایط بدون تنش، میزان ماده خشک تولیدی به‌طور مستقیم به میزان نور جذب شده توسط وابسته است (Lindquist et al., 2005). کارایی بالاتر مصرف نور نشان‌دهنده استعداد بیشتر گیاه در تبدیل نور به زیست‌توده می‌باشد و به دلیل همبستگی بالا بین کارایی مصرف نور و تولید ماده خشک، بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول، برای پیش‌بینی رشد عملکرد محصول در محیط‌های مختلف از مفهوم کارایی مصرف نور استفاده می‌کنند (Brisson et al., 2003). اگرچه عوامل زیادی از جمله شیوه کشت، منابع غذایی در دسترس، آب و غیره بر عملکرد برنج اثر می‌گذارند، اما نور مهم‌ترین عامل محیطی اثرگذار بر عملکرد دانه در گیاه برنج می‌باشد (Farque et al., 2001; San-oh et al., 2006). لیو و همکاران (Liu et al., 2019) در مطالعه خود با بررسی اثر رقم و تراکم بر کارایی مصرف نور و عملکرد برنج گزارش کردند

تحقیقات نشان داده است که کاهش جذب تابش توسط پوشش گیاهی پس از گرده‌افشانی ناشی از پیری تدریجی برگ‌های پایین و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی می‌باشد (Beheshti et al., 2002; Vargas et al., 2002). در شرایط تراکم‌های بالا که میزان نور پخش شده در داخل کانوپی کاهش پیدا می‌کند سرعت پیر شدن برگ‌ها افزایش یافته و در نتیجه میزان جذب نور کاهش می‌یابد (Sinclair et al., 1999). هر چند که مونته‌یت (Monteith, 1977) کارایی مصرف نور گیاهان را ثابت و مقدار آن را $1/4$ گرم بر مگاژول تشعشع خورشیدی عنوان کرد اما مطالعات بعدی نشان دادند که کارایی مصرف نور ثابت نبوده و مقدار آن تحت تاثیر عوامل محیطی و مدیریتی زیادی قرار می‌گیرد (Rosati et al., 2004; Lindquist et al., 2004; Ceotto et al., 2002; Akmal et al., 2004). یکی از مدیریت‌های زراعی که کارایی مصرف نور گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، تراکم گیاه می‌باشد و نتایج مطالعات زیادی این مسئله را نشان داده‌اند (Tsubo et al., 2001; Purcell et al., 2002; Sianoh et al., 2006). البته در برخی از مطالعات نیز گزارش شده که افزایش جمعیت گیاه در واحد سطح، میزان جذب نور را تحت تاثیر قرار داده و تاثیر کمتری بر کارایی مصرف نور دارد (Zhang et al., 2008). با این وجود نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش تراکم در رقم هاشمی از ۶۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم و در ارقام آنام و طاهر از ۶۵ تا ۹۵ کیلوگرم هم باعث افزایش میزان جذب نور تجمعی (جدول ۶) و هم افزایش جذب نور روزانه (شکل ۴) شد و هم افزایش کارایی مصرف نور را به دنبال داشت (شکل ۳ و جدول ۵). تا قبل از بسته شدن کانوپی برنج (حدوداً تا ۴۰ روز پس از سبز شدن (شکل ۴) در آزمایش حاضر)، تشعشع جذب شده تجمعی تحت تاثیر شاخص سطح برگ و طول این دوره قرار دارد (San-oh et al., 2006) ولی بعد از این که گیاه به شاخص سطح برگ بحرانی خود می‌رسد، نوع پراکنش نور در کانوپی میزان جذب نور را تعیین می‌کند (Peng,

اساس، تا زمانی افزایش تراکم و افزایش شاخص سطح برگ برای کارایی مصرف نور مفید هستند که گیاه در بهترین شرایط تولید قرار داشته و به عبارتی هیچ گونه کمبودی وجود نداشته باشد. در شرایط کمبود هر عامل تولید (اعم از آب، نیتروژن و غیره)، افزایش کارایی مصرف نور نمی تواند به عنوان یک فرآیند افزایش دهنده عملکرد مطرح باشد (Purcell et al., 2002).

که رقم و تراکم بر میزان نور جذب شده در گیاه برنج اثرگذار می باشد. آن ها بیان کردند که در ارقام پرمحصول نسبت به ارقام معمولی، میزان جذب نور تا ۱۳٪ افزایش یافت. به هر حال در محاسبه کارایی مصرف نور میزان نور جذب شده در مخرج کسری قرار می گیرد که تولید ماده خشک در صورت آن کسر می باشد بنابراین اگر افزایش جذب نور با تولید بالاتر همراه نگردد نه تنها افزایش کارایی مصرف نور را به دنبال ندارد بلکه میزان آن را کاهش نیز می دهد بر این

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در ارقام برنج در تراکم های مختلف

Table 7- Correlation coefficients between investigated traits in rice cultivars at different densities

Variables	Grain yield عملکرد دانه	Biological yield عملکرد زیستی	Harvest index شاخص برداشت	Leaf area index شاخص سطح برگ	Extinction coefficient ضریب خاموشی	Radiation use efficiency کارایی مصرف نور	Absorbed radiation نور جذب شده
Grain yield عملکرد دانه	1						
Biological yield عملکرد زیستی	0.47**	1					
Harvest index شاخص برداشت	0.38**	-0.29*	1				
Leaf area index شاخص سطح برگ	0.29*	0.31*	-0.09ns	1			
Extinction coefficient ضریب خاموشی	0.052ns	0.13ns	0.12ns	-0.39**	1		
Radiation use efficiency کارایی مصرف نور	0.69**	0.47**	0.40**	0.30*	0.06ns	1	
Absorbed radiation نور جذب شده	0.31*	0.38**	-0.39**	0.48**	0.54**	0.32*	1

ns, * and **: non-significant and significant at 0.05% and 0.01% level, respectively.

سایه اندازی زیاد و خارج شدن برگ های پایینی گیاه از چرخه تولید و پیدا کردن حالت انگلی را دلیل اصلی دانست ولی درباره کاهش شاخص سطح برگ و بالتبع میزان جذب نور، شاید دلیل اصلی رقابت نوری زیاد بین بوته ها در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم عامل اصلی کاهش بود که رشد گیاه را تحت تاثیر قرار داد. به طور کلی، میزان جذب نور قوی ترین همبستگی را با عملکرد ارقام داشت و تیمارهایی که سریع تر کانوپی خود را بستند و همچنین بعد از مرحله گلدهی سطح برگ خود را بیشتر حفظ کردند از جذب نور بالاتر و عملکرد بالاتر برخوردار بودند. دو رقم طاهر و آنام بیش از هاشمی نسبت به افزایش تراکم حساسیت نشان داده و افت شدیدتری چه در کارایی نور و چه در عملکرد داشتند.

نتیجه گیری

نتایج آزمایش نشان داد که رقم طاهر بالاترین میزان عملکرد دانه و زیستی را نسبت به آنام و هاشمی داشته و همچنین از نظر عملکرد، برای آنام و طاهر ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار و برای رقم هاشمی ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار، بهترین تراکم در سیستم کشت مستقیم بود. افزایش تراکم تا سطح تراکم مطلوب در ارقام برنج باعث افزایش کارایی مصرف نور و افزایش جذب نور شده و همبستگی مثبت بین کارایی و جذب نور با عملکرد زیستی و دانه ارقام برنج مشاهده شد. در تراکم های ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار ارقام آنام و طاهر میزان شاخص سطح برگ، جذب نور و کارایی مصرف نور نسبت به تراکم ۹۵ کیلوگرم کاهش یافت. در مورد کاهش کارایی مصرف نور می توان

References

1. Akita, K., and Tanaka, N. 1992. Effects of planting density and planting patterns of young seedlings transplanting on the growth and yield of rice plants. Japanese Journal of Crop Science 61: 80-86.
2. Akmal, M., and Janssens, M. J. J. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. Field Crops Research 88: 143-155.
3. Ala, A., Aghaalikhani, M., Amiri Larijani, B., and Soofizadeh, S. 2014. Radiation Use Efficiency of Rice Cultivars in Transplanting and Direct Cropping System in Interference with Weed. Iranian Journal of Field Crop Science 45 (1): 147-160. (in Persian with English abstract).

4. Awal, M. A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 74-83.
5. Ball, R. A., McNew, R., Vories, E. D., Keisling, T. C., and Purcell, L. C. 2001. Path analyses for population density effects on short-season yield. *Agronomy Journal* 93: 187-195.
6. Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal* 18: 417-431. (in Persian with English abstract).
7. Brisson, N. C., Gary, E., Justes, R., Roche, B., Mary, D., Ripoche, D., Zimmer, J., Sierra, P., Bertuzzi, P., Burger, F., Bussiere, Y. M., Cabidoche, P., Cellier, P., Debaeke, J. P., Gaudillere, C., Henault, F., Maraux, B., Seguin, B. and Sinoquet, B. 2003. An overview of the crop model STICS. *Eroupean Journal of Agronomy* 18: 309-332.
8. Ceotto, E., and Castelli, F. 2002. Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. *Field Crops Research* 74: 117-130.
9. Chen, S., Yin, M., Zheng, X., Liu, Sh., Chu, G., Xu, Ch., Wang, D., and Zhang X. 2019. Effect of dense planting of hybrid rice on grain yield and solar radiation use in southeastern china. *Agronomy Journal* 111: 1-10.
10. Gallagher, J. L., and Biscoe, P. V. 1978. Radiation absorpion, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science* 91: 47-60.
11. Holshouser, D. L., and Wittaker, J. P. 2002. Plant population and row spacing effects on early soybean productions systems in the mid-Atlantic USA. *Agronomy journal* 94: 603-611.
12. Huang, M., Tang, Q. Y., Ao, H. J., and Zhou, Y. B. 2017. Yield potential and stability in super hybrid rice and its production strategies. *Journal of Integrative Agriculture* 16: 1009-1017.
13. Huang, M., Chen, J., Cao, F., Jiang, L., Zou, Y., and Deng, G. 2016. Improving physiological N-use efficiency by increasing harvest index in rice: a case in super-hybrid cultivar Guiliangyou 2. *Archives of Agronomy and Soil Science* 62: 725-743.
14. Katsura, K., Maeda, S., Lubis, I., Horie, T., Cao, W., and Shiraiwa, T. 2008. The high yield of irrigated rice in Yunnan China: a cross-location analysis. *Field Crops Research* 101: 1-11.
15. Katsura, K., Okami, M., Mizonuma, H., and Kato, Y. 2010. Radiation use efficiency, N accumulation and biomass production of high-yielding rice in aerobic culture. *Field Crops Research* 117: 81-89.
16. Kemanian, A. R., Stockle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. *Crop Science* 44: 1662-1672.
17. Kiniry, J. R., Tischler, C. R., and van Esbroeck, G. A. 1999. Radiation use efficiency and leaf CO₂ exchange for divers C4 grasses. *Biomass and Bioenergy* 17: 95-112.
18. Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Langeluddecke, P., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E., and Witzenberg, A. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119: 561-601.
19. Lindqueist, J. L., Timothy, J. A., Daniel, T. W., Kenneth, G. C., and Achim, D. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal* 97: 72-78.
20. Lin, X.-Q., Zhu, D. F., Chen, H. Z., and Zhang, Y. P. 2009. Effects of plant density and nitrogen application rate on grain yield and nitrogen uptake of super hybrid rice. *Rice Science* 16: 138-142.
21. Liu, K., Yang, R., Lu, J., Wang, X., Lu, B., Tian, X., and Zhang Y. 2019. Radiation use efficiency and source-sink changes of super hybrid rice under shade stress during grain-filling stage. *Agronomy Journal* 111: 1788-1798.
22. Marcelis, L. F., Heuvelink, M., E., and Goudriaan, J. 1998. Modeling biomass production and yield of horticultural crops: A review. *Scientia Horticulture* 74: 83-111.
23. Monteith, J. L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9: 747-766.
24. Mosavi, H., Alami, S., Fathi, Gh., Siahpoosh, A., and Gharineh, M. 2012. Effect of planting density and herbicide on control of barley in direct rice cultivation in Ahwaz. *Applied Field Crop Research* 90: 83-92. (in Persian with English abstract).
25. Peng, S., Khush, G. S., Virk, P., Tang, Q., and Zou, Y. 2009. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. *Field Crops Research* 108: 32-38.
26. Peng, S. 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. *Studies Plant Science* 7: 213-228.
27. Normile, D. 2008. Reinventing rice to feed the world. *Science* 321: 330-333.
28. Purcell, L. C., Rosalind A., Ball, J. D., Reaper, I., and Vories E. D. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop science* 42: 172-177.
29. Rosati, A., Metcalf, S. G., and Lampinen, B. D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Annals of Botany* 93: 567-574.
30. Saitoh, K., Shimoda, H., and Ishihara, K. 1990. Characteristics of dry matter production process in high yielding rice varieties. I. Canopy structure and light intercepting characteristics. *Japanese Journal of Crop Science* 51: 130-139.

31. San-oh, Y., Tomizawa, Y., Mano, Y., Ookawa, T., and Hirasawa, T. 2002. Characteristics of dry matter production in rice plants, cultivar Takanari, sown directly in submerged paddy field compared with conventionally transplanted plants. *Japanese Journal of Crop Science* 71: 317-327.
32. San-oh, Y., Oclarit, P., Ookawa, T., Motobayashi, T., and Hirasawa, T. 2006. Effects of planting pattern on the interception of solar radiation by the canopy and the light extinction coefficient of the canopy in rice plants direct-sown in a submerged paddy field. *plant production science* 9 (3): 334-342.
33. Sinclair, T. R. 2006. A reminder of the limitations of using Beer, s Law to estimate daily radiation interception by vegetation. *Crop Science* 46: 2343-2347.
34. Sinclair, T. R., and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science* 29: 90-98.
35. Sinclair, T. R., and Muchow, C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 35: 215-265.
36. Stewart, D. W., Costa, C., Dwyer, L. M., Smith, D. L., Hamilton, R. I., and Ma, B. L. 2003. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize. *Agronomy Journal* 95: 1465-1474.
37. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research* 71: 17-29.
38. Vargas, L. A., Andersen, M. N., Jensen, C. R., and Orgenses, V. J. 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* 'Goliath' from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy* 22: 1-14.
39. Wang, Q., Zhang, Q., Fan, D., and Lu, C. 2006. Photosynthetic light and CO₂ utilization and C₄ traits of two novel super-rice hybrids. *Journal of Plant Physiology* 163: 529-537.
40. Wang, D., M. R. Laza, K. G. Cassman, J. L. Huang, L. X., and Nie, X. X. 2016. Temperature explains the yield difference of double-season rice between tropical and subtropical environments. *Field Crops Research* 198: 303-311.
41. Wu, X. 2009. Prospects of developing hybrid rice with super high yield. *Agronomy Journal* 101: 688-695.
42. Xu, Y. F., Ookawa, T., and Ishihara, K. 1997. Analysis of the dry matter production process and yield formation of the highyielding rice cultivar Takanari, from 1991 to 1994. *Japanese Journal of Crop Science* 66: 42-50.
43. Zhang, L., Vanderwerf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., and Spiertz, J. H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research* 107: 29-42.
44. Zhang, Y., Tang, Q., Zou, Y., Li, D., Qin, J., Yang, Sh., Chen, L., Xia, B. and Peng, P. 2009. Yield potential and radiation use efficiency of "super" hybrid rice grown under subtropical conditions. *Field Crops Research* 114: 91-98.
45. Zeng, L., and Shanon, M. 2000. Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. *Agronomy Journal* 92: 418-423.



Effect of Seeding Density on Radiation Absorption and Use Efficiency of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes under Direct Seeding Conditions

F. Pouramir¹, B. Yaghoubi², Y. Alizadeh^{3*}

Received: 07-02-2020

Accepted: 15-04-2020

Introduction: Effective use of sunlight is a great opportunity to improve crop productivity. In conditions without growth limiting factors, there is a linear relationship between radiation absorption and dry matter production in plants, that the slope of this relationship is radiation use efficiency. In addition to genotyping, radiation use efficiency is affected by crop management. Changes in density of rice varieties by affecting leaf area index and light extinction coefficient change the amount of absorption and distribution of light within the canopy and thus affect dry matter production. Therefore, the response of different rice cultivars to change in density is not same. According to this, the present study was carried out to investigate the radiation absorption and efficiency of use and also determine the light extinction coefficient in new and old rice cultivars at different direct seeding densities in Rasht climatic conditions.

Material and Methods: The present experiment was carried out as a factorial based on randomized complete block design with three replications at research field of Rice Research Institute of Iran-Rasht. Treatments included five levels of densities (65, 80, 95, 110, and 125 kg ha⁻¹) and three levels of cultivar (Taher (promising line), Anam and Hashemi). Sampling was performed once every two weeks, 25 days after emergence. Sampling was performed with 0.5×0.5 m quadrates to measure leaf area, dry weight, and radiation in different treatments.

Results and Discussion: The results showed that the interaction effect of cultivar and density on radiation use efficiency, LAI, grain and biological yield were significant. Harvest index was affected only by density and light extinction coefficient was not affected by any density and cultivar treatments. The highest grain yield of Taher (6380 kg ha⁻¹) and Anam cultivars (6100 kg ha⁻¹) were obtained in 95 kg ha⁻¹ density, while the highest yield of Hashemi cultivar (5490 kg ha⁻¹) was observed in 110 kg ha⁻¹ density. Grain yield followed biological yield, and treatments with higher biological yield had higher grain yield. The highest leaf area index (5.63) was observed in Hashemi cultivar and 110 kg ha⁻¹ density in 70 days after emergence. At this stage, the lowest leaf area index (4.21) was observed in Taher cultivar at 65 kg ha⁻¹ density. Although, in the early stages of growth, higher densities had a higher rate of leaf area expansion, but the highest leaf area index did not differ significantly between 95, 110, and 125 kg ha⁻¹ densities. The light extinction coefficient of this experiment varied from 0.4 to 0.5 in different cultivars and densities and Taher cultivar had the higher light extinction coefficient. Although, no significant difference was observed between treatments. The highest grain yield of Taher (6380 kg ha⁻¹) and Anam (6100 kg ha⁻¹) cultivars were obtained in 95 kg ha⁻¹ density, but the highest yield of Hashemi (5490 kg ha⁻¹) was obtained in 110 kg ha⁻¹. In this study, the highest (3.06 g MJ⁻¹ PAR) and the lowest (2.20 g MJ⁻¹ PAR) radiation use efficiency were observed at 95 and 125 kg ha⁻¹ of Taher cultivar, respectively. In all cultivars, the lowest radiation use efficiency was observed at density of 125 kg ha⁻¹. Anam and Taher cultivars had the highest radiation absorption (773 and 852 MJ⁻¹ PAR, respectively) during the growing season at 95 kg ha⁻¹. Although, the highest radiation absorption of Hashemi (880 MJ⁻¹ PAR) cultivar was obtained at 110 kg ha⁻¹ density.

Conclusions: The results showed that Taher cultivar had the highest grain and biological yield compared to Anam and Hashemi cultivars. Based on yield, the best density was 95 kg ha⁻¹ for Anam and Taher cultivars and 110 kg ha⁻¹ for Hashemi cultivar. Increasing the density of rice cultivars to the optimum level increased the radiation absorption and use efficiency. There was a positive correlation between radiation absorption and efficiency with biological and grain yield of rice cultivars.

Keywords: Hashemi cultivar, Leaf area index, Light extinction coefficient, Shading

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

2- Associate professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran
(*- Corresponding Author Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir)



مقاله علمی-پژوهشی

اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر تعدیل اثرات مخرب تنش کمبود آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays* L.)

فانزه شرقی^۱، ابراهیم خلیل وند بهروزیار^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر تعدیل اثرات مخرب تنش کمبود آب در ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز طی سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا شد. عامل اصلی تنش کمبود آب در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد رطوبت قابل دسترس و ترکیب فاکتوریل کاربرد نانو دی اکسید تیتانیوم ($n\text{-TiO}_2$) (در سه سطح صفر، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد) و اسید سالیسیلیک (SA) (در دو سطح صفر و نیم درصد) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول پاشی $n\text{-TiO}_2$ و SA تحت سطوح مختلف تنش کمبود آب بر صفات فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال پنج درصد و محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. همچنین اثر محلول پاشی SA تحت تنش کمبود آب بر صفت سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. اثر متقابل محلول پاشی $n\text{-TiO}_2$ در سطوح مختلف تنش کمبود آب نیز بر صفت سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد و اثر محلول پاشی $n\text{-TiO}_2$ و SA نیز بر صفت سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی با ۰/۰۱ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم تحت شرایط ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را داشت. همچنین محلول پاشی با ۰/۰۱ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم و ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک تحت رطوبت ۵۰ درصد قابل دسترس بیشترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص داد. کاربرد ۰/۰۱ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم و ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل در مقایسه با عدم کاربرد نانو دی اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک تحت آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس به ترتیب ۷۹ درصد، ۲/۵ برابر و ۸۲ درصد محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را افزایش داد. در این مطالعه کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز موجب تعدیل اثرات منفی تنش کمبود آب گردید. همچنین با توجه به این که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک بر آنزیم‌های تاثیرگذار بر فیزیولوژی گیاه اثرات مثبتی داشتند از این رو میزان تولید دانه ذرت نسبت به شاهد و شرایط کم آبیاری افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، محتوای کلروفیل، محلول پاشی

مقدمه

برای گندم و ۵-۶ درصد برای ذرت پیش‌بینی شده است (Leng and Hall, 2019). فستوتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای از مهم‌ترین فرآیندهای تاثیرپذیر از تنش کمبود آب هستند (Anjum, 2011). تنش کمبود آب در گیاهان ارتباط سلول و آب را مختل کرده و به تبع آن فرآیندهای فیزیولوژیکی و در نهایت تولید گیاه به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Aref, 2013). نانو ذرات، ذراتی با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر هستند که به دلیل سطح ویژه زیاد، واکنش‌پذیری بالایی دارند و همین ویژگی موجب تسهیل جذب آن‌ها در مقیاس نانو می‌شود (Fadeel et al., 2017). نانو ذره دی اکسید تیتانیوم ($n\text{-TiO}_2$) از لحاظ فراوانی نهمین عنصر موجود در پوسته زمین است و به عنوان یکی از نانو بلورهای نیمه‌هادی اکسید فلزی، جایگاه ویژه‌ای در جهان صنعتی امروز یافته و به علت ویژگی‌های الکتریکی، نوری و فوتوکاتالیستی خوبی که دارد توجه بسیاری از

تنش کمبود آب یکی از مهم‌ترین علل کاهش بهره‌وری کشاورزی در سراسر جهان است (Kamanga et al., 2018) که به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده در مقیاس جهانی مورد پذیرش قرار گرفته است (Ahmad, 2016). با توجه به اثرات خشکی در عملکرد محصولات کشاورزی در پایان قرن ۲۱ در مقایسه با شرایط فعلی، افزایش ریسک از دست دادن عملکرد ۹-۱۲ درصد

۱- کارشناس ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(Email: e.khalilvand@iaut.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v18i2.81953

(*) نویسنده مسئول:

می‌گردد. سالیسیلات یکی از تنظیم‌کننده‌های درونی رشد و از ترکیبات طبیعی فنولی است که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاهان مشارکت دارد (Rao et al., 2012). از این فرآیندهای فیزیولوژیک می‌توان به جذب یون‌ها، نفوذپذیری غشاها، فتوسنتز، جوانه‌زنی، رشد و نمو گیاه اشاره نمود (Talebi et al., 2012). در بررسی اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر برخی از ویژگی‌های زراعی در گندم گزارش شده است که محلول‌پاشی نانو ذرات در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری در ارتفاع بوته، وزن سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط نرمال و تنش خشکی ایجاد می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که عملکرد دانه در شرایط خشکی با محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد، ۲۳ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (Jaberzadeh et al., 2010). معاونی و همکاران (Moaveni et al., 2011) بیان کردند که محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم منجر به افزایش عملکرد دانه در گیاه جو می‌شود. سالیسیلات (SA) باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه شده و به دنبال آن افزایش تجمع مولکول‌های پراکسید هیدروژن صورت می‌گیرد. افزایش پراکسید هیدروژن می‌تواند به‌عنوان پیام‌بر ثانویه موجب فعال‌سازی پروتئین‌هایی با وزن مولکولی کم مرتبط به بیماری‌زایی شده و در نتیجه از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های دفاعی باعث افزایش مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا گردد که به آن مقاومت اکتسابی سیستمیک می‌گویند (Wang and Li, 2006). با عنایت به این‌که بخش وسیعی از زمین‌های زیر کشت در ایران دارای شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک است و با توجه به این‌که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در تولید گیاهان زراعی در کشور می‌باشد، از این‌رو حصول بالاترین میزان عملکرد با مصرف حداقل آب ممکن در کوتاه‌ترین زمان با کاربرد نانو ترکیباتی چون دی‌اکسید تیتانیوم و سالیسیلات در مقابل روش‌های به‌نژادی که اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند ضروری به نظر می‌رسد که پژوهش حاضر نیز در راستای سنجش اثرات محلول‌پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم و اسیدسالیسیلیک بر عملکرد دانه ذرت و برخی تغییرپذیری‌های بیوشیمیایی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش کمبود آب صورت می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز بر روی هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ ذرت دانه‌ای به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی تنش کمبود آب در سه سطح آبیاری در ۱۰۰ درصد رطوبت

دانشمندان در حوزه‌های مختلف از جمله کشاورزی را به خود جلب کرده و امیدواری‌هایی را برای غلبه بر برخی مسائل در بخش کشاورزی به‌وجود آورده است (Khan et al., 2017). این ترکیب از جمله موادی می‌باشد که امروزه خواص آن مبنی بر کاهش اثرات مخرب تنش خشکی گزارش شده است (Rosi, 2018). تنش خشکی علاوه بر کاهش رشد رویشی و تغییر در ساختارهای آناتومیکی گیاه، از طریق ایجاد تنش ثانویه نظیر تنش اکسیداتیو، سبب تغییر در مسیرهای سنتز ترکیبات و متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Sharma et al., 2012). تنش اکسیداتیو ناشی از تنش کمبود آب به این معنی می‌باشد که تولید گونه‌های فعال اکسیژن^۱ سبب آسیب رساندن به غشاء سلولی و تخریب برخی از آنزیم‌ها می‌شود (Zheng et al., 2007). مطالعات فراوان حاکی از افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن تحت تنش خشکی است (Hassanuzzman et al., 2014). سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتیون ردوکتاز از مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان می‌باشند (Fung et al., 2004). تیتانیوم با تاثیر بر فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه باعث افزایش فعالیت آنزیم رویسکو، فعالیت فسفوریلاسیون نوریکروپلاست، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، نیترات ردکتاز و پراکسیداز می‌شود (Khater, 2015). محققین، دلیل افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تاثیر تیمار تیتانیوم را ناشی از افزایش جذب آهن دانسته‌اند (Mahmmodzadeh et al., 2013). همچنین با کاهش رادیکال آزاد اکسیژن و مالون-دی‌آلدئید و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش اثرات منفی تنش می‌شود (Zheng et al., 2007). آنزیم کاتالاز^۲ و آسکوربات پراکسیداز^۳ در حذف پراکسید هیدروژن نقش مهمی ایفا می‌کنند و هرکدام میل ترکیبی متفاوتی با این نوع از گونه‌های فعال اکسیژن دارند. طی تحقیقی گزارش شد که اثر غلظت‌های پایین نانو ذرات تیتانیوم (۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر لیتر) ۸۷ درصد در مقایسه با شاهد موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گردید ولی افزایش غلظت (۱۰ تا ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) موجب کاهش در فعالیت این آنزیم شد (Usatii, 2017). سوپر اکسید دیسموتاز یکی از آنزیم‌هایی است که تبدیل O_2^{-} به O_2 و آب را کاتالیز می‌کند (Hafis et al., 2011). افزایش این آنزیم در شرایط تنش کمبود آب تحت تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم شاید به‌عنوان اولین واکنش مستقیم به تشکیل O_2^{-} باشد (Ghorbanpour et al., 2015). لی و همکاران (Li et al., 2008) گزارش کردند که کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم موجب کاهش اثرات اکسیداتیو در کلروپلاست اسفناج در اثر افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز

- 1- Reactive oxygen species (ROS)
- 2- Catalase (CAT)
- 3- Ascorbate peroxidase (APX)

محفظه افزایش یافت تا به فشار یک سوم بار (۰/۳) رسید. این فشار در خاک‌های رسی ۰/۳، در خاک‌های شنی ۰/۱ و به طور متوسط ۰/۲ بار می‌باشد. در این آزمایش با توجه به بافت خاک، این میزان فشار ۰/۳ بار در نظر گرفته شد (Khalilvand Behrouzfar, 2017). دستگاه به منظور ایجاد تعادل در سیستم به مدت ۲۴ ساعت در همان حال رها گردید. پس از این مدت و زمانی که دیگر از لوله‌ها آبی خارج نمی‌شد هوای محفظه خالی و نمونه‌های خاک بلافاصله در آزمایشگاه به وسیله ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفتند. پس از توزین خاک خشک شده مقدار رطوبت وزنی خاک در حالت ظرفیت مزرعه‌ای با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد (Luxmore, 1990):

$$\theta m = \frac{Mw - Ms}{Ms} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه θm مقدار رطوبت وزنی، Mw وزن خاک مرطوب و Ms وزن خاک خشک بر حسب گرم می‌باشد. بعد از مشخص شدن رطوبت وزنی خاک در حالت ظرفیت مزرعه‌ای، مقدار رطوبت نقطه پژمردگی نیز در فشار ۱۵ بار به همان ترتیب اندازه‌گیری و تفاضل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی، به عنوان رطوبت قابل دسترس در نظر گرفته شد (Khan et al., 2017). پس از مشخص شدن میزان رطوبت قابل دسترس، هر روز از خاک نمونه‌برداری شده و میزان رطوبت وزنی خاک تعیین شد و فواصل دور آبیاری در تیمارهای مختلف به دست آمد.

قابل دسترس، آبیاری تا ۷۵ درصد رطوبت قابل دسترس و آبیاری تا ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس و ترکیب فاکتوریلی کاربرد نانو دی اکسید تیتانیوم (در سه سطح صفر، ۰/۰۱ و ۰/۰۳ درصد) و اسید سالیسیلیک (در دو سطح صفر و نیم درصد) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به طول چهار متر، فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی متر بود. فاصله هر کرت فرعی با کرت فرعی دیگر ۷۵ سانتی متر و فاصله کرت‌های اصلی از هم دیگر به دلیل وجود تنش آبی ۳ متر در نظر گرفته شد. محلول پاشی روی اندام هوایی سه بار طی فصل رشدی و در مراحل ۸-۱۰ برگ، ظهور تاسل و پر شدن دانه‌ها انجام شد. مشخصات نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم مصرف شده در جدول ۱ نشان داده شده است. جهت تعیین زمان آبیاری در تیمارهایی که تنش در آن‌ها اعمال گردید، ابتدا ظرفیت مزرعه‌ای خاک اندازه‌گیری شده و سپس شاهد بر اساس ظرفیت مزرعه‌ای و سایر تیمارها بر اساس سطوح تنش‌ها آبیاری شدند. آبیاری بر حسب نیاز کانوپی و بسته به شرایط آب و هوایی منطقه انجام و از مرحله ۸-۱۰ برگ به بعد با توجه تخلیه رطوبت از خاک با توجه به شرایط تبخیر و تعرق اعمال شدند. به منظور افزایش دقت در آبیاری‌ها، میزان رطوبت خاک توسط دستگاه TDR نیز همه روزه مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. برای تعیین ظرفیت مزرعه‌ای از دستگاه صفحات فشار استفاده شد. بدین ترتیب که نمونه‌هایی از خاک مزرعه برداشت و سپس نمونه‌های خاک اشباع شدند. نمونه‌های اشباع شده در دستگاه صفحه فشار روی صفحات سرامیکی قرار داده شدند. سپس به آهستگی هوای داخل

جدول ۱- مشخصات نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (اناتاز) مصرف شده

Table 1- Characteristic of TiO_2 nanoparticles (anatase) used in the experiment

کشور تولیدکننده Producing country	سطح مخصوص نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم Special surface area of TiO_2 (SSA)	متوسط اندازه نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم Average particular size of TiO_2 (APS)	ظاهر نانو دی اکسید تیتانیوم Appearance of TiO_2	درصد خلوص %Purity
آلمان Germany	$>50 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	30 nm	پودر سفید With powder	99.9%

بر اساس روش ناکانو و آسادا (Nakano and Asada, 1981) و به ازای هر میلی گرم پروتئین در عصاره آنزیمی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز اندازه‌گیری شد.

محتوای کلروفیل

مقدار کلروفیل طبق روابط پورا (Porra, 2002) برای کلروفیل a (رابطه ۲)، کلروفیل b (رابطه ۳) و مجموع کلروفیل‌های a و b (رابطه ۴) محاسبه شد.

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ml}) = 12.25 E^{663} - 2.55 E^{645} \quad (2)$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ml}) = 20.31 E^{645} - 4.91 E^{663} \quad (3)$$

$$\text{Total Chl} = 17.76 E^{645} + 7.34 E^{663} \quad (4)$$

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به روش جیانوپولوتیس و رایز (Giannopolities and Ries, 1977) اندازه‌گیری شده و فعالیت آنزیمی مطابق روش (Loury et al., 1951) به ازای میکرو مول بر گرم وزن تر بیان گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز در برگ

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز به روش چاکماک و هورست (Cakmak and Horst, 1991) انجام و فعالیت آنزیمی به ازای تغییرات جذب به میلی گرم پروتئین در دقیقه محاسبه گردید.

فعالیت آسکوربات پراکسیداز در برگ

به هنگام رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌ها، یعنی در زمانی که دم سنبله زرد شد، برداشت نهایی صورت گرفت. برای تعیین عملکرد دانه از ردیف‌های ۲ و ۳ پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از بالا و پایین کرت، بوته‌های باقیمانده از وسط هر کرت بریده شده و اندازه‌گیری صورت گرفت. تجزیه واریانس و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه و شکل‌ها توسط برنامه EXCEL ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک تحت سطوح مختلف تنش کمبود آب بر صفات فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال پنج درصد و محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر محلول‌پاشی SA تحت تنش کمبود آب بر صفت سوپر اکسید دیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل محلول‌پاشی $n\text{-TiO}_2$ در سطوح مختلف تنش کمبود آب نیز بر صفت سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر محلول‌پاشی $n\text{-TiO}_2$ و SA نیز بر صفت سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده ذرت تحت تأثیر تنش کمبود آب و محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک
Table2- The analysis of variance traits of corn under water deficit stress, TiO_2 and salicylic acid

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	سوپر اکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	کاتالاز Catalase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کلروفیل کل Total Chl	عملکرد دانه Seed yield
Rep	بلوک	2	0.004 ^{ns}	0.00048**	0.00007 ^{ns}	72.28**	67.70**	296**
WDS	تنش کمبود آب	2	9.846**	0.002**	0.121**	31.29**	14.78**	88.2**
Error1	خطای ۱	4	0.019	0.0000046	0.001	0.005	0.088	0.078
SA	اسید سالیسیلیک	1	0.069*	0.001**	0.046**	1.236**	0.283*	4.693**
WDS×SA	تنش × اسید سالیسیلیک	2	0.083**	0.000041*	0.005*	10.39	0.222*	8.539**
TiO_2	نانو دی اکسید تیتانیوم	2	0.447**	0.002**	0.020**	0.547**	0.113 ^{ns}	1.88**
WDS× TiO_2	تنش × تیتانیوم	4	0.101**	0.00030**	0.003 ^{ns}	3.47**	0.367**	2.727**
SA× TiO_2	سالیسیلیک × تیتانیوم	2	0.040*	0.00024**	0.002 ^{ns}	0.416**	0.414**	3.922**
WDS×SA× TiO_2	تنش × سالیسیلیک × تیتانیوم	4	0.014 ^{ns}	0.00039*	0.004*	3.51**	2.02**	6.643**
Error2	خطای ۲	30	0.011	0.00012	0.001	0.002	0.066	0.075
CV%	ضریب تغییرات %	-	10.59	3.72	8.11	0.59	6.28	2.34

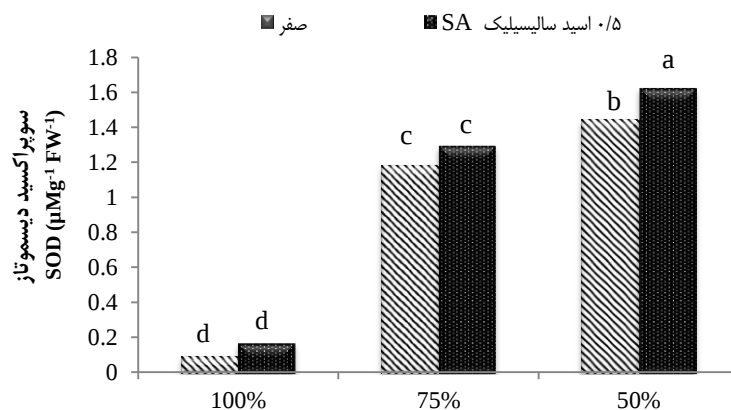
ns, *, ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

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

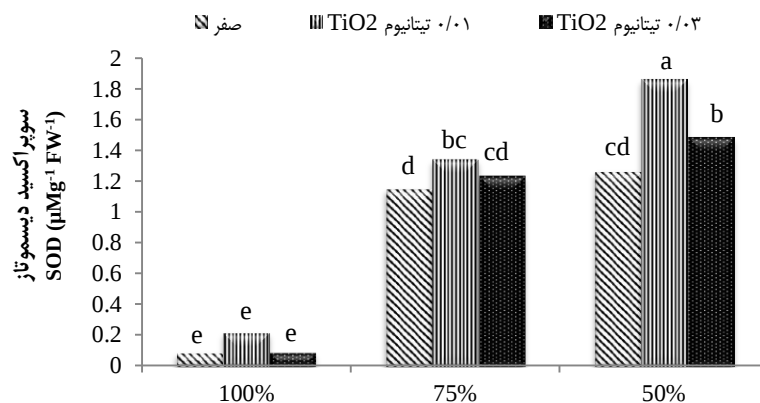
WDS: Water Deficit Stress, SA: Salicylic Acid, TiO_2 : Nano Dioxide Titanium

محلول‌پاشی با ۰/۵ درصد SA در شرایط آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را افزایش داد در حالی که عدم محلول‌پاشی در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد رطوبت قابل دسترس) فعالیت آنزیم پراکسیداز را کاهش داد (شکل ۱). همچنین تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس، محلول‌پاشی با ۰/۱ درصد $n\text{-TiO}_2$ موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد در حالی که در شرایط آبیاری کامل و عدم

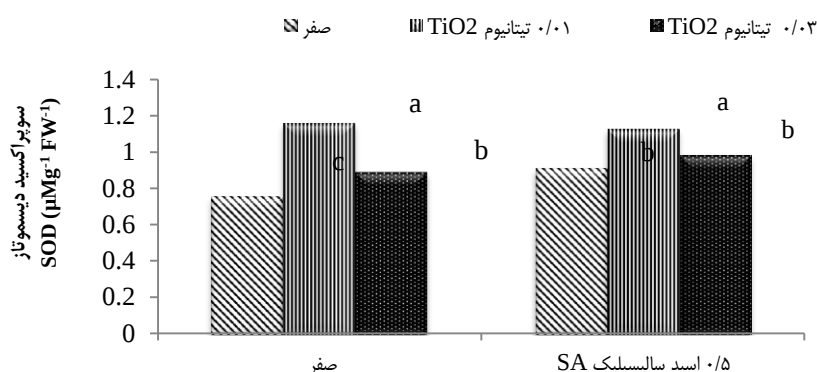
کاربرد $n\text{-TiO}_2$ کم‌ترین فعالیت این آنزیم وجود داشت (شکل ۲). با توجه به شکل ۳ می‌توان گفت که محلول‌پاشی با ۰/۱ درصد $n\text{-TiO}_2$ تأثیر مثبتی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط کاربرد و عدم کاربرد SA را داشته است. بیشترین فعالیت این آنزیم در شرایط محلول‌پاشی با ۰/۱ درصد $n\text{-TiO}_2$ و ۰/۵ درصد SA بود که اختلاف معنی‌داری با محلول‌پاشی با ۰/۳ درصد $n\text{-TiO}_2$ و ۰/۵ درصد SA نداشت.



شکل ۱- اثرات محلول پاشی SA تحت تنش کمبود آب بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز
Figure 1- Effects of salicylic acid foliar application under water deficit stress on superoxide dismutase activity



شکل ۲- اثرات محلول پاشی n-TiO₂ تحت تنش کمبود آب بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز
Figure 2- Effects of TiO₂ foliar application under water deficit stress on superoxide dismutase activity



شکل ۳- اثرات محلول پاشی n-TiO₂ و SA بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز
Figure 3- Effects of TiO₂ and SA foliar application on superoxide dismutase activity

(*al.*, 2002). در پژوهشی بر روی دو گیاه لوبیا و گوجه فرنگی مشاهده شد که کاربرد خارجی SA در شرایط تنش، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش داد (Senaratna *et al.*, 2000). آگاروال و همکاران (Agarwal *et al.*,

سوپراکسید دیسموتاز نوعی آنتی اکسیدان قوی است که اولین ماده ی تولید شده از احیای یک ظرفیتی اکسیژن، یعنی رادیکال سوپر اکسید را از بین می برد از این رو به سوپر اکسید دیسموتاز دفاع اولیه در مقابل رادیکال های آزاد اکسیژن اطلاق می شود (Alscher *et*

2005) در بررسی نقش کاربرد ABA، سالیسیلیک اسید، کلسیم و پراکسید هیدروژن بر القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهچه‌های گندم گزارش کردند که کاربرد یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اثر موثری بر افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربیک پراکسیداز و کاتالاز داشت. آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز نقش موازی و مشابهی را در سیستم دفاعی گیاه ایفا می‌نمایند به‌طوری‌که وظیفه هر دو آنزیم، سم‌زدایی و تجزیه پراکسید هیدروژن تولیدشده در سلول‌ها می‌باشد (Ariano et al., 2005). افزایش فعالیت این آنزیم‌ها نشان‌دهنده مهار کارآمد پراکسید هیدروژن می‌باشد که این افزایش در نتایج تحقیقات انجام‌شده درباره یونجه (Wen-Bin et al., 2009) گزارش شده است. با توجه به این دلایل پیشنهاد شده است که آسکوربات پراکسیداز ممکن است یک تنظیم‌کننده و کنترل‌کننده داخل سلولی خوبی جهت حفظ تعادل گونه فعال اکسیژن باشد (Sairam and Tyagi, 2004). به هنگام قرار گرفتن گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی، گیاهان از طریق مکانیسم آنزیمی و با سنتز آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز رادیکال‌های اکسیژن را جمع‌آوری نموده و به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کنند. این ترکیب در ادامه توسط آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز به آب و اکسیژن تبدیل می‌شوند (Sairam and Tyagi, 2004).

بر اساس نتایج بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در محلول‌پاشی ۰/۰۱ درصد TiO_2 بدون کاربرد SA تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس بود. همچنین محلول‌پاشی با ۰/۰۱ درصد n- TiO_2 و ۰/۵ درصد SA تحت رطوبت ۵۰ درصد قابل دسترس بیشترین مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را داشت (جدول ۲). محلول‌پاشی با ۰/۰۱ درصد n- TiO_2 و ۰/۵ درصد SA تحت آبیاری کامل (۱۰۰ درصد رطوبت قابل دسترس) بیشترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را داشت. عدم کاربرد n- TiO_2 و SA تحت آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس نیز کمترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را داشت (جدول ۲). کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به واسطه کاهش سنتز کلروفیل و همچنین ناشی از تخریب آن باشد. تخریب مولکولی کلروفیل به‌علت جداشدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیل‌لاز صورت می‌گیرد (Parvaiz and Satyawati, 2008). تنش کمبود آب با بستن روزنه‌ها و تخریب کلروفیل و کلروپلاست باعث کاهش فتوسنتز می‌شود (Wen-Bin et al., 2009). نوری و همکاران (Nouri et al., 2017) در بررسی اثر محلول‌پاشی نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد عدس نشان دادند که تیمار نانو ذرات تیتانیوم با مقادیر ۰/۰۵ درصد و ۰/۰۲ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر میزان کلروفیل a داشت. همچنین مصرف نانو ذرات تیتانیوم در مرحله ۵۰ درصد

گلدهی و ۶۰ درصد ساقه‌دهی به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر میزان کلروفیل a داشته است. بر اساس همین تحقیق تیمارهای شاهد دارای بیشترین میزان کلروفیل b در هر دو مرحله بودند و کمترین میزان کلروفیل b نیز در تیمار ۰/۰۱ درصد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در مرحله ۶۰ درصد ساقه‌روی مشاهده شد. در مطالعه‌ای علت تجمع کلروفیل در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط آبیاری معمولی را به اثرات مکمل مواد مغذی مانند منیزیم، آهن و گوگرد بیان کردند. استفاده از نانو دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند ساختار کلروفیل را بهبود بخشد، جذب نور را افزایش دهد و تشکیل کلروفیل را آسان‌تر کند. همچنین، با انتقال انرژی نور به الکترون‌های فعال، بر فعالیت‌های شیمیایی و در نهایت بر فتوسنتز تأثیر می‌گذارد (Mahmoodzadeh et al., 2013). نتایج محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2017) نشان داد که میزان کلروفیل در ۱۰ پی‌پی‌ام نانو ذره دی‌اکسید تیتانیوم کاهش می‌یابد. استفاده از اسپری نانو TiO_2 بر روی گیاه ذرت در مراحل مختلف رشدی موجب افزایش معنی‌دار رنگدانه فتوسنتزی شد به‌طوری‌که بیشترین میزان افزایش در کلروفیل a، b، کارتنوئیدها و آنتوسیانین به‌وسیله اسپری نانو ذرات در مراحل تولید مثلی (ظهور گل نر و ماده) حاصل شد (Morteza et al., 2013). محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم در تمامی تیمارها موجب افزایش عملکرد دانه در متر مربع شد به طوری که کاربرد ۰/۰۱ درصد نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدون کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل ۳۱ درصد عملکرد دانه را نسبت به شاهد و ۹۲ درصد نسبت به عدم کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک تحت آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس که کمترین تیمار را به خود اختصاص داده بود افزایش داد (جدول ۳). با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که احتمالاً با کاربرد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم رشد گیاه تحت تأثیر قرار گرفته در نتیجه با افزایش کلروفیل و فتوسنتز گیاه پتانسیل تولید اندام‌های زایشی بهبود یافته و در نتیجه باعث عملکرد دانه افزایش یافته است. بر اساس تحقیق خلیل‌وند بهروزیار و همکاران (Khalilvand Behrouz et al., 2019) محلول‌پاشی با غلظت ۰/۰۱ درصد نانو دی‌اکسید تیتانیوم تحت شرایط آبیاری کامل در مقایسه با عدم محلول‌پاشی این ترکیب تحت شرایط ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس و شاهد عملکرد بلال را به‌ترتیب ۵۸ و ۱/۸ درصد افزایش داد. در کل محلول‌پاشی با غلظت ۰/۰۱ درصد نانو دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط تنش کمبود آب توانست فعالیت آنزیم‌های مرتبط با کاهش اثر مخرب تنش را افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد بلال در شرایط مشابه و عدم مصرف این ترکیب شود.

نتیجه‌گیری

سالیسیلیک تحت آبیاری ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس به ترتیب ۷۹ درصد و ۲/۵ برابر و ۸۲ درصد محتوای کلروفیل a, b و کلروفیل کل را افزایش داد. در تحقیق حاضر با توجه به تأثیر مثبتی که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم در بهبود فعالیت آنزیم‌های مؤثر در فرایند فتوسنتز و تعدیل اثرات مخرب تنش کمبود آب داشت، در نتیجه افزایش ۳۱ درصدی در عملکرد دانه نسبت به شاهد و شرایط عدم مصرف و کم آبیاری ایجاد شد.

نتایج این پژوهش نشان داد که محلول پاشی با ۰/۰۱ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم تحت شرایط ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس بیشترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را داشت. همچنین محلول پاشی با ۰/۰۱ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم و ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک تحت رطوبت ۵۰ درصد قابل دسترس بیشترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز را به خود اختصاص داد. کاربرد ۰/۰۱ درصد نانو دی اکسید تیتانیوم و ۰/۵ درصد اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل در مقایسه با عدم کاربرد نانو دی اکسید تیتانیوم و اسید

جدول ۲- اثر محلول پاشی نانو دی اکسید تیتانیوم و اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف تنش کمبود آب بر صفات مورد مطالعه

Table 2- Effect of TiO_2 and salicylic acid under water deficit stress on traits of study

تنش کمبود آب Water deficit stress	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	نانو دی اکسید تیتانیوم TiO_2	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (mg.pro.min)	کاتالاز Catalase (mg.pro.min)	کلروفیل a Chl a ($\text{mg g}^{-1} \text{FW}^{-1}$)	کلروفیل b Chl b ($\text{mg g}^{-1} \text{FW}^{-1}$)	کلروفیل کل Total Chl ($\text{mg g}^{-1} \text{FW}^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield (g m^{-2})
۱۰۰ درصد رطوبت قابل دسترس 100 % FC	صفر	0	0.271k	0.0653k	8.377f	5.710a	14.38b	620.8cd
	0	0.01	0.350ghij	0.0856fghi	7.937h	5.920c	12.57e	817.6a
		0.03	0.340ghij	0.0816ij	8.517e	4.960b	13.23cd	761.9a
	۰/۵ درصد	0	0.373efg	0.843ghi	7.293i	4.120cd	11.58f	635.4bcd
	0.5	0.01	0.377efg	0.0923de	10.71a	7.280a	16.26a	700.7b
		0.03	0.368efgh	0.0876efghi	9.193b	4.540bc	13.63c	642.4bc
۷۵ درصد رطوبت قابل دسترس 75 % FC	صفر	0	0.293jk	0.0776j	8.977c	4.250cd	13.54c	595.4cde
	0	0.01	0.302ijk	0.0933de	8.763d	4.540bc	13.29cd	698.4b
		0.03	0.312hijk	0.0910ef	8.517e	4.310c	12.85de	597cde
	۰/۵ درصد	0	0.355fghi	0.0883efgh	8.137g	4.310c	12.45e	529.8efg
	0.5	0.01	0.422de	0.1077c	6.043l	3.640def	10.71g	570.2d-g
		0.03	0.411def	0.0900efg	7.213m	2.650h	9.237ij	522.2fg
۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس 50 % FC	صفر	0	0.446cd	0.0820hij	5.960j	2.870gh	8.888j	424.2h
	0	0.01	0.497bc	0.1283a	6.290j	3.343fg	9.480hij	626.3cd
		0.03	0.484bc	0.1183b	6.183k	3.263fgh	9.120ij	588.1c-f
	۰/۵ درصد	0	0.413def	0.0923de	6.013l	4.02cde	10.05h	525.8fg
	0.5	0.01	0.587a	0.0980d	6.333j	3.110fgh	9.460hi	547.7efg
		0.03	0.515b	0.09133ef	6.370i	3.473efg	9.190ij	504.6g

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means in the same columns, followed by the same letter are not significantly difference ($P < 0.05$).

References

1. Agarwal, S., Sairam, K. R., Srivastava, G. C., Aruna, T., and Meena, C. R. 2005. Role of ABA, Salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzyme induction in wheat seedlings. *Plant Science* 169: 559-570.
2. Ahmad, P. 2016. Water stress and crop plants. First edition. John Wiley & Sons, Ltd, 466 pp.
3. Alscher, R. G., Erturk, N., and Heath, L. S. 2002. Role of superoxide dismutase (SOD) in controlling oxidative stress in plant. *Experimental Botany* 153: 1331-1341.
4. Anjum, S., Xie, X., Wang, L., Saleem, M., Man, C., and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agriculture Research* 6(9): 2026-2032.
5. Aref, I., El Atta, H., El Obeid, M., Ahmed, A., Khan, P., and Iqbal, M. 2013. Effect of water stress on relative water and chlorophyll contents of *Juniperus procera* Hochst. Ex Endlicher in Saudi Arabia. *Life Science Journal* 10 (4): 681-685.
6. Ariano, S., Bartolomeo, D., Cristos, X., and Andras, M. 2005. Antioxidant defences in Olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. *Functional Plant Biology* 32: 45-53.
7. Cakmak, I., and Horst, W. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glycine max*). *Plant Physiology* 83:463-468.
8. Fadeel, B., Pietroiusti, A., and Shvedova, A. 2017. Adverse Effects of Engineered Nanomaterials. Exposure, Toxicology, and Impact on Human Health. Elsevier Academic Press, New York. Pp. 468.
9. Fung, R. W. M., Wang, C. Y., Smith, D. L., Gross, K. C., and Tiam, M. 2004. MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers. *Plant Science* 166: 711-719.
10. Ghorbanpour, M., Hatami, M., and Hatami, M. 2015. Activating antioxidant enzymes, hyoscyamine and scopolamine biosynthesis of *Hyoscyamus niger* L. plants with nano-sized titanium dioxide and bulk application. *Acta agriculturae Slovenica* 105 (1): 23-35.
11. Giannopolities, C. N., and Ries, S. K. 1977. Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314.
12. Hafis, C., Romero-Puertas, M. C., Rio, L. A., Abdely, C., and Sandalio, L. M. 2011. Antioxidative response of *Hordeum maritimum* L. to potassium deficiency. *Acta Physiologiae Plantarum* 33: 193-202.
13. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Gill, S. S., and Fujita, M. 2014. Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. In: Gill, S. S., Tuteja, N. (ed.): *Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance* 18: 209-249.
14. Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H. R., and Moradi, O. 2010. Assessment of particular of nano titanium in wheat agricultural characterization on the drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology* 2: 295-301. (in Persian).
15. Kamanga, R. M., Mbega, E., and Ndakidemi, P. 2018. Drought Tolerance Mechanisms in Plants: Physiological Responses Associated with Water Deficit Stress in *Solanum lycopersicum*. *Advances in Crop Science and Technology*, 6 (3): 1-8.
16. Khalilvand Behrouzfar, E., Yarnia, M., and Ghasemi, A. 2019. Effect of nano-TiO₂ foliar application on ear yield and activity of some antioxidant enzymes of sweet corn under water deficit stress. *Crop Physiology Journal* 11 (43): 105-118. (in Persian).
17. Khalilvand Behrouzfar, E. 2017. Effect of Seed Priming with Ethanol, Methanol, Boron and Manganese on some of Morphophysiological Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.) under Water Deficit Stress. *Journal of Crop Ecophysiology* 11 (4): 805-820. (in Persian).
18. Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K., AlMutairim, K. A., and Siddiqui, Z. H. 2017. Role of nanomaterials in plants under challenging environments. *Plant Physiology and Biochemistry* 110: 194-209.
19. Khater, M. S. 2015. Effect of Titanium Nanoparticles (TiO₂) on Growth, Yield and Chemical Constituents of Coriander Plants. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 48 (4): 187-194.
20. Lei, Z., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Hao, H., Xiao-qing, L., and Fashui, H. 2008. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts under UV-B radiation. *Biological Trace Element Research* 121: 69-79.
21. Leng, G., and Hall, L. 2019. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment* 654: 811-821.
22. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., and Rand, R. J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193: 265-275.
23. Luxmore, B. 1990. Methods of soil Analysis. Part II, 3th Edition, pp.493-59.
24. Mahmoodzadeh, H., Aghili, R., and Nabavi, M. 2013. Physiological effect of TiO₂ nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum*). *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences* 3(14): 1365-1370.
25. Moaveni, P., Talebi, R., Farahani, H. A., and Maroufi, K. 2011b. Study of TiO₂ nano particles spraying effect on the some physiological parameters in barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Advances in Environmental Biology* 5(7): 1663-1667.

26. Morteza, E., Moaveni, M., Aliabadi Farahani, H., and Kiyani, M. 2013. Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO₂ spraying at various growth stages. Springer Plus 247 (2): 1-5.
27. Mohammadi, H., Esmailpour, M., and Gheranpaye, A. 2017. Effects of TiO₂ nanoparticles and water deficit stress on morpho-physiological characteristics of dragonhead plants. Acta agriculturae Slovenica 107(2): 385-396.
28. Nakano, Y., and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22 (5): 867-880.
29. Nouri, H., Moaveni, P., and Soltaanieh, M. 2017. Study of nano particle TiO₂ spraying on chlorophyll, yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik). Iranian Journal of Pulses Research 8 (2): 57-68. (In Persian).
30. Parvaiz, A., and Satyawati, S. 2008. Salt stress and Phyto-biochemical responses of plants. Plant Soil Environment 54: 89-99.
31. Porra, R. J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.
32. Rao, S. R., Qayyum, A., Razzaq, A., Ahmad, M., Mahmood, I., and Sher, A. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and L- Tryptophan in drought tolerance on maize. The Journal of Animal and Plant Sciences 22 (3): 768-772.
33. Rosi, H. S. 2018. Kalyanasundaram, Synthesis, characterization, structural and optical properties of titanium-dioxide nanoparticles using *Glycosmis cochinchinensis* leaf extract and its photocatalytic evaluation and antimicrobial properties. World News of Natural Sciences 17: 1-15.
34. Sairam, R., and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. Current Science 86(3): 407-421.
35. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.
36. Sharma, P., Jha, A., Dubey, R., and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal of Botany 14: 1-26.
37. Talebi, S., Jafarpour, M., Mohammadkhani, A., and Sadeghi, A. 2012. The effect of different concentrations of salicylic acid and sodium chloride on Iranian Borage. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4:1348-1352.
38. Usatii, A., Besliu, A., and Efremova, N. 2017. Effect of Fe₃O₄ and TiO₂ nanoparticles on catalase activity and B-carotene content at pigmented yeast strain *Rhodotorula gracilis*. Acta Universitatis Cibiniensis Series E: Food Technology 21 (1): 35-40.
39. Wang, L. J., and Li, S. H. H. 2006. Salicylic acid induced heat or cold tolerance in relation to Ca²⁺ homeostasis and antioxidant system in young grape plants. Plant Science 170: 685-694.
40. Wen-Bin, W., Yun-Hee, K., Haeng-Soon, L., Ki-Yong, K., and Xi-Ping, D. 2009. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. Plant Physiology and Biochemistry 47: 570-577.
41. Zheng, L., Su, M., Liu, C. H., Li, C., Huang, H., Wu, X., Liu, X., Yang Gao, F., and Hong, F. 2007. Effects of Nanoanatase TiO₂ on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. Biological Trace Element Research 119:68-76.



Effect of nano-TiO₂ and Salicylic Acid Foliar Application on Some Biochemical Changes of Corn S.C. 704 (*Zea mays* L.) under Water Deficit Stress

F. Shargi¹, E. Khalilvand Behrouzfar^{2*}

Received: 07-02-2020

Accepted: 23-05-2020

Introduction

Drought is one of the most important causes of decline in agricultural productivity worldwide. TiO₂ is one of the materials that nowadays, its properties have been reported to reduce environmental impact. TiO₂ with increasing activity of PS II light reduction, activity of chloroplast photophosphorylation, rubisco enzyme, nitrate reductase enzyme activity, catalase and peroxidase and improving the content of some essential elements in plant tissues, increases the yield of different crops. Salicylate is one of the natural growth regulators and is a natural phenolic compound that contributes to the regulation of physiological processes in plants. In the study of the effect of nano-TiO₂ spraying on some of the agronomy characteristics of wheat, 0.02% nano-TiO₂ foliar application under drought stress conditions increased seed yield by 23% compared to non-foliar application. Considering that a large part of cultivated land in Iran has semi-arid climatic conditions and because of its special geographical position, in most parts of it, important abiotic stresses such as drought, salinity, and temperature decrease the yield and, in some cases, led also to failure of agriculture. Therefore, the aim of this study was to evaluate and identify important biochemical change of corn 704 single cross under water deficit stress and application of the TiO₂ and salicylic acid compound.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of nano-TiO₂ and salicylic acid foliar application on some biochemical changes of corn 704 single cross under water deficit stress, an experiment was conducted in split plot factorial based on RCBD in three replications at the Research Station of the Islamic Azad University, Tabriz Branch, during growing seasons of 2017-2018. Treatments were three levels of water deficit stress (50, 75, and 100% field capacity (FC)), three levels of the factorial combination of nano-TiO₂ (n-TiO₂) foliar application (non-application (control), 0.01, and 0.03), and two levels of salicylic acid (SA) foliar application (non-application and 0.5%). Field capacity was determined from the pressure plate machine. TiO₂ foliar application on the shoot was performed three times during the growing season and in the stages of 8-10 leaf, tasselling, and grain filling. Irrigation was done according to the needs of the canopy and depending on the weather conditions of the region and irrigation treatments were applied from 8-10 leaves stage. superoxide dismutase (SOD) activity, catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) activity, and chlorophyll (Chl) content were measured according to the Giannopolities and Ries (1977), Cakmak and Horst (1991), Nakano and Asada (1981), and Porra (2002) methods, respectively. The MSTAT-C software was used to analysis of variance and the means of the treatments were compared using the Duncan's test at 0.05 probability level.

Results and Discussion

N-TiO₂ and SA foliar application increased CAT, APX activity ($p < 0.05$) and content of Chl a, b, and total Chl ($p < 0.01$). Also, the interaction between SA and water deficit stress on SOD and interaction between n-TiO₂ and SA on SOD ($p < 0.05$) was significant. Results showed that 0.01% n-TiO₂ foliar application under 50% water deficit stress had the highest SOD. Furthermore, 0.01% n-TiO₂ and 0.5% SA foliar application under 50% water deficit stress had the highest CAT. 0.01% n-TiO₂ and 0.5% SA foliar application under complete irrigation had 79%, 2.5 times and 82 % more than Chl a, b and total Chl compare non-use of n-TiO₂ and SA under 50% FC, respectively.

Conclusions

The results of this study showed that 0.01% n-TiO₂ foliar application had the highest superoxide dismutase enzyme activity under 50 % FC. Also, 0.01% n-TiO₂ and 0.5% SA foliar application under 50 % FC had the highest catalase enzyme activity. Use of 0.01% n-TiO₂ and 0.5% SA under normal stress (50 % FC), increased 79%, 2.5 time and 82% Chl a, b and total Chl compare to control, respectively.

Keywords: Ascorbate peroxidase, Catalase, Chlorophyll content, Foliar application, Superoxide dismutase

1- MSc of Agronomy, Department of Agronomy and plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2- Assistance Professor, Department of Agronomy and plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

(*- Corresponding Author Email: e.khalilvand@iaut.ac.ir)

Contents

Effect of Nitrogen and Water Deficit Stress on Corn (<i>Zea mays</i> L.) Root Characters and Grain Yield	151
R. Sarwarzadeh, H. R. Khazaei, A. Nezami	
Effect of Foliar Application of Organic Fertilizers Extracts on Agronomic Traits and Yield Quality and Quantity of Six Moldavian Balm Ecotypes	165
R. Aghaee Okhchelar, R. Amirmia, M. Tajbakhsh shishvan, M. Ghiyasi	
Evaluation of Radiation use Efficiency of Maize (<i>Zea mays</i> L.) and Styrian Oil Pumpkin (<i>Cucurbita pepo</i> var. <i>styriaca</i>) under Different Intercropping Ratios	180
P. Rezvani Moghaddam, G. A. Asadi, B. Bicharanloo	
Effect of Intercropping Ratios of Cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.) with Persian Shallot (<i>Allium altissimum</i> Regel.) on their Agronomic Criteria and Land Equivalent Ratio	195
J. Meshkani, M. Kafi, S. Khorramdel, F. Moallem Benhangi	
Simulation Effects of Sowing Date on Growth and Yield of Rainfed Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) by CROPGRO-CHICKPEA Model	212
H. Hajishabani, F. Mondani, A. Bagheri	
Effects of Planting Date and Deficit Irrigation on Water Use Efficiency of Cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.) at two different Densities in Mashhad Conditions	224
K. Hajmohammadnia Ghalibaf, M. Bannayan Aval, M. H. Rashed Mohassel, N. Valaei, F. Yaghoubi, Z. Rashidi	
Effect of Seeding Density on Radiation Absorption and Use Efficiency of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Genotypes under Direct Seeding Conditions	239
F. Pouramir, B. Yaghoubi, Y. Alizadeh	
Effect of nano-TiO₂ and Salicylic Acid Foliar Application on Some Biochemical Changes of Corn S.C. 704 (<i>Zea mays</i> L.) under Water Deficit Stress	250
F. Shargi, E. Khalilvand Behrouzyar	

Iranian Journal of Field Crops Research

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

Vol. 18

No. 2

2020

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

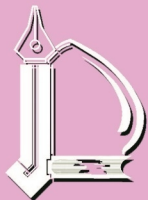
Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. 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.2

2020

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

- Effect of Nitrogen and Water Deficit Stress on Corn (*Zea mays* L.) Root Characters and Grain Yield 151**
R. Sarwarzadeh, H. R. Khazaei, A. Nezami
- Effect of Foliar Application of Organic Fertilizers Extracts on Agronomic Traits and Yield Quality and Quantity of Six Moldavian Balm Ecotypes 165**
R. Aghaee Okhchelar, R. Amirnia, M. Tajbakhsh shishvan, M. Ghiyasi
- Evaluation of Radiation use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) and Styrian Oil Pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) under Different Intercropping Ratios 180**
P. Rezvani Moghaddam, G. A. Asadi, B. Bicharanloo
- Effect of Intercropping Ratios of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) with Persian Shallot (*Allium altissimum* Regel.) on their Agronomic Criteria and Land Equivalent Ratio 195**
J. Meshkani, M. Kafi, S. Khorramdel, F. Moallem Benhangi
- Simulation Effects of Sowing Date on Growth and Yield of Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) by CROPGRO-CHICKPEA Model 212**
H. Hajishabani, F. Mondani, A. Bagheri
- Effects of Planting Date and Deficit Irrigation on Water Use Efficiency of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) at two different Densities in Mashhad Conditions 224**
K. Hajmohammadnia Ghalibaf, M. Bannayan Aval, M. H. Rashed Mohassel, N. Valaei, F. Yaghoubi, Z. Rashidi
- Effect of Seeding Density on Radiation Absorption and Use Efficiency of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes under Direct Seeding Conditions 239**
F. Pouramir, B. Yaghoubi, Y. Alizadeh
- Effect of nano-TiO₂ and Salicylic Acid Foliar Application on Some Biochemical Changes of Corn S.C. 704 (*Zea mays* L.) under Water Deficit Stress 250**
F. Shargi, E. Khalilvand Behrouzyar