بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و جوانه‌زنی زیره سیاه (*Bunium persicum Boiss*) ۱
حمیدرضا سعیدی گراغانی- ابوالفضل رنجبر فردویی- مجتبی سلیمانی ساردو- محمدجواد مهدوی

تأثیرسولفات‌آهن بر تعداد کپسول در گره برگ کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط مزرعه ۸
سید فاضل فاضلی کاخکی- علی طیبی

بررسی اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به‌همراه سولفات‌آمونیوم در کنترل سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) ۱۹
حمزه اسداللهی- مهدی راستگو- ابراهیم ایزدی دربندی- علی قنبری

اثر تراکم و آرایش کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) ۳۱
علیرضا کوچکی- مهدی نصیری محلاتی- فرانک نوربخش- علیرضا نه بندانی

بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات و شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام مختلف گندم تحت شرایط کم‌آبیاری در اصفهان ۴۶
حمیدرضا سالمی- علیرضا توکلی- داود افیونی

اثر مدیریت کود سرک نیتروژن توسط کلروفیل‌متر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری ۶۱
سیدعبداله محمدی- حمیدرضا خزاعی- احمد نظامی

تأثیر همزیستی قارچ Trichoderma atroviride بر ویژگی‌های رشد و عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در خاک آلوده تیمار شده با نیترات مس ۷۴
الهه تشکری فرد- فاطمه تقوی قاسمخیلی- همت‌اله پیردشتی- محمد علی تاجیک قنبری- محمد علی بهمنیار

بررسی برهمکنش اکوتیپ و تاریخ کاشت در زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با استفاده از روش‌های مختلف پایداری تک متغیره ۸۷
جلال قنبری- غلامرضا خواجویی‌نژاد- قاسم محمدی‌نژاد

بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کیفیت علوفه تاج‌خروس زراعی (*Amaranthus hypochondriacus* L.) تحت اثر برخی پیش‌تیمارهای بذری ۱۰۳
سمیرا مالکی خضرلو- مهدی تاجبخش

بررسی اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Protulaca oleracea* L.) ۱۱۳
حامد جوادی- پرویز رضوانی‌مقدم- محمد جواد ثقه‌الاسلامی- غلامرضا موسوی

بهبود رشد و عملکرد گندم با استفاده از کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش رطوبتی ۱۲۴
ندا وهبی- یحیی امام- هادی پیرسته انوشه

جذب و کارآیی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L.) تحت تأثیر منابع مختلف کودهای آلی، زیستی، شیمیایی و کشت مخلوط با شنبلیله ۱۳۶
سید احمدرضا رضوی- محسن جهان- مهدی نصیری محلاتی- کمال حاج محمدنیا قالیباف

تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی دانه توده‌های محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح مختلف تنش خشکی ۱۵۰
اسماعیل قلی‌نژاد

اثر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی ۱۶۸

اسماعیل رضائی چیانه- سرور خرم‌دل- آرزو مولودی- امیر رحیمی
اثر نوع و نحوه کاربرد تیمارهای کودی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی سیر ۱۸۵
زهرا امین- سیف‌اله فلاح- علی عباسی سورکی
محلول‌پاشی کود پتاسیم به‌منظور کاهش اثرات شوری آب آبیاری در سیب‌زمینی ۲۰۴
حمید ملاحسینی- امیرهوشنگ جلالی
اثر تاریخ کاشت بر فنولوژی و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد بادام‌زمینی تحت تاثیر کودهای زیستی و شیمیایی ۲۱۶
علی سپهری- حسن شهبازی

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 1-7

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۷-۱

تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر رشد و جوانه‌زنی زیره سیاه (*Bunium persicum Boiss*)

حمیدرضا سعیدی گراغانی[۱*]- ابوالفضل رنجبر فردویی[۲]- مجتبی سلیمانی ساردو[۳]- محمدجواد مهدوی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۰۲

چکیده

گیاهان مرتعی از اهمیت و نقش ویژه‌ای در صنایع دارویی برخوردارند. کاهش کمی و کیفی منابع آب همراه با شوری خاک از مهمترین عوامل بازدارنده در تکثیر و رشد گیاهان بشمار می رود. لذا این امر نیازمند شناخت و بررسی شرایط مطلوب رشد گیاهان می‌باشد. زیره سیاه (*Bunium persicum Boiss*) یکی از گیاهان مهم دارویی ایران است که دارای خواص ضد نفخ، مقوی معده، اشتهاآور و مدر بودن می‌باشد. تنش‌های شوری و خشکی از عوامل مهم کاهش عملکرد این گیاه محسوب می‌شود. به‌منظور بررسی تأثیر تنش‌های شوری و خشکی دو آزمایش به‌صورت مجزا در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار بر روی بذر گونه زیره سیاه انجام شد. تنش خشکی شامل پنج سطح (شاهد، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸-) مگاپاسکال ایجاد شده توسط محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ و تنش شوری نیز در شش سطح (شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ $dS.m^{-1}$) اعمال شد. بعد از اعمال تیمارها شمارش بذور جوانه‌زده به‌صورت روزانه انجام شد و درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاه‌چه و نیز ضریب آلومتری و بنیه بذر تعیین گردید. نتایج آنالیز آماری نشان داد که تنش‌های خشکی و شوری، درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه‌ی بذر، ضریب آلومتری، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و گیاه‌چه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهند، به‌طوری‌که جوانه‌زنی در تیمار ۰/۶- مگاپاسکال خشکی به‌طور کامل متوقف شد. داده‌های تحقیق نشان می‌دهد که زیره سیاه گونه‌ای حساس نسبت به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری در مراحل ابتدایی جوانه‌زنی و رشد بذور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بنیهٔ بذر، تنش محیطی، ضریب آلومتری، طول ساقه‌چه

مقدمه

جوانه‌زنی عبارتست از خروج ریشه‌چه از بذر که با عمل پاره کردن پوسته بذر و تحت تأثیر عوامل محیطی و عوامل داخلی بذر صورت می‌گیرد (Tamartash *et al*., 2010). علاوه بر مرحله جوانه‌زنی، مرحله دیگری هم در رشد گیاه وجود دارد که مرحله سبز شدن می‌باشد. مرحله سبز شدن، خروج گیاه‌چه از سطح خاک و قرار گرفتن برگ‌های اولیه در مقابل تابش نور می‌باشد (Greenwood and Macfarlen, 2009). تنش‌های محیطی و به‌ویژه تنش شوری و خشکی از عوامل بازدارنده رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شوند (Ghaderi *et al*., 2006). خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر انداختن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Kafi and Keshmiri, 2011). کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب، همراه با از بین رفتن آماس، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد از علائم مخصوص تنش آب است (Kafi and Keshmi, 2011). بررسی‌ها نشان داده است که بین تحمل به خشکی در طی مرحله جوانه‌زنی و نیز مراحل بعدی رشد ارتباط مثبتی وجود دارد (Ramolya *et al*., 2004). همچنین شوری نیز از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و کاهش عناصر غذایی مورد نیاز مثل کلسیم و پتاسیم (ناشی از به خوردن تعادل یونی) بر جوانه‌زدن بذرها و استقرار گیاه‌چه آنان تأثیر می‌گذارد (Ghoulam and Fares, 2001). گیاهان مختلف توانایی‌های متفاوتی به لحاظ استقرار و رشد در محیط‌های شور از خود نشان می‌دهند. تفاوت در قدرت مقاومت به شوری نتنها در میان جنس‌ها و گونه‌ها بلکه حتی در داخل یک گونه نیز مشاهده می‌شود (Spaniel, 2008). میزان کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاه تحت شرایط تنش شوری به ترکیب نمک، غلظت نمک و مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Dadkhah, 2010).

مطالعات متعددی در زمینه تأثیر تنش‌های محیطی به‌خصوص شوری و خشکی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان دارویی و مرتعی در

۱- دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشگاه تهران
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
۳- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت
۴- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه پیام نور قمصر
(*- نویسنده مسئول: Email: Hamidsaidi65@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.20002

ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته که به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد. Ebadi *et al*., (2009) در بررسی اثر تنش شوری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی چهار رقم بابونه آلمانی (*Matricaria recutita*) مشاهده نمودند که در بین ارقام مختلف بابونه آلمانی تفاوت‌های معنی‌داری در واکنش به تنش شوری وجود دارد. همچنین در مطالعه اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی گونهٔ *Limonium stocksii* بیشترین جوانه‌زنی در تیمار شاهد مشاهده گردید و با افزایش شوری مقدار جوانه‌زنی نیز کاهش یافت (Zia and Khan, 2004). Mehrabi *et al*., (2011) با بررسی اثرات تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه ژنوتیپ‌های کلزا بیان نمودند که ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در سطوح مختلف شوری عکس‌العمل‌های متفاوتی دارند بطوریکه با افزایش تنش شوری جوانه‌زنی و رشد بعدی گیاهچه‌ها در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر Salehi *et al*., (2011) با بررسی اثر تنش شوری و کم‌آبی بر تولید زیست توده کوشیا (*Kochia scoparia L*) بیان نمودند که میزان تحمل به تنش شوری این گونه با افزایش مصرف آب افزایش می‌یابد. Farzaneh *et al*., (2011) با بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی دو رقم اصلاح شده گیاه دارویی گل‌گندم (*Centaurea cyanus* L.) و توده بومی ایران در شرایط تنش شوری نشان دادند که با افزایش تنش شوری تمامی صفات اندازه‌گیری شده کاهش معنی‌داری یافته‌اند.

گونه زیره سیاه (*B. Persicum*) گیاهی چند ساله از خانواده Apiaceae می‌باشد که در مناطق کوهستانی استان کرمان می‌روید (Zargari, 1996). بذرهای زیره سیاه حاوی ۳/۵ تا ۹ درصد اسانس بوده که به وسیله تقطیر با آب حاصل می‌گردد. عمده‌ترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس زیره سیاه عبارتند از کومین آلدهید، گاماترپینن، آلفاپینن، بتاپینن، آلفاترپینن و لیمونن. از جمله خواص درمانی این گونه می‌توان به مواردی همچون اشتها آور، مدر، ضدنفخ، مقوی معده و افزاینده شیر مادران اشاره کرد (Saber-Amoli *et al*., 2005). بنابراین با توجه به اهمیت این گونه از جنبه‌های اشاره شده، در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر تنش‌های شوری و خشکی بر جوانه‌زنی و رشد بذور آن پرداخته شده است تا توانایی این گونه به‌عنوان یک گیاه مقاوم از این منظر نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق بذور گونه زیره سیاه (*B. persicum*) از مراتع ییلاقی استان کرمان جمع‌آوری شد. بذرهای جمع‌آوری شده پس از انتقال به آزمایشگاه، با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و پس از آبکشی با آب مقطر، در محلول بنومیل یک در هزار قرار داده شدند تا ضدعفونی به‌طور کامل صورت گیرد. سپس با آب مقطر شستشوی کامل بذرها انجام شد. همچنین جهت حذف اثرات سایر عوامل در طی انجام آزمایش، کلیه وسایل آزمایشگاهی اعم از پتری‌دیش، کاغذ صافی، پنس و غیره در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه استریل شدند. قبل از کاشت، قوه نامیه بذور تعیین شد. به منظور بررسی اثرات تنش شوری و خشکی دو آزمایش مجزا در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و پنج تیمار تنش خشکی و شش تیمار تنش شوری اجرا شد. برای تنش شوری از محلول کلرید سدیم (NaCl) و تنش خشکی از محلول پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG 6000) جهت شبیه‌سازی شرایط تنش استفاده شده است. برای ایجاد تنش شوری از شش سطح پتانسیل مختلف صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و برای ایجاد تنش خشکی از پنج سطح پتانسیل مختلف صفر (شاهد)، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال استفاده گردید. همچنین برای محاسبه میزان PEG لازم از فرمول کافمن و اکرت (Kaufman and Eckard, 1971) به شرح زیر استفاده شد:

$$\Psi_s = -(1.18\times10^{-2})\,C - (1.8\times10^{-3})\,C^2 + (2.67\times10^{-4})\,CT + (8.39\times10^{-7})\,C^2T \quad (۱)$$

در این فرمول C میزان PEG لازم بر حسب گرم در کیلوگرم آب، T دمای محیط که معمولا ۲۵ درجه سانتیگراد فرض می‌شود و پتانسیل اسمزی Ψ_s بر حسب بار می‌باشد. پتری‌دیش‌ها در طول دوره اجرای آزمایش به منظور جلوگیری از تبخیر محلول و ثابت ماندن غلظت محلول در کیسه‌های نایلونی قرار گرفتند و سپس در ژرمیناتور با دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد با فتوپریود ۱۶ ساعت تاریکی و ۸ ساعت روشنایی، در رطوبت ۷۰ درصد نگهداری شدند. شمارش بذور جوانه‌زده هر روز صورت گرفته و در روز سی و دوم به علت اینکه از روز بیست و هشتم تا سی و دوم جوانه‌زنی انجام نشده بود شمارش متوقف شد. همچنین طول ریشه‌چه[1]، طول ساقه‌چه[2] و طول گیاه‌چه تا آخرین روز انجام آزمایش اندازه‌گیری شد. درصد جوانه‌زنی[3] (GP) از تقسیم تعداد نهایی بذور جوانه‌زده بر تعداد بذور کشت شده و سرعت جوانه‌زنی[4] (GR) با رابطه ذیل محاسبه شد (Maguire, 1962).

$$R_s = \sum_{i=1}^{n} Si \;/\; Di \quad (۲)$$

در این فرمول R_s= سرعت جوانه‌زنی، S_i= تعداد بذور جوانه‌زده در هر شمارش، D_i= تعداد روز تا شمارش و n= دفعات شمارش می‌باشد. پس از انجام مراحل آزمایشگاهی، ضریب آلومتری[5] (نسبت

1- Radicle length
2- Plumble length
3- Germination percentage
4- Germination Rate
5- Alomtric index

طول ریشه‌چه به ساقه‌چه) و شاخص بنیه بذر[1] با استفاده از رابطه ذیل محاسبه گردید (Abdul-baki and Anderson, 1973).

(۳) ۱۰۰/(میانگین طول گیاه‌چه برحسب میلی‌متر× درصد جوانه‌زنی = شاخص بنیه بذر

از آن‌جایی‌که برخی داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نکردند، داده‌های به‌دست آمده جهت تجزیه و تحلیل آماری، نرمال‌سازی شد. بنابراین قبل از آزمون‌های آماری از تبدیل لگاریتمی برای درصد جوانه‌زنی و از تبدیل $Y=\sqrt{X+0.5}$ برای نرمال کردن سایر شاخص‌ها استفاده گردید. برای انجام تجزیه آماری از نرم افزار SPSS 18 و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (با سطح اطمینان ۹۵ درصد) انجام شده است (Kalantari, 2006).

نتایج و بحث

بررسی درصد جوانه‌زنی گونه *B. persicum* تحت تأثیر تیمارهای مختلف شوری و خشکی

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد تیمارهای شوری اثر معنی‌داری از لحاظ آماری بر درصد جوانه‌زنی گونه زیره سیاه کرمانی داشته‌اند (P=۰/۰۰۱ و F=۵۷/۹). آزمون LSD نشان داد با افزایش میزان شوری از محلول شاهد به سمت تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در گونه مورد بررسی درصد جوانه‌زنی کاهش یافته است به طوریکه بیشترین درصد جوانه‌زنی متعلق به تیمارهای شاهد و ۵۰ میلی‌مولار بوده و کمترین درصد جوانه زنی مربوط به تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار است (شکل۱– الف). درصد جوانه‌زنی با افزایش خشکی نیز کاهش معناداری را در سطح ۹۹ درصد نشان داد (P=۰/۰۰۱ و F=۲۴۶/۳). به‌طوری‌که در سطوح مختلف خشکی حداکثر درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان آن متعلق به تیمار ۰/۶– مگاپاسکال می‌باشد (شکل۱– ب).

بررسی تأثیر تیمار شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد بذور گونه *B. persicum*

نتایج آنالیز واریانس یکطرفه نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای شوری از لحاظ سرعت جوانه‌زنی در سطح ۹۹ درصد وجود دارد.

با افزایش سطوح شوری کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی بذرها مشاهده گردید، به‌طوری‌که بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۲/۸۹ بذر در روز) در تیمار شاهد و کمترین آن (۰/۰۲ بذر در روز) در تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۱). با توجه به جدول آنالیز واریانس، بین سطوح مختلف تیمارهای شوری برای شاخص‌های رشد گیاه‌چه (طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاه‌چه) اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد وجود دارد. با افزایش میزان تنش شوری، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاه‌چه کاهش محسوسی نشان دادند. به‌طوری‌که بیشترین میزان کاهش در تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. با افزایش میزان شوری شاخص بنیه بذر نیز به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. مقایسه میانگین این شاخص به‌طور معنی‌داری از تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار با کاهش چشمگیری همراه بوده است. اگرچه تیمار شاهد دارای بالاترین امتیاز بنیه بذر بود اما با تیمار ۵۰ میلی‌مولار دارای اختلاف معناداری از لحاظ آماری نبود. بر خلاف شاخص‌های دیگر با افزایش غلظت کلرید سدیم ضریب آلومتری نیز افزایش یافته است. مقایسه میانگین ضریب آلومتری نشان داد اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار با دیگر سطوح شوری وجود دارد. اگرچه بین تیمارهای شاهد، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است (جدول ۱).

بررسی تأثیر تیمار خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد بذور گونه *B. persicum*

جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه تأثیر تیمارهای مختلف خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد بذور گونه زیره سیاه را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین سرعت جوانه‌زنی حاکی از این است که تیمار شاهد با میانگین ۲/۸۹ بذر در روز دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی و تیمار ۰/۶– مگاپاسکال با میانگین ۰/۲ بذر در روز دارای کمترین سرعت جوانه‌زنی بودند. در ضمن در تیمار ۰/۸– مگاپاسکال هیچگونه جوانه‌زنی رخ نداده است. با توجه به جدول آنالیز واریانس، اختلاف معناداری در سطح ۹۹ درصد بین سطوح مختلف تیمارهای خشکی برای شاخص‌های رشد گیاه‌چه (طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاه‌چه) مشاهده گردید. با افزایش تنش خشکی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاه‌چه کاهش محسوسی را از تیمار ۰/۴– مگاپاسکال نشان دادند، به گونه‌ای که بیشترین و کمترین طول شاخص‌های رشد گیاه‌چه به ترتیب در تیمارهای شاهد و ۰/۶– مگاپاسکال مشاهده شد. با افزایش تنش خشکی شاخص بنیه بذر نیز کاهش یافت و بین سطوح خشکی اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. در مقایسه میانگین شاخص بنیه بذر بین سطوح ۰/۴– و ۰/۶– مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما این دو تیمار با تیمارهای شاهد و ۰/۲– مگاپاسکال دارای اختلاف معنادار در سطح ۹۹ درصد هستند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، سطوح مختلف خشکی ایجاد شده اثر معنی‌داری بر ضریب آلومتری نداشت. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها،

1- Seed vigor index

سطوح مختلف خشکی ایجاد شده اثر معنی‌داری بر ضریب آلومتری نداشت (جدول ۲).

شکل۱- میانگین درصد جوانه‌زنی گونه *B. persicum* تحت تأثیر تیمارهای مختلف خشکی (الف) و شوری (ب)

Figure 1- The mean of germination percentage of *B. persicum* species in drought (A) and salinity treatment (B)

جدول۱- مقایسه شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد بذور گونه زیره سیاه در تیمارهای مختلف شوری

Table 1- Comparison of seeds germination and growth indices of *B. persicum* in salinity treatment

صفات مورد آزمون (Factors)	مقدار F	مقدار *P*	تیمار شوری (میلی‌مولار) (Salinity treatment)					
			شاهد (Control)	50	100	150	200	300
سرعت جوانه‌زنی (Germination Rate)	67.34	0.001	2.89[a]	2.81[a]	1.39[b]	1.01[b]	0.3[c]	0.02[c]
طول ریشه‌چه (میلی‌متر) (Radicle length)	41.5	0.001	19.02[a]	19.1[a]	16.97[a]	8.2[b]	4[c]	0.98[c]
طول ساقه‌چه (میلی‌متر) (Plumble length)	72.91	0.001	24.03[a]	18.31[ab]	16.69[b]	2.11[c]	0[d]	0[d]
طول گیاه‌چه (میلی‌متر) (Seedling length)	40.32	0.001	43.05[a]	37.41[ab]	33.93[b]	10.21[c]	4[d]	0.98[d]
شاخص بنیه‌بذر (Seed vigor index)	84.21	0.001	41.71[a]	35.15[a]	23.8[b]	3.5[c]	1.12[c]	0.2[c]
ضریب آلومتری (Alomtric index)	7.12	0.03	0.79[b]	1.05[b]	1[b]	4[a]	-	-

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

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

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی به‌ویژه در صنعت داروسازی و کمبود آنها در طبیعت، بررسی جنبه‌های مختلف زراعی این گیاهان به‌خصوص مقاومت آنها در برابر تنش‌های محیطی از اهمیت به‌سزایی در مدیریت آنها برخوردار است. از نتایج بدست آمده در این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تنش شوری و خشکی به‌طور معنی‌داری بر متغیرهای درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین رشد گیاه‌چه (طول ریشه‌چه و ساقه‌چه) گونه زیره سیاه (*B. persicum*) تأثیرگذارند. با افزایش سطوح تیمارهای شوری و خشکی درصد جوانه‌زنی کاهش محسوسی داشت. به‌نظر می‌رسد افزایش شوری روی فعل و انفعالات حیاتی بذر اثر منفی گذاشته و موجب جلوگیری از جوانه‌زنی بذر می‌شود. همچنین کاهش درصد جوانه‌زنی در تنش خشکی می‌تواند ناشی از تأثیر مستقیم تجزیه کندتر مواد آندوسپرم لپه‌ها با انتقال کندتر مواد تجزیه شده به گیاه‌چه باشد که با نتایج مطالعات قادری و همکاران (Ghaderi *et al*., 2011) بر روی گونه ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و Tamartash *et al*., (2010) بر روی گونه شبدر برسیم (*Trifolium alexanderium* L.) مطابقت دارد.

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد بذور گونه زیره سیاه *B. persicum* در تیمارهای مختلف خشکی

Table 2- Comparison of seed germination and growth indices of *B. persicum* in drought treatment

صفات مورد آزمون (Factors)	مقدار F	مقدار P	تیمار خشکی (مگاپاسکال) Drought treatment				
			شاهد (Control)	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
سرعت جوانه‌زنی (Germination Rate)	17.31	0.001	2.89[a]	1.87[b]	0.43[c]	0.2[c]	-
طول ریشه‌چه (میلی‌متر) (Radicle length)	18.23	0.001	19.02[a]	12.04[b]	5.15[c]	3[c]	-
طول ساقه‌چه (میلی‌متر) (Plumble length)	84.3	0.001	24.03[a]	11.1[b]	5.84[b]	0[c]	-
طول گیاه‌چه (میلی‌متر) (Seedling length)	271.02	0.001	43.05[a]	23.14[b]	10.99[c]	3[d]	-
شاخص بنیه‌بذر (Seed vigor index)	64.2	0.001	41.71[a]	15.87[b]	1.54[c]	0.06[c]	-
ضریب آلومتری (Alomtric index)	0.42	1.08	0.79	1.09	0.83	–	-

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش غلظت کلرید سدیم سرعت جوانه‌زنی بذرها به شدت کاهش می‌دهد. این بخش از نتایج با مطالعه Manchanda and Garg (2008) که بیان می‌دارند اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب آب به کندی صورت گیرد فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی صورت می‌گیرد و در نتیجه آن مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد مطابقت دارد. همچنین تنش خشکی نیز موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر گونه زیره سیاه شد که می‌تواند ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل کل آب در اثر این تنش محیطی باشد (Ghaderi *et al*., 2011). تنش خشکی با محدود کردن جذب آب توسط بذر، حرکت و انتقال ذخایر بذر و یا با تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین جنین جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Perez *et al*., 2009). بذوری که در نواحی خشک و نیمه‌خشک از درصد جوانه‌زنی و سرعت رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه خوبی برخوردار باشند می‌توانند استقرار و عملکرد بهتر و بیشتری داشته باشند (Sharma *et al*., 2004). نتایج حاصل از اجرای این آزمایش نشان داد که تنش‌های شوری و خشکی اثر بازدارنده و معنی‌دار بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و در مجموع رشد گیاه‌چه دارد که در این میان سهم ریشه‌چه از این کاهش کمتر از ساقه‌چه است. به‌طوری‌که رشد ریشه‌چه نسبت به رشد ساقه‌چه زیره سیاه کمتر تحت تأثیر شوری قرار گرفته است. این بخش از نتایج با مطالعات Greenwood and Macfarlen, (2009)، Dadkhah (2010)، Salehi *et al*., (2011) و Mehrabi *et al*., (2011) که بیان می‌دارند کاهش جذب آب توسط بذر در شرایط تنش شوری باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاه‌چه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) می‌شود مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که تیمار شوری با غلظت‌های مختلف بر خلاف تیمار خشکی تأثیر معنی‌داری بر روی ضریب آلومتری (نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه) دارد و با افزایش غلظت نمک (NaCl) این شاخص کاهش می‌یابد. شاخص بنیه بذر نیز با افزایش سطوح شوری و خشکی کاهش یافت که این شاخص تابعی از درصد جوانه‌زنی و طول گیاه‌چه می‌باشد.

در مجموع با توجه به داده‌های تحقیق می‌توان اینگونه استنتاج کرد که زیره سیاه (*B. persicum*) گونه‌ای حساس نسبت به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری در مراحل ابتدایی جوانه‌زنی و رشد خود می‌باشد. گرچه به‌نظر می‌رسد با توجه به جوانه‌زنی بیشتر بذر این گونه در سطوح مختلف شوری نسبت به خشکی حساسیتش به خشکی بیش از شوری است. با انجام چنین تحقیقاتی می‌توان گونه‌های دارویی مقاوم به خشکی و شوری را در مراتع کشور شناسایی کرد تا با آگاهی محققان و کارشناسان در این زمینه نسبت به کشت و تکثیر آنها در مناطق مساعد کشور به‌صورت زراعی و دیم اقدام نمود.

References

1. Abdul baki, A. A., and Anderson J. D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science 13: 630-633.
2. Dadkhah, A. 2010. Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26 (3): 358-369. (In Persian with English abstract).
3. Ebadi, M. T. Azizi, M. and Farzane, A. 2009. Effect of Salt Stress on Germination Factors of Four Cultivars of Chamomile (*Matricaria recutita* L.). Environmental Stresses on Agricultural Sciences 2 (1): 93-98. (In Persian with English abstract).
4. Farzaneh, A., Ebadi, M. T., Nemati, S. H., and Arouiee, H. 2011. Evaluation of germination factors of two improved cultivars and one Iranian landrace of cornflower (*Centaurea cyanus* L.) under salt stress conditions. *Iranian* Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (1). (In Persian with English abstract).
5. Ghaderi, Sh., Ghorbani, J., Gholami, P., Karimzadeh, A., and Salarian, F. 2011. Effect of Salt and Drought Stresses on Germination Indices of *Vicia Villosa* L. Journal of Agroecology 3 (1): 121-130. (In Persian with English abstract).
6. Ghoulam C., and Fares K. 2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Seed Science and Technology 29: 357-364.
7. Greenwood, M. E., and Macfarlen, G. R. 2009. Effects of salinity on competitive interactions between two Juncus species. Journal of Aquatic Botany 90: 23-29.
8. Hosseini, H., and Rezvani Moghadam, P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). Iranian Journal of Field Crops Research 4 (1): 15-22. (In Persian with English abstract).
9. Jamil M., Deog, B. L., Kwang, Y. J., Ashraf, M., Sheong, C. L., and Euishik, R. 2006. Effects of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of European Agriculture 7 (2): 273-282.
10. Kafi, M., and Keshmiri, E. 2011. Study of Yield and Yield Components of Iranian Land Race and Indian RZ19 Cumin (*Cuminum cyminum*) under Drought and Salinity Stress. Journal of Horticulture Science 25 (3): 327-334. (In Persian with English abstract).
11. Kalantari, Kh. 2006. Data Processing and Analysis in Socio-Economic Research. Sharif Publication 388p.
12. Kaufman, M. R., and Eckard, A. N. 1971. Evaluation of stress control by polyethylene glycols by analysis of gulation, Plant Physiology 47: 453-456.
13. Maguire, J. D. 1962. Speeed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Science 2: 176-177.
14. Manchanda, G., and Garg, N. 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiology Plant 30: 595-618.
15. Mehrabi, A. A., Mansour, O., Fazelinasab, B. 2011. Effect of Salt Stress on Seed Germination, Seedling Growth and Callus Culture of Rapeseed (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crop Sciences 42 (1): 81-90. (In Persian with English abstract).
16. Perez, J. G., Robles, J. M., Tovar, J. C., and Botia, P. 2009. Response to drought and salt stress of lemon 'Fino 49' under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. Scientia Horticulturae 122: 83-90.
17. Ramolya, P. J., Patel, H., and Panday, A. N. 2004. Effect of salinization of soil in grows and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of Salvadora percica. Forest ecology and management, Article in press.
18. Saber-Amoli, S., Naseri, A., Rahmani, Gh. H., and Kalirad, A. 2005. Medicinal Plants of Kerman Province. Bimonthly Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 20 (4): 487-532. (In Persian with English abstract).
19. Salehi, M., Kafi, M., and Kiani, A. R. 2011. Effect of Salinity and Water Deficit Stresses on Biomass Production of Kochia (*Kochia scoparia*) and Trend of Soil Salinity. Seed and Plant Production Journal 27 (2): 417-433. (In Persian with English abstract).
20. Sharma, A. D., Thakur, M., Rana, M., and Singh, K. 2004. Effect of plant growth hormones and abiotic stresses on germination, growth and phosphates activities in *Sorghum bicolor* L. (Moench seeds). African Journal of Biotechnology 3 (6): 308-312.
21. Spaniel, S., Marhold, K., Hodalova, I., and Lihova, J. 2008. Diploid and tetraploid cytotypes of Centaurea stoebe (Asteraceae) in central Europe: Morphological differentiation and cytotype distribution patterns. Folia Geobotanica 43 (2): 131-158.
22. Tamartash, R., Shokrian, F., and Kargar, M. 2010. Effects of salinity and drought stress on Trifolium alexanderium L. seed germination properties. Rangeland 4 (2): 288-297. (In Persian with English abstract).
23. Zargari, A. 1996. Medicinal Plants. Tehran University Publication, No 1810. (In Persian).
24. Zia, S., and Khan, M. A. 2004. Effect of light salinity and temperature on seed germination of Limonium stocksii. Can. J. Bo 82: 151-1.
25. Zire_zadeh, M., Shahin, M., and Tohidi, M. 2009. Assessment of Salinity and Drought Stresses on Germination Stage and Growth of Thymos. Crop physiology, Islamic Azad University, Ahvaz branch 1 (4). (In Persian).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 1-7

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۷-۱

Effect of Salinity and Drought Stresses on Germination Stage and Growth of Black Cumin (*Bunium Persicum Boiss*)

H. R. Saeedi Goraghani[1*]- A. Ranjbar Fordoei[2]- M. Soleimani Sardo[3]- M. J. Mahdavi[4]

Received: 03-03-2013
Accepted: 30-08-2016

Introduction

Range plants have important and crucial roles in medicinal industry andtogether with scarcity and low quality of the water and soil resources, prevent a quick recovery of the soil plant covering. Because of these restrictions, it is important to consider the use of salt and drought tolerant species for plantation and to preserve plant cover. In this sense, the use of native species such as black cumin (*Bunium persicum* Boiss) may be of interest due to their medicinal characteristics and potential ability to adapt to adverse conditions (dry and saline conditions). Black cumin (*B. persicum*) as a medicinal plant plays a vital role in Iranian medicine so there is a need to know about the factors affecting their growth and propagation.

Materials and Methods

To investigate the effects of drought and salt stresses on germination and growth in black cumin two separate experiments were conducted. Drought stress was applied through incubation in four different concentrations of PEG 6000 that provide solutions with water potentials ranging from -0.2 to -0.8 MPa (including control and four levels of dryness). Salinity treatments (including control and four levels of salinity) were prepared by adding molar concentrations of NaCl to provide a range of salinity from 50 to 300 mM. Germination percentage and speed was calculated by computation of germinated seeds every day. Growth parameters (rootlet, shoot and seedling length total), allometric index and seed vigority were obtained accordingly.

Results and Discussion

Seeds under both drought and salt stress showed significant reduction in germination percentage, germination rate, radicle length, plumule length, and alometric and seed vigor indices. This trend was much pronounced under high levels of NaCl and low levels of water potentials, so that germination at Ψ_s = -0.6 MP was completely stopped.

Conclusions

Assessment of drought and salt stresses on germination and growth in black cumin is very important in the management of its planting. With increasing salinity and drought levels, the germination reduced significantly. Although due to higher germination of seeds in different levels of salinity rather than drought, this species seems to be more sensitive to drought stress.

Keywords: *Bunium persicum,* Drought stress, Germination, Salt stress

1- Ph.D of Range Management, University of Tehran, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran
3- Ph.D of Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Iran
4- Ph.D of Combating Desertification, Payame Noor University (PNU), Iran
(*- Corresponding Author Email: Hamidsaidi65@yahoo.com)

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 8-18

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۸-۸

تأثیر سولفات‌آهن بر تعداد کپسول در گره برگ کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط مزرعه

سید فاضل فاضلی کاخکی[1*]- علی طیبی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۵

چکیده

به‌منظور تولید بیش از یک کپسول در هر گره برگ گیاه کنجد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه‌تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علمی کاربردی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مشهد در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتور اول شامل: بذر از گره برگ تک‌کپسول و بذر از گره برگ سه‌کپسولی و فاکتور دوم سه غلظت سولفات‌آهن (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ppm) استفاده شد. نتایج نشان‌داد که وزن تازه و خشک اندام هوایی در بوته‌های حاصل از بذرهایسه‌کپسولی بیشتر از بوته‌های حاصل از بذر تک‌کپسولی بود. تعداد کپسول در بوته در تیمار بذرهای سه‌کپسولی ۲/ عدد بوده که نسبت به تیمار بذر تک‌کپسولی حدود هشت درصد تعداد کپسول در بوته بیشتری داشت. اعمال غلظت ۱۰۰ppm سولفات‌آهن دربوته‌های حاصل از بذرهای تک‌کپسولی بیشترین درصد گره تک‌کپسولی را داشت، در صورتی‌که اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن در بوته‌های حاصل از بذر سه‌کپسولی بیشترین تعداد گره چندکپسولی را داشت. بیشترین وزن تازه و خشک اندام هوایی از اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن در بوته‌های حاصل از بذرهای سه‌کپسولی به‌دست آمد. بیشترین وزن دانه در بوته از اعمال ۵۰ppm سولفات‌آهن در بوته‌های حاصل از بذرهای سه‌کپسولی و به مقدار ۱۳/۲گرم در بوته به‌دست آمد. وزن دانه در بوته با درصد گره چندکپسولی (r=۰/۸۰**) و وزن خشک اندام هوایی (r=۰/۹۰**) هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری داشت. به‌طور کلی نتایج نشان‌داد که استفاده از سولفات‌آهن می‌تواند سبب افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ شود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، درصد گره تک‌کپسول، سه‌کپسول، وزن دانه در بوته

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که در نواحی نسبتاً خشک و با مقدار آب کم رشد می‌کند (Langham and Wiemers, 2002). سادگی تهیه روغن، پایداری زیاد، خاصیت ضد پیری، داشتن مقاومت زیاد به تخریب اکسیدانت‌ها به دلیل داشتن آنتی‌اُکسیدانت سزامین و سزامولین و مقاومت به خشکی از خصوصیات بارز روغن آن است (Chohura *et al*., 2009). کنجد تابستانه و متعلق به خانواده پدالیاسه (Pedaliaceae) دارای برگ‌های پهن، متقابل و گل‌های زنگوله‌ای شکل است. به‌طور طبیعی از هر گره برگ تنها یک کپسول خارج می‌شود. با این‌حال در برخی از اکوتیپ‌ها تعداد کپسول در هر گره برگ می‌تواند افزایش یابد (Weiss, 2000). محیط کشت، عملیات کشاورزی و رقم روی عملکرد دانه کنجد و شاخص برداشت آن تأثیرگذار است (Brigham, 1985). از این‌رو توانایی افزایش عملکرد کنجد از طریق اجزای عملکرد، به‌وسیله شرایط محیطی تأثیرگذار و عملیات زراعی تعیین می‌شود، برای مثال Hazarika, 1998، اظهار داشت که عملکرد دانه کنجد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر واریته و تاریخ کاشت قرار دارد. افزایش عملکرد دانه از اهداف بسیاری از اصلاح‌کنندگان بوده است و ارتباط مهمی بین کنترل ژنتیکی و اجزاء مختلف عملکرد (تعداد شاخه در گیاه؛ تعداد کپسول در گیاه؛ تعداد کپسول در محور برگ؛ طول کپسول در ساقه اصلی؛ تداوم زمان گلدهی، وزن دانه) وجود دارد (Baydar *et al*., 1999). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعداد کپسول در محور هر برگ یکی از اجزای مهم عملکرد بوده و با آن هم‌بستگی مثبت معنی‌داری دارد (Nezami *et al*., 2014). کپسول‌ها از گل‌های محور هر برگ از گره چهارم به بعد شکل می‌گیرد. Anon, 2004 کنجد را به تک‌کپسولی و چندکپسولی طبقه‌بندی کرد. صفت

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی فن‌آوری گیاهان دارویی و معطر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: Email: sf_fazeli@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.21228

چندکپسولی توسط یک ژن منفرد کنترل می‌شود و آلل‌های تولید سه‌کپسولی مغلوب هستند. ارقام سه‌کپسولی تنها از گره‌های وسط گیاه در هر محور برگ شکل می‌گیرند و گره‌های ابتدایی و انتهایی گیاه تک‌کپسول هستند. با این‌حال ارقام سه‌کپسولی ممکن است در هر گره برگ یک، دو، سه، چهار، پنج، شش و یا هفت کپسول داشته باشند (Langham, 2007). Weiss, 2000 ارقام با هشت کپسول در محور برگ را گزارش کرد. ارقام با سه کپسول در محور هر برگ به‌طور طبیعی در شرایطی که تراکم کم است در حاشیه مزارع دیده می‌شوند. در آزمایشی Kang *et al*., 1985 تعداد گل‌ها و کپسول‌ها را در محور هر برگ ارقام سه‌کپسولی شمارش کرد. نتایج او نشان‌داد که گره‌های برگی ابتدا و انتهای گیاه تک‌کپسولی بوده و تنها گره‌های وسط گیاه سه‌کپسولی بودند. با این‌حال گره‌های ابتدایی و انتهایی توانایی تولید سه کپسول را داشتند. ارقام سه‌کپسولی واکنش‌های متفاوتی به شرایط محیطی نشان می‌دهند. برای مثال در شرایط حاصلخیزی کم خاک و کمبود رطوبت آن‌ها در محور هر برگ تَک‌کپسول تولید می‌کنند و زمانی‌که شرایط تغذیه‌ای و آبیاری مناسب می‌شود، به سه‌کپسولی تغییر می‌یابند (Langham, 2007). تغذیه برگی یکی از روش‌هایی است که عنصر بدون تثبیت توسط رُس‌ها و مواد آلی خاک، از طریق برگ جذب شده و به‌منظور افزایش فرآیندهای مربوطه به مکان‌های هدف می‌روند. آهن یکی از عناصر غذایی است که نقش مهمی در برخی از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه دارد. این عنصر یکی از اجزای اصلی در گروه پروستتیک هِم (Hem) و هِمین (Hemin) است و برای تمام سیستم‌های ردوکس سیتوکرومی و نیز در فردوکسین‌ها اهمیت دارد. مکانیزم تأثیر در این سیستم‌ها بیشتر به فرم تعویض ظرفیت (والانس) آهن است که بیشتر در سیستم انتقال الکترون فتوسنتزی اهمیت دارد (Miller *et al*., 1982) و در شرایط کمبود آهن، به‌دلیل کاهش سنتز کلروفیل رنگ برگ‌ها به زردی متمایل (کلروز) می‌گردد. هم‌چنین در شرایط کمبود آهن سنتز پروتیین‌های آهن‌دار کلروپلاست کاهش یافته در نتیجه سبب متورم‌شدن تیلاکوییدها شده و از انباشتگی آن‌ها کاسته می‌شود. در این شرایط عرضه آهن سبب ترمیم پروتیین‌های کلروپلاست و افزایش کلروفیل برگ می‌گردد. نتایج مطالعه (Elabdeen and Metwally, 1982) نشان‌داد که محلول‌پاشی۰/۰۵ و ۰/۰۲ درصد آهن سه مرتبه بعد از انتقال نشاء گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) میزان کلروفیل برگ را افزایش داد. در آزمایش دیگر محلول‌پاشی۰/۲درصد آهن در ترکیب با عناصر دیگر باعث افزایش میانگین وزن میوه، تعداد میوه و تعداد کل در هر خوشه و عملکرد گوجه‌فرنگی رقم پیوساروبی شد (Bose and Tripathi, 1996).

یکی از روش‌های مهم افزایش عملکرد دانه در کنجد استفاده از ارقامی است که تعداد کپسول در هر محور برگ بیشتر باشد (Baydar *et al*., 1999). تعداد کپسول بیشتر در هر محور برگ می‌تواند به‌عنوان یک صفت مناسب در کنجد مورد توجه قرار گیرد (Weiss, 2000). اگر بتوان با انجام مدیریت زراعی از نظر تغذیه و آبیاری شرایطی را فراهم کرد تا تمامی بوته‌های کنجد کاشته شده سه‌کپسولی شوند، عملکرد دانه کنجد به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. این تحقیق به‌منظور بررسی نقش تأمین نیاز تغذیه‌ای کنجد بر تولید کپسول اضافی در محور هر برگ طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تغذیه‌ی برگی بر تولید تعداد کپسول در محور هر برگ گیاه کنجد، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علمی کاربردی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی خراسان رضوی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. زمین آزمایش سه سال آیش بود. عملیات خاک‌ورزی اولیه انجام شد. ابعاد هر کرت آزمایشی یک مترمربع بود. بذر موردنیاز طی سه سال و هر سال با انتخاب بوته‌های سه‌کپسولی از مزرعه تهیه شد. به این صورت‌که ابتدا بذر ۱۳اکوتیپ کنجد از بخش دانه‌های روغنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان در سال ۸۸ تهیه شد و در آزمایش مقدماتی ارزیابی عملکرد موردبررسی قرار گرفت (Nezami *et al*., 2014). در این سال بوته‌هایی با سه کپسول در هر محور برگ را انتخاب نموده، بذرگیری از آن‌ها انجام و سپس به بانک بذر منتقل گردیدند. در سال زراعی ۹۲-۹۱ مجدداً این بذرهای سه‌کپسولی در مزرعه و در گلدان به‌صورت جداگانه کشت گردیده و پس از رسیدگی محصول بوته‌هایی که تعداد گره سه کپسول در آن‌ها بیشتر بوده انتخاب شده و بذور به تفکیک از گره‌های سه‌کپسولی و از گره‌های تک‌کپسولی جداگانه تهیه شدند. این دو نوع بذر تهیه شده به‌عنوان فاکتور اول در آزمایش در نظر گرفته شدند. بذور مذکور را با قارچ‌کش ویتاواکس ضدعفونی کرده و سپس در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ماه کشت گردید. فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انتخاب و برای اطمینان از تراکم مطلوب در زمان کاشت از تراکم بالای بذر در مترمربع استفاده شد. پس از استقرار و در مرحله چهار برگی و در ارتفاع ۱۵سانتی‌متر عملیات تُنک دستی انجام شده و فاصله بوته‌ها در روی هر ردیف به هفت سانتی‌متر اصلاح شد. هم‌زمان با تُنک‌کردن بوته‌ها عملیات مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز نیز صورت گرفت. آبیاری هر هفته انجام شد. فاکتور دوم تیمارهای مختلف محلول‌پاشی با سولفات‌آهن (صفر، ۵۰ و۱۰۰ ppm) بود که در مرحله ۵۰ درصد رشد رویشی، ۵۰ درصد گل‌دهی و در ۵۰ درصد کپسول‌دهی بر روی بوته‌های کنجد محلول‌پاشی شده و پس از هر محلول پاشی آبیاری نیز انجام شد. پس از رسیدگی محصول از هر کرت آزمایشی تعداد پنج بوته پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انتخاب و جهت اندازه‌گیری صفات

مورفولوژیکی (ارتفاع، تعداد شاخه جانبی، تعداد گره در ساقه اصلی، تعداد گره سه‌کپسولی، تعداد گره تک‌کپسولی، وزن خشک اندام هوایی) اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰ دانه و وزن دانه در بوته) به آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی منتقل و اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی از آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت استفاده گردید. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آنالیز شده و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر نوع بذر تک‌کپسولی (Cap1) و بذر چندکپسولی (Cap2)

اثر تعداد کپسول بر ارتفاع گیاه، طول شاخه جانبی، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن خشک کپسول، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه معنی‌دار بوده اما صفاتی نظیر تعداد شاخه جانبی، درصد گره‌های تک‌کپسولی، درصد گره‌های چندکپسولی و وزن ۱۰۰۰ دانه تحت تأثیر کپسول معنی‌دار نشدند (جدول ۱). ارتفاع بوته در بوته‌های ناشی از بذرهای چندکپسولی (Cap2) ۸۸/۲ سانتی‌متر بود که نسبت به گیاهان ناشی از بذرهای تک‌کپسولی (Cap1) حدود ۲۰ درصد افزایش داشت (جدول ۲). طول شاخه جانبی در تیمار Cap2 حدود ۳۲ درصد بیشتر از تیمار Cap1 بود. در هر دو صفت وزن تازه و خشک اندام هوایی در Cap2 بیشتر از Cap1 بود. وزن خشک کپسول در گیاهان حاصل از بذرهای تک‌کپسولی (Cap1) ۵/۲۸ گرم بود. تعداد کپسول در بوته در تیمار Cap2 ۶۳/۲ عدد بوده که نسبت به تیمار Cap1 حدود هشت‌درصد بیشتر بود.این روند در تعداد دانه در کپسول نیز مشاهده شد. تیمار Cap2 با ۳۸گرم دانه در بوته نسبت به تیمار Cap1 حدود ۳۰ درصد وزن دانه در بوته بیشتری داشت (جدول ۲).

اثر سولفات‌آهن ($FeSO_4, H_2O$)

اثر محلول‌پاشی سولفات‌آهن بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود و تنها ارتفاع گیاه و وزن ۱۰۰۰ دانه تحت تأثیرسولفات‌آهن معنی‌دار نشدند (جدول ۱). بیشترین تعداد و طول شاخه جانبی با مقادیر ۸/۸۳ عدد و ۵۱/۱ سانتی‌متر از محلول‌پاشی۵۰ppm سولفات‌آهن به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب حدود ۱۹ و ۵۹ درصد افزایش داشت (جدول ۴). بیشترین درصد گره‌های چندکپسولی در بوته از اعمال سولفات‌آهن با غلظت ۵۰ppm به‌دست آمد و کمترین درصد گره چندکپسولی در بوته از اعمال غلظت ۱۰۰ppm سولفات‌آهن به‌دست آمد. همین روند در وزن تازه و خشک اندام هوایی مشاهده شد، به‌طوری‌که غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن با مقدار ۵۰/۶ و ۱۵/۱ گرم بیشترین مقادیر صفات مذکور را داشته و نسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۳۲ و ۳۷درصد وزن تازه و خشک اندام هوایی افزایش یافت (جدول ۳). کمترین وزن خشک کپسول و تعداد کپسول در بوته به‌ترتیب با مقدار ۴/۷۹ گرم و ۴۴/۶ عدد از اعمال تیمار ۱۰۰ppm سولفات‌آهن به‌دست آمد و بیشترین مقادیر وزن خشک کپسول و تعداد کپسول در بوته از تیمار ۵۰ppm سولفات‌آهن حاصل شد. تأثیر معنی‌دار بین غلظت صفر و ۵۰ppm سولفات‌آهن بر روی تعداد دانه در بوته مشاهده نشد و با افزایش غلظت سولفات‌آهن تعداد دانه در کپسول کاهش یافت. مقدار وزن دانه در بوته در غلظت صفر سولفات‌آهن ۷/۵۸ گرم بود که با افزایش غلظت به ۵۰ppm سولفات‌آهن وزن دانه با ۲۹درصد افزایش به ۱۰/۷گرم رسید. زمانی‌که غلظت سولفات‌آهن افزایش یافت و به ۱۰۰ppm رسید وزن دانه در بوته نسبت به شاهد حدود ۲۵درصد کاهش یافت (جدول ۳).

اثر متقابل تیمار نوع بذر(تَک‌کپسول و چند کپسول) در تیمار سولفات‌آهن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان‌داد که تمامی صفات مورد مطالعه تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای کپسول و سولفات‌آهن معنی‌دار شدند (جدول ۱). اعمال تمامی غلظت‌های سولفات‌آهن بر روی گیاهان حاصل از بذرهای چندکپسولی (Cap2)، ارتفاع بوته بیشتری نسبت به اعمال همین غلظت‌ها در گیاهان حاصل از بذرهای تَک‌کپسول (Cap1) داشتند (جدول ۴). بیشترین مقدار ارتفاع بوته از اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن در تیمار Cap2 با مقدار ۸۹/۹سانتی‌متر به‌دست آمد که نسبت به تیمار Cap2×Fe1 و تیمار Cap1×Fe2 به‌ترتیب حدود چهار و ۱۹درصد ارتفاع بیشتری داشت. بیشترین تعداد و طول شاخه جانبی به‌ترتیب با مقادیر ۱۰عدد و ۵۳/۱ سانتی‌متر از اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن و در Cap2 به‌دست آمد. از لحاظ تولید گره‌های تک‌کپسولی در بوته اعمال غلظت ۱۰۰ppm سولفات‌آهن در Cap1 (بذرهای تَک‌کپسولی) بیشترین درصد گره‌های تک‌کپسولی را در بوته تولید کرد. استفاده از غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن با مقدار ۵۵/۸ درصد و در Cap2 (بذرهای چندکپسول) بیشترین درصد گره‌های چندکپسولی را تولید کرد و استفاده از غلظت ۱۰۰ppm سولفات‌آهن و در تیمار Cap2 کمترین درصد گره‌های چندکپسولی را داشت (جدول ۴). اعمال تیمار ۵۰ppm سولفات‌آهن در Cap1 و Cap2 به‌ترتیب با مقادیر ۵۰/۵ و ۵۰/۹ گرم بیشترین مقدار وزن تازه اندام هوایی به‌دست آمد و کمترین مقدار صفت مذکور از تیمار شاهد و در Cap1 با مقدار ۳۱/۸ گرم بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه جانبی، درصد گره تَک‌کپسولی و چندکپسولی، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کپسول در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه، وزن دانه در بوته در گیاه کنجد

Table 1- Analysis of variation (mean of squares): plant height, number and length of branch, percent of one capsule, percent of multiple capsule, fresh weight of shoot, dry weight of shoot, dry weight of capsule, number of capsule per plant, number of seed per capsule, 1000 seed of weight and seed weight per sesame plant

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	ارتفاع بوته (Plant height)	تعداد شاخه جانبی در بوته (Number of branch/plant)	طول شاخه جانبی در بوته (Length of branch/plant)	درصد گره تَک‌کپسولی (Percent of one capsule)	درصد گره چندکپسولی (Percent of multiple capsule)	وزن تازه اندام هوایی (Fresh weight of shoot)	وزن خشک اندام هوایی (Dry weight of shoot)	وزن خشک کپسول (Dry weight of capsule)	تعداد دانه در کپسول (Number of seed/capsule)	تعداد کپسول در بوته (Number of capsule/plant)	وزن ۱۰۰۰دانه (1000 seedweight) (g)	وزن دانه دربوته (Seed weight/plant) (g)
بلوک (Block)	2	3.31 ns	1.56*	3.23 ns	19.9 ns	18.8 ns	0.088 ns	2.00*	4.57 ns	34.0 ns	16.1 ns	0.723 ns	0.707 ns
کپسول (Capsule)	1	1381**	0.501 ns	703**	11.2 ns	10.9 ns	90.5**	42.3**	19.4*	168.2**	121.5*	0.011 ns	35.7**
سولفات‌آهن (Ferrous sulfate)	2	2.34 ns	50.8**	1512**	1250**	145**	597.5**	75.0**	17.4*	58.1*	3065**	0.079 ns	38.9**
کپسول در سولفات‌آهن (Capsule × Ferrous sulfate)	2	24.9*	18.6**	89.4**	138.3**	135.8**	21.1*	2.14*	5.58*	110.5**	268**	0.131*	7.71**
خطا (Error)	10	11.2	0.356	7.02	8.53	8.45	5.69	0.435	3.82	14.4	15.4	0.038	0.89
ضریب تغییرات (CV)		4.22	9.33	7.96	4.62	7.95	6.08	5.86	24.9	7.78	6.49	6.54	11.83

ns، * و **به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns, *, ** are nonsignificant and significant in 1% and 5% probability level, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تعداد کپسول بر ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه جانبی، درصد گره تَک‌کپسولی و چندکپسولی، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کپسول در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه، وزن دانه در بوته. در گیاه کنجد

Table 2- Mean comparison effect of number of capsule on: plant height, number and length of branch, percent of one capsule, percent of multiple capsule, fresh weight of shoot, dry weight of shoot, dry weight of capsule, number of capsule per plant, number of seed per capsule, 1000 seed weight and seed weight per sesame plant

تیمار (Treatment)	ارتفاع بوته (height Plant) (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته (Number of branch/plant)	طول شاخه جانبی در یوته (Length of branch/plant) (cm)	درصد گره تَک‌کپسولی (Percent of one capsule)	درصد گره چندکپسولی (Percent of multiple capsule)	وزن تازه اندام هوایی (Fresh weight of shoot)(g)	وزن خشک اندام هوایی (Dry weight of shoot)(g)	وزن خشک کپسول (Dry weight of capsule) (g)	تعداد کپسول در بوته (Number of capsule /plant)	تعداد دانه در کپسول (Number of seed / capsule)	وزن ۱۰۰۰دانه (1000 seed weight) (g)	وزن دانه دربوته (Seed weight/ plant) (g)
Cap1	70.4b	6.22a	27.0a	64.0a	35.6a	36.9a	9.71a	5.28a	58.1a	45.7a	2.99a	5.56b
Cap2	88.2a	6.55a	39.5b	62.4a	37.5a	41.5b	12.7b	7.36b	63.2b	51.9b	2.95a	9.38a

Means, that have same alphabet are not significantly different at α=0.05 by Dunkan test.میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند

Cap1: one capsule, Cap2: multiple capsule

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف سولفات‌آهن بر ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه جانبی، درصد گره تَک‌کپسولی و چندکپسولی، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کپسول در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه، وزن دانه در بوته در گیاه کنجد

Table 3- Mean comparison effect of different amounts of ferrous sulfate on: plant height, number and length of branch, percent of one capsule, percent of multiple capsule, fresh weight of shoot, dry weight of shoot, dry weight of capsule, number of capsule per plant, number of seed per capsule, 1000 seedweight and seed weight per sesame plant

تیمار (Treatment)	ارتفاع بوته (height Plant) (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته (Number of branch/plant)	طول شاخه جانبی در یوته (Length of branch/plant) (cm)	درصد گره تَک‌کپسولی (Percent of one capsule)	درصد گره چندکپسولی (Percent of multiple capsule)	وزن تازه اندام هوایی (Fresh weight of shoot)(g)	وزن خشک اندام هوایی (Dry weight of shoot)(g)	وزن خشک کپسول (Dry weight of capsule) (g)	تعداد کپسول در بوته (Number of capsule /plant)	تعداد دانه در کپسول (Number of seed / capsule)	وزن ۱۰۰۰دانه (1000 seed weight) (g)	وزن دانه دربوته (Seed weight/ plant) (g)
Fe1	78.8^{a}	7.16^{b}	20.6^{c}	66.1^{b}	33.8^{b}	34.4^{b}	9.44^{b}	6.02^{ab}	50.7^{b}	50.8^{a}	3.09^{a}	7.58^{b}
Fe2	80.1^{a}	8.83^{a}	51.1^{a}	47.5^{c}	52.8^{a}	50.6^{a}	15.1^{a}	8.16^{a}	86.5^{a}	50.3^{a}	2.86^{a}	10.7^{a}
Fe3	79.3^{a}	3.16^{c}	28.1^{b}	76.1^{a}	24.0^{c}	32.5^{b}	8.97^{b}	4.79^{b}	44.6^{c}	45.2^{b}	2.97^{a}	5.65^{c}

Fe1: 0 ppm, Fe2: 50 ppm, Fe3: 100 ppm from ferrous sulfate.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کپسول در سولفات‌آهن بر ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه جانبی، درصد گره تَک‌کپسولی و چندکپسولی، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کپسول در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه، وزن دانه در بوته در گیاه کنجد

Table 4- Mean comparison effect of interaction iron sulfate and number of capsule on: plant height, number and length of branch, percent of one capsule, percent of multiple capsule, fresh weight of shoot, dry weight of shoot, dry weight of capsule, number of capsule per plant, number of seed per capsule, 1000 seedweight and seed weight per sesame plant

تیمار (Treatment)	ارتفاع بوته (Plant height) (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته (Number of branch/plant)	طول شاخه جانبی در بوته (Length of branch/plant) (cm)	درصد گره تَک‌کپسولی (Percent of one capsule)	درصد گره چندکپسولی (Percent of multiple capsule)	وزن تازه اندام هوایی (Fresh weight of shoot) (g)	وزن خشک اندام هوایی (Dry weight of shoot) (g)	وزن خشک کپسول (Dry weight of capsule) (g)	تعداد کپسول در بوته (Number of capsule /plant)	تعداد دانه در کپسول (Number of seed / capsule)	وزن ۱۰۰۰دانه (1000 seedweight) (g)	وزن دانه دربوته (Seed weight/plant) (g)
Cap1 × Fe1	67.9b	5.00^{bcd}	13.4^{e}	61.4^{c}	38.6^{c}	31.8^{c}	8.22^{d}	5.71^{b}	54.4^{b}	51.1^{b}	2.84^{b}	7.33^{b}
Cap1 × Fe2	73.2	7.66^{abc}	49.1^{a}	50.9^{d}	49.1^{b}	50.5^{a}	13.1^{b}	6.03^{b}	84.7^{a}	43.8^{cd}	2.98^{ab}	8.18^{b}
Cap1 × Fe3	70.7^{b}	3.66^{cd}	18.6^{d}	79.7^{a}	20.3^{e}	28.6^{c}	7.81^{d}	4.12^{b}	35.0^{d}	42.4^{d}	2.88^{b}	4.18^{c}
Cap2 × Fe1	86.7^{a}	9.33^{ab}	28.0^{c}	70.9^{b}	29.1^{d}	37.1^{b}	10.7^{c}	6.33^{b}	47.1^{c}	50.6^{bc}	3.03^{ab}	7.83^{b}
Cap2 × fe2	89.9^{a}	10.0^{a}	53.1^{a}	44.2^{e}	55.8^{a}	50.9^{a}	17.5^{a}	10.2^{a}	88.3^{a}	58.3^{a}	3.23^{a}	13.2^{a}
Cap2 × Fe3	78.8^{a}	2.67^{d}	37.5^{b}	72.2^{b}	27.7^{d}	36.4^{b}	10.1^{c}	5.46^{b}	54.3^{b}	46.7^{bcd}	2.99^{ab}	7.11^{b}

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند..Means, that have same alphabet are not significantly different at α=0.05 by Dunkan test

Fe1: صفر ppm، Fe2: ۵۰ppm ، Fe3: ۱۰۰ppm؛ Cap1: تک کپسولی، Cap2: چندکپسولی.Fe1: 0 ppm, Fe2: 50 ppm, Fe3: 100 ppm from ferrous sulfate; Cap1: one capsule, Cap2: multiple capsule.

جدول ۵-ضرایب هم‌بستگی صفات ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه جانبی، درصد گره تَک‌کپسولی و چندکپسولی، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کپسول، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه و وزن دانه در بوته در گیاه کنجد

Table 5- Correlation coefficients of traits plant height, number and length of branch, percent of one capsule, percent of multiple capsule, fresh weight of shoot, dry weight of shoot, dry weight of capsule, number of capsule per plant, number of seed per capsule, 1000 seed weight and seed weight per sesame plant

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ارتفاع گیاه(plant height)	1											
تعداد شاخه جانبی (Number of branch)	0.172^{ns}	1										
طول شاخه جانبی (Length of branch)	0.47*	0.48*	1									
وزن تازه اندام هوایی (Fresh weight of shoot)	0.33^{ns}	0.63**	0.91**	1								
وزن خشک اندام هوایی (Dry weight of shoot)	0.46**	0.52*	0.89*	0.91*	1							
وزن خشک کپسول در بوته (Dry weight of capsule/plant)	0.38^{ns}	0.28^{ns}	0.55*	0.59*	0.86**	1						
تعداد کپسول در بوته (Number of capsule per plant)	0.15^{ns}	0.53*	0.85**	0.95**	0.87**	0.64**	1					
تعداد دانه در کپسول (Number of seed per capsule)	0.46*	0.14^{ns}	0.18^{ns}	0.28^{ns}	0.48*	0.55*	0.30^{ns}	1				
وزن هزار دانه (1000 seedweight)	-0.00^{ns}	0.19^{ns}	-0.17^{ns}	-0.16^{ns}	-0.18^{ns}	-0.13^{ns}	-0.29^{ns}	0.09^{ns}	1			
درصد تک‌کپسولی (Percent of one capsule)	-0.03^{ns}	-0.53*	-0.68**	-0.86**	-0.81**	-0.62**	-0.94	-0.38^{ns}	0.32^{ns}	1		
درصد چندکپسولی (Percent of multiple capsule)	0.02^{ns}	0.53*	0.98**	0.86**	0.81**	0.62**	0.95**	0.38^{ns}	-0.32^{ns}	-0.99**	1	
وزن دانه در بوته (Seed weight per plant)	0.48*	0.46*	0.71**	0.77**	0.90**	0.79**	0.80**	0.71**	-0.14^{ns}	0.80**	0.82**	1

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک‌درصد..^{ns}, *, ** are nonsignificant and significant in 1 and 5 probability level respectively.

وزن خشک اندام هوایی در Cap2 و اعمال ۵۰ppm سولفات‌آهن با ۳۹درصد افزایش نسبت به تیمار صفر سولفات‌آهن و Cap2 و مقدار ۱۷/۵گرم بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی را داشت، کمترین مقدار صفت مذکور از تیمار Cap1×Fe1 و با مقدار ۸/۲۲گرم حاصل شد. هم‌چنین از لحاظ وزن خشک کپسول نیز استفاده از غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن درCap2 با مقدار ۱۰/۲گرم بیشترین مقدار به‌دست آمد (جدول ۴). بیشترین تعداد کپسول در بوته در هر دو تیمار Cap1 و Cap2 از اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن با مقادیر ۸۴/۷ و ۸۸/۳عدد به‌دست آمد و کمترین تعداد کپسول در بوته با ۳۶درصد کاهش نسبت به تیمار Cap1×Fe1 و به مقدار ۳۵/۰عدد از تیمار Cap1×Fe3 به‌دست آمد. صفت تعداد دانه در کپسول در تیمار Cap1 با افزایش غلظت سولفات‌آهن از صفر به ۱۰۰ppm کاهش یافت، اما روند در تیمار Cap2 به‌گونه دیگری است، به‌طوری‌که با افزایش غلظت سولفات‌آهن از صفر به ۵۰ppm تعداد دانه در کپسول افزایش یافت و با افزایش غلظت به ۱۰۰ppm از تعداد دانه در کپسول کاسته شد (جدول ۴). روند تغییرات وزن ۱۰۰۰دانه در اعمال تیمارهای مختلف معنی‌دار بود و بیشترین مقدار آن در اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن در Cap2 و با مقدار ۳/۲۳ گرم به‌دست آمد و کمترین مقدار آن در اعمال سطح صفر سولفات‌آهن و در Cap1 با مقدار ۲/۸۴ گرم حاصل شد. بیشترین و کمترین وزن دانه در بوته به‌ترتیب از اعمال ۵۰ppm سولفات‌آهن در Cap2 و ۱۰۰ppm سولفات‌آهن در Cap1 به‌دست آمد. مقدار افزایش وزن دانه در اعمال ۵۰ppm سولفات‌آهن در Cap2 نسبت به شاهد در Cap2، ۴۲ درصد بود و به‌مقدار ۱۳/۲ گرم رسید. اعمال سطح ۵۰ppm و ۱۰۰ppm در Cap2 وزن دانه در بوته بیشتری نسبت به اعمال همین غلظت‌های سولفات‌آهن در Cap1 داشت (جدول ۴). نتایج حاصل از ضرایب هم‌بستگی نشان‌داد که وزن دانه در بوته با درصد گره چندکپسولی در بوته هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری ($r=۰/۸۲^{**}$) داشت.هم‌چنین وزن دانه در بوته با وزن خشک اندام هوایی و تعداد کپسول در بوته نیز هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری به‌ترتیب ($r=۰/۹۰^{**}$) و ($r=۰/۸۰^{**}$) وجود داشت (جدول ۵). از طرفی، هم‌بستگی درصد گره‌های تک‌کپسولی با درصد گره‌های چندکپسولی حاکی از وجود هم‌بستگی منفی و بسیار معنی‌دار ($r=-۰/۹۹^{**}$) بود و با کاهش درصد گره‌های تک‌کپسولی، درصد گره‌های چندکپسولی افزایش یافت (جدول ۵).

تحقیقات نشان می‌دهد که بیوسنتز متابولیت‌های گیاهی نه‌تنها توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌گردد، بلکه هم‌چنین تحت تأثیر عوامل محیطی می‌باشد (Grejtovsky *et al*., 2000; Naghdi Badi *et al*., 2004; Alloway, 2008;). در همین‌راستا Marschner, 1995 اظهار داشت که آهن جزء بسیار مهمی در بسیاری از متابولیسم‌های گیاهی مانند سنتز کلروفیل، سنتز تیلاکویید و نمو کلروپلاست می‌باشد. نتایج سایر محققان نشان می‌دهد که استفاده از کود آهن‌دار سبب افزایش صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکردگردیده که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. برای مثال محلول‌پاشی با سولفات‌آهن سبب افزایش فتوسنتز و مواد فتوسنتزی و رشد نسبی در گیاهچه‌های برنج در شرایط تنش خشکی شده است (Mousavi, 2011). در مطالعه دیگری استفاده از کودهای آهن‌دار سبب افزایش کمیت و کیفیت در گوجه‌فرنگی شده است (Chohura *et al*., 2009). در بررسی دیگر Kazemi, 2013 نشان‌داد که استفاده از محلول‌پاشی با کود آهن‌دار با غلظت ۵۰ppm محتوای نسبی کلروفیل نسبت به شاهد حدود ۳۵/۸ درصد افزایش یافت و زمانی‌که غلظت کود آهن‌دار به ۱۰۰ppm رسید محتوای نسبی کلروفیل در گیاه خیار (*Cucumis sativus* L.) کاهش و در حد شاهد باقی ماند. ولیکن در همان آزمایش عملکرد خیار در بوته در غلظت ۵۰ppm و ۱۰۰ppmنسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۳۳/۱ و ۴۹/۳ درصد افزایش داشت. Goos and Johanson, 2000 نشان‌دادند که کاربرد دو مرحله‌ای Fe-EDDHA سبب افزایش عملکرد دانه سه ژنوتیپ سویا (*Glycine max* L.) شده است. Jana and Jahangir, 1987 گزارش کردند که کاربرد ریزمغذی‌ها سبب افزایش عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) شده است. آن‌ها هم‌چنین اظهار کردند که ترکیب‌کردن آهن با غلظت ۰/۱ppm با سایر ریزمغذی‌ها سبب تولید بیشترین ارتفاع و تعداد شاخه جانبی در بوته می‌شود. در مطالعه حاضر بیشترین مقدار ارتفاع بوته، تعداد و طول شاخه جانبی از اعمال غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن و در تیمار Cap2 به‌دست آمد. هم‌چنین استفاده از غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن با مقدار ۵۵/۸ درصد و در Cap2 (بذرهای چندکپسول) بیشترین درصد گره‌های چندکپسولی را تولید کردند. اعمال ۵۰ppm سولفات‌آهن در Cap2 سبب افزایش مقدار ۴۱درصد وزن دانه در بوته نسبت به شاهد در Cap2 شد و به مقدار ۱۳/۲گرم رسید. به‌نظر می‌رسد آهن به‌خاطر خصوصیات ریداکس و نیز توانایی‌اش در تشکیل کمپلکس‌هایی با لیگاندهای متفاوت و به‌عنوان جزئی از مواد انتقال‌دهنده الکترون و آنزیم‌ها نقش مهمی در متابولیسم گیاهی دارد و کاربرد آن در مقدار مناسب سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Mousavi, 2011). این موضوع با محلول‌پاشی۵۰ppm سولفات‌آهن در افزایش بسیاری از صفات مشاهده شد. افزایش مقدار سولفات‌آهن سبب کاهش مقدار وزن تازه و خشک اندام هوایی و نیز وزن دانه در بوته گردید که به‌نظر می‌رسد، مربوط به غلظت سمیت عنصر آهن در گیاه کنجد باشد. هم‌چنین در مطالعه حاضر وزن دانه در بوته با وزن خشک اندام هوایی و تعداد کپسول در بوته هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری (به‌ترتیب$r=۰/۹۰^{**}$ و $r=۰/۸۰^{**}$) داشت. مطالعه Roy *et al*., 2009 و Rezvani Moghaddam *et al*., 2004 در کنجد نشان دادند که

هم‌بستگی بین تعداد کپسول در بوته با عملکرد کنجد مثبت و معنی‌دار است. هم‌چنین در مطالعات Ghangard *et al*., 1990 و Suryavanshi *et al*., 1990، Nezami *et al*., 2014 نیز هم‌بستگی قوی بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک کنجد مشاهده کردند. به‌نظرمی‌رسد، با افزایش عملکرد بیولوژیک امکان تولید مواد فتوسنتزی از طریق گسترش و تداوم سطح برگ افزایش یافته در نتیجه سهم دانه از کل ماده تولیدی افزایش می‌یابد. از طرفی هم‌بستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیکی نیز بیان‌گر آن است که گیاهان با رشد بهینه از توانایی تولید دانه بیشتری نیز برخوردارند (Sabockdast and Khialparast, 2006). نتایج نیز نشان‌داد زمانی که از غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن استفاده شده درصد گره‌های چندکپسولی نسبت به سطح صفر و ۱۰۰ppm سولفات‌آهن افزایش داشت. این موضوع در خصوص هر دو نوع تیمار بذر تَک‌کپسولی و چندکپسولی نیز مشاهده شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ppm سولفات‌آهن در گیاهان حاصل از بذر تَک‌کپسولی و نیز گیاهان حاصل از بذر چندکپسولی، درصد گره‌های چندکپسولی به‌ترتیب به ۴۹/۱ و ۵۵/۸درصد رسید که نسبت به سایر سطوح تیمار سولفات‌آهن افزایش داشت. این افزایش تعداد گره چندکپسولی، سبب افزایش بیشتر وزن دانه در آن‌ها شد و به‌ترتیب ۸/۱۸ و ۱۳/۲گرم دانه در بوته را تولید کرد که نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که در گیاهان رشد یافته از بذور سه کپسولی، کاربرد برگی سولفات آهن در مقدار ۵۰ ppm می‌تواند سبب افزایش تعداد کپسول در گره هر برگ شود. همچنین بیشترین وزن دانه در بوته نیز از مصرف تیمار ۵۰ ppm سولفات آهن در گیاهان چند کپسولی با مقدار ۱۳/۲ گرم در بوته به‌دست آمد. بنابراین، هرچند شرایط محیط در مجموع در افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ گیاه کنجد تأثیر دارد، نتایج این آزمایش نیز نشان داد که استفاده از سولفات‌آهن به‌عنوان یک ریزمغذی نیز می‌تواند سبب افزایش تعداد کپسول در هر گره برگ شود. با این‌حال سایر شرایط محیطی نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرد.

References

1. Alloway, B. J. 2008. Zinc in soil and crop nutrition. Second edition. Published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France
2. Anon, M. C. 2004. Descriptors for sesame. International Plant Genetic Research Institute Rome Italy
3. Baydar, H., Marquard, R., and Turgut, I. 1999. Pure line selection for improved yield, oil content and different fatty acid composition of sesame (*Sesamum indicum* L). Plant Breed 118: 462-464
4. Brigham, R.D. 1985. Status of sesame research and production in Texas and USA, in: L.A. Ashi (ed) Sesame and Safflower Status and potentials publication. 66, FAO. Rome 73-74.
5. Bose, U. S. and Tripathi, S. K. 1996. Effect of micronutrients on growth, yield and quality of tomato cv. Pusa Ruby. Crop Research 12 (1): 61-64.
6. Chayjan, R. A. 2010. Modeling of sesame seed dehydration energy requirements by a soft-computing approach. Australia journal Crop Science 4: 180-184.
7. Chohura, P., Kolota, E., and Komosa, A. 2009. Effect of Fertilization with Fe Chelates on the State of Iron Nutrition of Greenhouse. Tomato Journal Elementol 14 (4): 657-664.
8. Ebrahimian, E., Bybordi, A., and PasbanEslam, B. 2010. Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. Journal of Food, Agriculture and Environment 8 (3&4): 783-789.
9. Elabdeen, A. Z., and Metwally, A. M. 1982. Effect of foliar spraying with Mn, Fe, Zn, and Cu on the quality of tomato and pepper. Agriculture Research Review 60: 143-164.
10. Ghangard, S. R., Chavana, D. C., and Bhalerao, T. S. 1990. Correlation and regression studies in sesame. Research Bull Marathmada Agriculture University 14: 11-14.
11. Grejtovsky, A., Markusova, K., and Eliasova, A. 2006. The response of chamomile (*Matricariachamomilla* L.) plants to soil zinc supply. Plant, Soil and Environment 52: 1-7.
12. Goos, R. J., and Johanson, B. E. 2000. A comparison of three methods for reducing iron-deficiency chlorosis in soybean. Agronomy Journal 92: 1135-1139.
13. Hazarika, D. K. 1998. Influence of sowing date and varieties on development of powdery mildew of sesame in Assam. Journal of Phytological Research 11: 73-75.
14. Jana, B. K., and Jahangir, K. 1987. Influence of micronutrients on growth and yield of French bean Cv. Contender under polyhouse conditions. Vegetarian Science 14 (2): 124-127.
15. Kang, C. W., Lee, J. I., and Son, E. R. 1985. Studies on the flowering and maturity in sesame (*Sesamum indicum* L.) III. Growth of capsule and grain by different plant types. Korean Journal Crop Science 30 (2): 158-164.
16. Kazemi, M. 2013. Effect of foliar application of iron and zinc on growth and productivity of cucumber. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences 2 (11): 11-14.

17. Langham, D. R., and Wiemers, T. 2002. Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. In: Janickand J, Whipkey A (ed) Trends in new crops and new uses, American Society for Horticultural Science Press, Alexandria, Virginia. 157-173.
18. Langham, D. R. 2007. Phenology of sesame. Issues in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA.144-182.
19. Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants. Second Ed., Academic Press Limited. Harcourt Brace and Company, Publishers, London: 347-364.
20. Miller, G. W., Denney, A., Pushnik, J. U., and Mino-Ho, Yo. 1982. The formation of δ-aminolevulinate a precursor of chlorophyll in barley and the role of iron. Journal Plant Nutrition 5: 289-300.
21. Mousa, G. T., El-Sallami, I. H., and Ali, E. F. 2003. Response of *Nigella sativa* L. to foliar application of gibberellic acid, benzyladenine, iron and zinc. Assiut Journal of Agricultural of Science (Egypt) 32: 141-156.
22. Mousavi, S. R. 2011. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5: 1503-1509.
23. Nezami, A., Fazeli Kakhki, F., Zarghani, H., Shabahang, J., and Gandomzadeh, M. R. 2014. Primary investigation of yield and yield component in some sesame ecotype (*Sesamum indicum* L) in Khorasan province. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (2):189-195. (In Persian).
24. Naghdi Badi, H., Yazdani, D., Mohammad, A. S., and Nazari, F. 2004. Effects of spacing and harvesting on herbage yield and quality/quantity of oil in thyme, *Thymus vulgaris* L. Ind. Crop Production 19:231–236.
25. Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N., 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: 382-385.
26. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A. A. 2004. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum* L). 3(1): 57-68. (In Persian).
27. Roy, N., Abdullah, S. M., Amun, M., and Sarwar, J. 2009. Yield performance of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties at varying levels of row spacing. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5 (5): 823-827.
28. Sabockdast, M., and Khialparast, F. 2006. Study relations between yield and yield components in 30 bean variety (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science 42 (A): 123-133. (In Persian).
29. Suryavanshi, G. B., Pawar, V. S., and Ransing, S. K. 1990. Effect of sowing dates on yield and yield attributes of sesamum (*Sesamum indicum* L.). Annals of Plant Physiology 4 (2): 257-259.
30. Weiss, E. A. 2000. Oilseed crops. 2nded. Blackwell Science., Malden, MA.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 8-18

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۸-۸

The Effect of Foliar Application of Ferrous sulfate on Production of Multi-capsule per Leaf node in Sesame Plant (*Sesamum indicum* L.) under Field Condition

S. F. Fazeli Kakhki[1*]-A. Taiiebi[2]

Received: 05-01-2015
Accepted: 15-06-2015

Introduction

Sesame (*Sesamum indicum* L.) belongs to pedaliaceae family and is one of the most important oilseed crops that will grow in relatively dry region. Each leaf node will have one capsule but in some sesame ecotypes the number of capsule per leaf node can increase (Langham and Wiemers, 2002). Factors such as agricultural operations, growing substrates and variety affect yield and harvest index. Iron is one of the main micronutrient that can affect growth and development (Miller *et al.,* 1982). This research was conducted to study the effects of leaf nutrition on the number of capsules per leaf node of sesame.

Materials and Methods

In order to study the effects of leaf nutrition on the number of capsules per leaf node in sesame plant (*sesamum indicum* L.), an experimental was conducted at Khorasan Razavi Agricultural Education Center, Iran, 1n 2014. This study was done as a factorial arrangement with two factors, kind of seed and the concentrations of ferrous sulphate on the basis completely randomized block design with three replications. The first factor was two seed types (one type has been taken from leaf node with three capsules and the other seeds were taken from leaf node with one capsule in sesame plant). The second factor was three concentration of ferrous sulphate (0, 50 and 100 ppm) that applied in %50 vegetation, flowering and capsule phase. Morphological and yield components traits were measured. Data were analyzed with MSTAT-C software and means comparison were done with Duncan multiple range test in 5 percent probability.

Results and Discussion

The first factor (type of seed) showed significant difference on height, length of branch, fresh and dry shoot weight, dry weight of capsule, number capsules per plant, 1000 seed weight and seed weight per plant. Plants growing from the seeds with three capsules in leaf node (Cap2) had the maximum height with 88.2 cm that was 20% more than plants that growth from seeds with one capsule in leaf node (Cap1). The maximum seed weight per plant also obtained from Cap2. The application of ferrous sulphate concentration with 50 ppm increased the number of three capsule nodes in plant but 100 ppm ferrous sulphate had the lowest three capsule nodes per plant. The results of interaction treatments showed that using of 50 ppm ferrous sulphate in Cap2 treatment had the maximum plant height with 89.9 cm. In two treatments Cap1 and Cap2 applying ferrous sulphate concentration with 50 ppm had the maximum number capsule per plant with 84.7 and 88.3 capsule per plant, respectively.

This study showed that biosynthesis of plant metabolite was controlled not only by genetic but also by environmental conditions. Iron is an important component in many plant metabolisms such as chlorophyll and tylakoid synthesis and in development of chloroplast. Goos and Johanson, (2000) showed that two foliar applications of iron compounds (Fe-EDDHA) increased yield in three soybean genotypes. Jana and Jahangir (1987) suggested that using of iron micronutrient with 0.1 ppm produced maximum height in bean. It seems that particular properties of Iron such as Redox properties, capable to establish complex with different ligands, a component of electron transport system and take part in many enzymes structure had important roles in plant

1- Assistant Professor, Khorasan Razavi Agricultural Research, Education and Natural Resources Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
2- B.Sc. Student in Engineer technical in Medicinal and Aromatic Plants in Institute of Science and Applied Higher Educational, Research and Education Agriculture Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran
([*]- Corresponding Author Email: sf_fazeli@yahoo.com)

metabolism and application of suitable amount can increase growth and yield of plant.

Conclusions

The results showed that foliar application of ferrous sulphate can increase the number of capsules per leaf node as using of 50 ppm ferrous sulfate in plants that grow up from seeds with three capsules in leaf node (Cap2) produced the most multiple capsule percent in leaf node. Maximum seed weight per plant with amount 13.2 $g.plant^{-1}$ was obtained from applying 50 ppm ferrous sulfate in Cap2 plants. Positive and significant correlation was found between seed weight and multiple capsule percent in leaf node (r=0.82**) and with shoot dry weight (r=0.80**). In addition, the results showed that ferrous sulfate can increase the number of capsules per leaf node.

Keywords: Height, Leaf node capsule, Seed weight, Three capsules

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 19-30

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۳۰-۱۹

بررسی اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به همراه سولفات‌آمونیوم در کنترل سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)

حمزه اسداللهی[۱]- مهدی راستگو[۲*]- ابراهیم ایزدی دربندی[۲]- علی قنبری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۶

چکیده

اختلاط علف‌کش‌ها یکی از راهکارهای مهم در افزایش کارایی آن‌ها می‌باشد. به‌منظور ارزیابی تاثیر علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون و اختلاط آن‌ها بدون ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم و با استفاده از ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم بر علف‌هرز سلمه‌تره در ذرت، پژوهشی در قالب سه آزمایش جداگانه طی سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایش اول جهت تعیین مقدار کاربرد علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در شرایط گلخانه انجام شد. آزمایش دوم به‌منظور ارزیابی اثر نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش (۷۵٪ فورام‌سولفورون+ ۲۵٪ نیکوسولفورون، ۵۰٪ فورام‌سولفورون + ۵۰٪ نیکوسولفورون و ۲۵٪ فورام‌سولفورون+ ۷۵٪ نیکوسولفورون) مبتنی بر دز توصیه شده بدست آمده از آزمایش اول انجام شد. آزمایش سوم شامل تیمارهای آزمایش دوم به همراه ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم بود. نتایج نشان داد که هر دو علف‌کش بدون ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم در مقادیر کاربرد بالا باعث کنترل سلمه‌تره شدند. در اختلاط‌هایی که نسبت برابری از فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون وجود داشت (۵۰٪ فورام‌سولفورون+۵۰٪ نیکوسولفورون) میزان آسیب به سلمه‌تره نسبت به سایر اختلاط‌ها افزایش یافت به‌عبارتی اختلاط این دو علف‌کش با همدیگر دارای اثر هم‌افزایی در کنترل علف‌هرز سلمه‌تره است. همچنین اختلاط دو علف‌کش به‌همراه ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم دارای اثر هم‌افزا بر کنترل سلمه‌تره بود. همچنین نتایج نشان داد که اختلاط این دو علف‌کش با و بدون ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم هیچ تاثیر نامطلوبی بر روی ذرت ایجاد نکرد.

واژه‌های کلیدی: اختلاط در مخزن، ذرت، علف‌کش‌های بازدارنده استولاکتات سینتاز (ALS)، مواد افزودنی

مقدمه

ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی ایران است که در برنامه‌های توسعه کشاورزی توجه زیادی به آن می‌شود. یکی از عوامل اصلی کاهش‌دهنده عملکرد این گیاه در مناطق مختلف کشور علف‌های هرز می‌باشند در صورتی که در مزارع ذرت این عوامل ناخواسته مدیریت نگردند، میزان خسارت آن‌ها تا ۸۶ درصد می‌رسد (Mosavi, 2001). سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) علف‌هرز مشکل‌ساز در ذرت، غلات، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) می‌باشد که کاهش عملکرد ۹۰ درصدی ذرت ناشی از رقابت سلمه‌تره مشاهده شده است (Hartly and Popay,1992).

علف‌کش‌ها یکی از نهاده‌های مهم و ضروری در سیستم‌های کشاورزی کشورهای پیشرفته محسوب می‌شوند و بخش قابل توجهی از عملکرد محصولات زراعی این کشورها مرهون مصرف آنهاست. روند مصرف علف‌کش‌ها در ایران طی سال‌های گذشته حاکی از رو به افزایش بودن مقدار مصرف علف‌کش‌هاست. در حال حاضر نیمی از ۲۴ میلیون لیتر یا کیلوگرم سم مصرفی در بخش کشاورزی به علف‌کش‌ها اختصاص دارد (Zand *et al.*,2008). علف‌کش‌ها به دلیل کارایی و صرفه اقتصادی، نقش محوری در مدیریت علف‌های هرز ایفا می‌کنند و امروز به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و به‌رغم مشکلات زیست محیطی علف‌کش‌ها، این ترکیبات هنوز از اجزای مهم مدیریت تلفیقی علف‌های هرز محسوب می‌شوند به‌طوری‌که در طی ۲۰ سال گذشته همواره سهم فروش علف‌کش‌ها از کل سموم آفت‌کش فروخته شده در دنیا بیشتر بوده است (Zand *et al.*, 2008).

یکی از راهکارها برای کاهش مصرف علف‌کش‌ها اختلاط آن‌ها

۱- کارشناس ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: m.rastgoo@um.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.26518

است. اختلاط علف‌کش‌ها، باعث کاهش هزینه‌های تولید، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی با استفاده از اثرات هم‌افزایی، کاهش فشردگی خاک از طریق کاهش تعداد عملیات سمپاشی و جلوگیری از توسعه مقاومت علف‌های‌هرز به علف‌کش می‌شود (Zand *et al.*,2008). بالا بودن هزینه توسعه علف‌کش‌های جدید و از دست رفتن کارآیی اکثر علف‌کش‌ها پس از مدتی استفاده از آن‌ها، از جمله دلایل روی آوری به اختلاط علف‌کش‌هاست. علاوه بر این مواد افزودنی می‌توانند اثرات علف‌کش‌ها را افزایش و میزان مصرف آن‌ها را کاهش دهند. مواد افزودنی ترکیباتی هستند که به‌منظور تسهیل اختلاط، کاربرد یا تاثیرگذاری علف‌کش به فرمولاسیون علف‌کش یا مخزن سمپاش افزوده می‌شود. مواد افزودنی به‌لحاظ شیمیایی و زیستی ترکیبات فعالی محسوب می‌شوند و از طریق افزایش تاثیرگذاری یاکاهش مقدار مصرف فرمولاسیون سبب بهبود کارآیی علف‌کش می‌شوند (Zand *et al.*,2008). از جمله مواد افزودنی سولفات‌آمونیوم است. آمونیوم موجود در سولفات‌آمونیوم سبب فعال‌سازی فعالیت پس‌رویشی علف‌کش‌های با اسیدیته ضعیف روی علف‌های هرز می‌شود و تأثیر آن بسته به علف‌کش و گونه گیاهی اختصاصی است. علف‌کش‌هایی که دارای بنیان اسیدی ضعیف هستند، افزودن سولفات‌آمونیوم به محلول آن‌ها موجب سهولت جذب و انتقال مولکول علف‌کش به درون بافت گیاه می‌شود (Holm and Henry, 2005).

فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون جزء علف‌کش‌های خانواده سولفونیل‌اوره هستند که برای کنترل پس‌رویشی باریک برگ‌ها و پهن برگ‌ها در مزارع ذرت استفاده می‌شوند (Nurse *et al.*, 2007;Prostko *et al.*,2006). این علف‌کش‌ها از طریق بازدارندگی آنزیم استولاکتات سینتاز و همچنین استو هیدروکسی اسید سینتاز(ALS یا AHAS) عمل می‌کنند، که عامل کلیدی واکنش‌های ساخت در بیوسنتز اسیدهای آمینه زنجیره‌ای شاخه‌دار مانند والین، لوسین و ایزولوسین از اجزای ضروری فرآیند رشد، می‌باشند (Zhou *et al.*, 2007). هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه اثرات اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون با هم و به‌همراه سولفات آمونیوم در کنترل علف هرز سلمه تره بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون با یکدیگر و با ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم در کنترل علف‌هرز سلمه‌تره، پژوهشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۹۱-۱۳۹۰ در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه تحقیقات علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا در آمد.

ابتدا بذرهای سلمه‌تره در بهار سال ۱۳۹۰ از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد جمع‌آوری شدند و در آزمایشگاه تحقیقات علف‌های هرز تا زمان استفاده در شرایط مطلوب از نظر دمایی و رطوبت به مدت سه ماه نگهداری شدند به‌طوریکه دما کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نیز کمتر از ۱۵ درصد بود. به‌منظور شکستن خواب، یکنواختی و سهولت در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌های سلمه‌تره، بذور این علف‌هرز در محلول اسید سولفوریک ٪۹۸-۹۵ به مدت سه دقیقه قرار گرفته، سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. پس از آن، بذور در سینی‌های کشت حاوی پیت ماس کشت شدند. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها تعداد ۴ بوته سلمه‌تره به هر گلدان ۱ لیتری حاوی خاک، خاک‌برگ و ماسه با نسبت حجمی مساوی انتقال داده شدند. لازم به ذکر است که تعداد ۶ بذر ذرت رقم سینگل کراس۷۰۴ به صورت مستقیم در گلدان‌های ۱ لیتری بصورت جداگانه کاشته شدند و بعد از حصول اطمینان از رشد در همان مراحل اولیه رشد تعداد ۲ بوته ذرت که از لحاظ مرحله رشدی شبیه به هم بودند نگهداری شد و بقیه تنک شدند. دمای گلخانه در مدت رشد، بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۶ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد در شب متغیر بود. با این روش در زمان اعمال تیمارها واحدهای آزمایشی دارای گیاهان با اندازه مشابه بودند. علف هرز و گیاه زراعی در مرحله چهار برگی حقیقی با استفاده از سمپاش متحرک ریلی مجهز به نازل بادبزنی معمولی با خروجی ۲۳۵ لیتر در هکتار با فشار پاشش ۲۴۰ کیلو پاسکال تحت تیمار قرار گرفتند. شرایط محیطی در هنگام پاشش علف‌کش‌ها یکنواخت بود به طوری که دما در حین سمپاشی ۳±۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷±۴۵ درصد بود.

مشخصات علف‌کش‌های مورد آزمایش شامل فرمولاسیون، مقدار توصیه شده و سال ثبت آنها در ایران در جدول ۱ ارایه شده است (Zand *et al.*,2009).

در آزمایش اول که با هدف تعیین ED_{90}[1] دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون روی علف‌هرز سلمه‌تره در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارهای این آزمایش عبارت بودند از: ۱) علف‌کش فورام‌سولفورون در مقادیر ۰، ۲/۸۱، ۵/۶۲، ۱۱/۲۵، ۲۲/۵، ۴۵ و ۹۰ گرم ماده موثر در هکتار ۲) علف‌کش نیکوسولفورون در مقادیر ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ گرم ماده موثر در هکتار.

در آزمایش دوم که با هدف تعیین ED_{50}علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در گیاه ذرت و علف‌هرز سلمه‌تره در نسبت‌های مختلف اختلاط انجام شد تیمارها و نسبت‌های مورد استفاده علف‌کش‌ها برای علف‌هرز به شرح زیر بودند: ۱) علف‌کش فورام‌سولفورون در مقادیر ۰، ۲/۴۱، ۴/۸۱، ۹/۶۲، ۱۹/۲۵، ۳۸/۵ و ۷۷ گرم ماده موثر در هکتار، ۲) علف‌کش نیکوسولفورون در مقادیر ۰،

1- Effective Dose 90%

۴/۶۴، ۴/۲۹، ۹/۲۹، ۱۸/۵۷، ۳۷/۱۵، ۷۴/۳ و ۱۴۸/۶ گرم ماده موثر در هکتار، ۳) نسبت اختلاط ۷۵٪ علف‌کش فورام‌سولفورون (به‌ترتیب در مقادیر ۰، ۱/۸۰، ۳/۶۱، ۷/۲۲، ۱۴/۴۴، ۲۸/۸۷ و ۵۷/۷۵ گرم ماده موثر در هکتار) + ۲۵٪ علف‌کش نیکوسولفورون (به‌ترتیب در مقادیر ۱/۰،۱۶، ۲/۳۲، ۴/۶۴، ۹/۲۹، ۱۸/۵۷ و ۳۷/۱۵ گرم ماده موثر در هکتار)، ۴) نسبت اختلاط ۵۰٪ علف‌کش فورام‌سولفورون(به‌ترتیب در مقادیر ۰، ۱/۲۰، ۲/۴۱، ۴/۸۱، ۹/۶۳، ۱۹/۲۵ و ۳۸/۵ گرم ماده موثر در هکتار) + ۵۰٪ علف‌کش نیکوسولفورون (به‌ترتیب در مقادیر ۰، ۲/۳۲، ۴/۶۴، ۹/۲۹، ۱۸/۵۸، ۳۷/۱۵ و ۷۴/۳ گرم ماده موثر در هکتار)، ۵) نسبت اختلاط ۲۵٪ علف‌کش فورام‌سولفورون (به‌ترتیب در مقادیر ۰، ۰/۶۰، ۱/۲۰، ۲/۴۰، ۴/۸۱، ۹/۶۲ و ۱۹/۲۵ گرم ماده موثر در هکتار) + ۷۵٪ علف‌کش نیکوسولفورون (به‌ترتیب در مقادیر ۰، ۳/۴۸، ۶/۹۶، ۱۳/۹۳، ۲۷/۸۶، ۵۵/۷۲ و ۱۱۱/۴۵ گرم ماده موثر در هکتار). تیمارهای آزمایش سوم مشابه آزمایش دوم بودند با این تفاوت که در آن از ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم به نسبت دو درصد حجمی (۲wt/v٪) استفاده شد. اندام‌های هوایی گیاهان شاهد و تیمار شده چهار هفته پس از اعمال تیمارها از روی سطح گلدان‌ها برداشت شدند. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری شدند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. از وزن خشک در هر گلدان برای برازش منحنی‌های هم‌اثر استفاده شد.

جدول ۱- نام، فرمولاسیون، مقدار توصیه شده در هکتار و سال ثبت علف‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش

Table1- Name, formulation, recommended dose per hectare and year of registration of herbicides in experiment

نام عمومی (تجاری) Generic Name (Trade name)	فرمولاسیون و درصد ماده موثر Formulation & percentage of active ingredient (a.i.)	مقدار توصیه شده در هکتار Recommended Dose (g a.i. ha^{-1})	LD_{50} (میلی‌گرم درکیلوگرم) (mg kg^{-1})	سال ثبت در ایران Year of register in Iran
فورام‌سولفورون (اکوئیپ) Foramsulfuron (Equip)	22.5 OD	2L (45 g)	5000	1386
نیکوسولفورون (کروز) Nicosulfuron (Cruz)	4% SC	2L (80 g)	5000	1385

OD: Oil Dispersible پخش شده در روغن SC: Suspension Concentrate سوسپانسیون غلیظ a.i: active ingredient ماده مؤثره

پاسخ وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره به اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون بدون ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم و در حضور غلظت ثابت ماده افزودنی با کمک رگرسیون غیرخطی و با استفاده از نرم‌افزار R آنالیز شد. تمامی داده‌ها به‌طور همزمان با مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله۱) برازش داده شدند (۳،۲).

$$U_{ij} = \frac{D-C}{1+\exp\left[b_i\left(\log(z_{ij})-\log(ED_{50(i)})\right)\right]} \qquad (۱)$$

که در آن U_{ij} بیانگر وزن خشک jام که موجب پاسخ در مقدار کاربرد iام فرمولاسیون (z_{ij}) می‌شود. D و C حد بالا و پائین وزن خشک در مقادیر صفر و بی‌نهایت فرمولاسیون، ED_{50} مقدار فرمولاسیون، i، لازم برای ۵۰ درصد کاهش وزن خشک علف‌هرز بین حدود بالا و پائینD و C، b_i متناسب با شیب منحنی در محدوده ED_{50} می‌باشد (Cabanne *et al*.,1999;Cabanne, 2000).

در منحنی‌های هم‌اثر و اختلاط علف‌کش‌ها، در صورت معنی‌دار شدن آزمون عدم برازش بر مدل لگاریتمی ۴ پارامتره، از مدل لگاریتمی ۳ پارامتره (که در آن پارامترC، حد پائین منحنی، حذف شده است) استفاده شد(معادله۲).

$$U_{ij} = \frac{D}{1+\exp\left[b_i\left(\log(z_{ij})-\log(ED_{50(i)})\right)\right]} \qquad (۲)$$

نتایج و بحث

علایم خسارت علف‌هرز سلمه‌تره تحت تاثیر علف‌کش فورام‌سولفورون شامل کاهش ارتفاع بوته، چروکیدگی، پیچیدگی، زردی و خشکیدگی برگ‌ها بود. جدول ۲ پارامترهای مدل لگاریتمی لجستیک چهار پارامتره شامل میانگین و خطای استاندارد و سطح احتمال معنی‌داری را نشان می‌دهند. شکل ۱-الف برازش داده‌ها در مدل لگاریتمی لجستیک چهار پارامتره را نشان می‌دهد.

علایم ظاهری خسارت علف‌هرز سلمه‌تره تحت تاثیر علف‌کش نیکوسولفورون همانند تاثیر علف‌کش فورام‌سولفورون شامل کوتاهی ارتفاع، چروکیدگی، خشکیدگی و زردی برگ‌های بوته بود. جدول۲ پارامترهای مدل لگاریتمی لجستیک چهار پارامتره شامل میانگین و خطای استاندارد و سطح احتمال معنی‌داری را نشان می‌دهند. شکل ۱- ب برازش داده‌ها در مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره را نشان می‌دهد.

جدول۲- پارامترهای حاصل از برازش مدل لجستیک چهار پارامتره به داده‌های وزن خشک علف هرز سلمه‌تره تحت تاثیر مقادیر مختلف کاربرد علف‌کش‌های فورام سولفورون و نیکوسولفورون (گرم ماده مؤثر در هکتار)

Table 2- Parameters from fitting a four parameters logistic model to data of the dry matter of lamb's -quarters affected by different dose of Foramsulfuron and Nicosulfuron herbicides (g a.i/ha)

علف کش Herbicide	شیب (b)	حد پایینی (c)	حد بالایی (d)	ED_{50}	ED_{90}
فورام سولفورون Foramsulfuron	1.47(0.09)*	0.51(0.07)*	5.96(0.11)*	8.63(0.41)*	38.50(3.72)*
نیکو سولفورون Nicosulfuron	1.50(0.09)*	0.59(0.06)*	6.37(0.12)*	17.18(0.76)*	74.30(6.33)*

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می‌باشند.

* Significant at 5% level. Numbers in the parentheses are the standard error.

شکل۱- پاسخ وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره به مقادیر کاربرد علف‌کش فورام‌سولفورون (الف) و نیکوسولفورون (ب)، براساس تابع لگاریتم چهار پارامتره. نقاط داده‌های مشاهده شده و خط حاصل از برازش تابع می‌باشد.

Figure1- Response of lamb's -quarters dry matter to foramsulfuron (A) and nicosulfuron (B) herbicide dose, According to a four parameters logarithmic model. Points are the observed data and the line is the regression line.

براساس نتایج این آزمایش، وزن خشک اندام‌های هوایی علف‌هرز سلمه‌تره تحت تاثیر مقدار کاربرد علف‌کش‌های مورد آزمایش قرار گرفت و با افزایش مقدارکاربرد علف‌کش‌ها مقدار وزن خشک در گلدان در علف هرز کاهش یافت. مقادیر ED_{50} و ED_{90} برای هر دو علف‌کش در جدول ۲ آمده است.

در آزمایش دوم برای اختلاط دو علف‌کش با هم و بدون ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم نیز داده‌های حاصل از اختلاط فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در کنترل سلمه‌تره با مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره برازش داده شد (شکل۲). همچنین آزمون عدم برازش در سطح ۵٪ برای مدل (لگاریتم لجستیک با چهار پارامتر) در این آزمایش معنی‌دار نبود (p=۰/۹۹)، که این بدین معنی است که مدل لجستیک چهار پارامتره برازش خوبی به داده‌ها داشته است.

جدول ۳ پارامترهای مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره شامل میانگین و خطای استاندارد و مقادیر t و سطح احتمال معنی‌داری را نشان می‌دهد. در این جدول کمترین ED_{50} مربوط به مقدار کاربرد ۵۰٪ اختلاط (بیشترین شدت اثر) و بیشترین ED_{50} مربوط به مقدار کاربرد ۰٪ اختلاط (نیکوسولفورون خالص، کمترین شدت اثر) می‌باشد.

آزمون عدم برازش، برای مدل آیزوبول با حد بالا و پائین یکسان معنی‌دار نشد (p=۰/۶۳). همچنین آزمون بین مدل اول (لگاریتم لجستیک با حد بالا و حد پائین مستقل) و مدل دوم (لگاریتم لجستیک با حد بالا و حد پائین یکسان) معنی‌دار نشد (p=۰/۸۷)، و این بدین معنی است که بین مدل دوم و مدل اول از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و لذا می‌توان از مدل دوم استفاده کرد و امکان رسم منحنی‌های هم‌اثر (آیزوبول) وجود داشت.

شکل۲- پاسخ وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره به مقادیرکاربرد علف‌کش‌های فورام‌سولفوورن و نیکوسولفورون در نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش۰ (۰٪ فورام‌سولفورون)، ۲۵(۲۵٪ فورام‌سولفورون + ۷۵٪ نیکوسولفورون)، ۵۰(۵۰٪ فورام‌سولفورون +۵۰٪ نیکوسولفورون)، ۷۵ (۷۵٪ فورام‌سولفورون +۲۵٪ نیکوسولفورون)، ۱۰۰ (۱۰۰٪ فورام‌سولفورون). نقاط داده‌های مشاهده شده و خطوط حاصل از برازش آزادانه تابع لگاریتم لجستیک چهار پارامتره می‌باشند.

Figure 2- Response of lamb's -quarters dry matter to the different mixture ratios of foramsulfuron and nicosulfuron herbicides 0 (0% foramsulfuron), 25 (25% foramsulfuron+ 75% nicosulfuron), 50 (50% foramsulfuron+ 50% nicosulfuron), 75 (75% foramsulfuron+ 25% nicosulfuron), 100 (100% foramsulfuron). Points are the observed data and the lines are the lines from freely logarithmic model.

جدول ۳- پارامترهای حاصل از برازش تابع لگاریتم لجستیک چهار پارامتره به داده‌های وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره در نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون

Table 3- Parameters from fitting a four parameter logistic log model to data of the dry matter of lamb's -quarters in different proportions mixture two foramsulfuron and nicosulfuron herbicide (g a.i /ha).

فورام‌سولفورون Foramsulfuron	نیکوسولفورون Nicosulfuron	شیب خط(b)	حد پایینی(c)	حد بالایی(d)	ED_{50}	سطح معنی داری F
100	0	1.65(0.13)*	0.31(0.16)**	6.88(0.06)*	27.68(1.55)*	8.388e-36**
75	25	2.27(0.28)*	0.33(0.12)**	6.48(0.30)*	24.63(1.62)*	7.478e-30**
50	50	1.53(0.33)*	0.36(0.18)**	7.54(1.23)*	14.98(3.63)**	0.0001**
25	75	1.77(0.22)*	0.38(0.18)**	7.46(0.41)*	25.83(2.09)*	2.538e-23**
0	100	1.63(0.28)*	0.37(0.23)**	6.30(0.36)*	33.95(3.11)*	5.252e-20**

*و** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می باشند.

*& ** Significant at the 5 and 1%, respectively. Numbers in the parentheses are the standard error.

فرضیه اول برای رسم منحنی‌های هم‌اثر، این است که اثر اختلاط دو علف‌کش به‌صورت افزایش غلظت است و دو علف‌کش هیچ اثر تشدیدکنندگی و یا کاهندگی بر روی یکدیگر ندارند یعنی اثر دو علف‌کش در حالت اختلاط با اثر هر یک از علف‌کش‌ها در حالت خالص برابر است. در این آزمایش آزمون بین مدل برازش آزادانه و مدل اثر افزایش غلظت معنی‌دار بود (p=۰/۴۲) بنابراین مدل اثر افزایش غلظت برازش خوبی به داده‌ها نمی‌دهد لذا منحنی‌های هم‌اثر (آیزوبول) اختلاط فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون که دارای حد بالا و حد پائین یکسانی هستند با مدل هولت که یک مدل غیرخطی است برازش داده شد. آزمون بین دو مدل افزایش غلظت و هولت معنی‌دار

نشد (p=۴/۱۲e-۰۷۲)، یعنی مدل غیرخطی هولت اثر اختلاط فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون را بهتر بیان می‌کند و اثر اختلاط این دو علف‌کش از مدل غیر خطی هولت تبعیت می‌کند.

شکل۳، منحنی‌های هم اثر را برای نسبت‌های مختلف اختلاط فورام‌سولفورون ونیکوسولفورون با برازش مدل هولت نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود منحنی‌های هم‌اثر (آیزوبول) حاصل از اختلاط این دو علف‌کش در کنترل سلمه‌تره بصورت خمیدگی به‌طرف داخل (منحنی‌های مقعر) ظاهر شده‌اند که نشان دهنده اثر سینرژیستی (هم‌افزایی) بر همکنش بین این دو علف‌کش در کنترل سلمه‌تره بود.

شکل۳- منحنی‌های هم‌اثر (آیزوبول) اثر نسبت‌های مختلف اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون بر وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره بر اساس مدل هولت. نقاط مقادیر و میله‌های روی نقاط بیانگر خطای استاندارد (SE) می‌باشند.

Figure 3- Isoboles of different proportions mixture foramsulfuron and nicosulfuron herbicides on lamb's -quarters dry matter basis Hewlett model. The points is and bars on the points represent the standard error.

در پژوهشی مشخص شد که ماده خشک علف‌های هرز توسط علف‌کش‌ها کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش در ماده خشک علف‌هرز قیاق (*Sorghum halepense* L.) و عملکرد دانه ذرت در ترکیب آترازین با آلاکلر و کمترین کاهش با فورام‌سولفورون مشاهده می‌شود. همچنین این مطالعه نشان داد که فورام‌سولفورون مخلوط با پریمی سولفورون و همچنین پروسولفورون ماده خشک قیاق را کاهش می‌دهد و کارآیی فورام‌سولفورون وقتی که در مخزن با پریمی سولفورون و پروسولفورون مخلوط می‌شود افزایش می‌یابد (Bijanzadeh and Ghadiri, 2006).

در مطالعه‌ای دیگر نیز مشخص شد که مخلوط‌های مکوپروپ اتیلن‌گلیکول دی استر و تری بنورون متیل از مدل ADM[1] پیروی می‌کنند (Streibig, *et al*.,1998).

سالکوتریون به‌کار برده شده در مخلوط با فورام‌سولفورون کنترل سورف (*Echinochloa crus galli* L.) در برنج (*Oryza sativa* L.) را بهبود داد، در حالی که افزودن مزوتریون برکنترل سوروف با کاربرد فورام‌سولفورون به‌تنهایی تاثیری نداشت. کنترل رضایت‌بخش سوروف در ذرت می‌تواند با افزایش میزان کاربرد فورام‌سولفورون استفاده شده ترجیحا درمراحل اولیه رشد بدست آید. مخلوط‌های فورام‌سولفورون با دایکامبا و MCPA می‌تواند کاهش قابل ملاحظه‌ای در کارآیی فورام‌سولفورون بر روی سوروف داشته باشد. از طرف دیگر، مخلوط‌های فورام‌سولفورون با سالکوتریون یا مزوتریون می‌تواند برای کنترل طیف وسیعی از پهن برگ‌ها بدون گذاشتن تاثیر منفی بر فعالیت فورام‌سولفورون بر دیگر باریک برگ‌ها استفاده شود(Damalas *et al*.,2010).

نتایج این آزمایش نیز نشان داد که اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون اثر سینرژیستی در کنترل علف‌هرز سلمه‌تره داشته است، بطوری‌که در بین نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش اختلاطی که در آن نسبت دو علف‌کش برابر بود (۵۰٪

1- Additive Dose Model

فورام‌سولفورون+ ۵۰٪ نیکوسولفورون) میزان کاهش وزن خشک سلمه‌تره نسبت به سایرنسبت‌های اختلاط افزایش یافت (جدول ۳).

در آزمایش سوم که اختلاط دو علف‌کش با ماده افزودنی سولفات آمونیوم بود داده‌های حاصل از اختلاط فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در کنترل سلمه‌تره به‌همراه ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم با مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره برازش داده شد(شکل۴). همچنین آزمون عدم برازش در سطح مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره در این آزمایش معنی‌دار نشد (p=۰/۹۶)، بدین معنی که این مدل برازش خوبی به داده‌ها داشته است.

شکل٤- پاسخ وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره به مقادیرکاربرد علف‌کش‌های فورام‌سولفوورن و نیکوسولفورون به‌همراه سولفات‌آمونیوم در نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش ۰ (۰٪ فورام‌سولفورون)، ۲۵(۲۵٪ فورام‌سولفورون + ۷۵٪ نیکوسولفورون)،۵۰(۵۰٪ فورام‌سولفورون +۵۰٪ نیکوسولفورون)، ۷۵(۷۵٪ فورام‌سولفورون +۲۵٪ نیکوسولفورون)، ۱۰۰(۱۰۰٪ فورام‌سولفورون). نقاط داده‌های مشاهده شده و خطوط حاصل از برازش آزادانه تابع لگاریتم لجستیک چهار پارامتره می‌باشند.

Figure 4- Response of lamb's -quarters dry matter to the different mixture ratios of foramsulfuron and nicosulfuron herbicides with ammonium sulfate 0 (0% foramsulfuron), 25 (25% foramsulfuron+ 75% nicosulfuron), 50 (50% foramsulfuron+ 50% nicosulfuron), 75 (75% foramsulfuron+ 25% nicosulfuron), 100 (100% foramsulfuron). Points are the observed data and the lines are the lines from freely logarithmic model.

جدول۴، نشان‌دهنده خلاصه نتایج آنالیز رگرسیون غیرخطی اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به‌همراه سولفات‌آمونیوم را با مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره نشان می‌دهد. در این جدول کمترین ED_{50} مربوط به نسبت ۵۰٪ فورام‌سولفورون+۵۰٪ نیکوسولفورون اختلاط (بیشترین شدت اثر) و بیشترین ED_{50} مربوط به نسبت ۱۰۰٪ فورام‌سولفورون اختلاط (کمترین شدت اثر) می‌باشد. نتایج حاصل از این جدول نشان می‌دهد که در حضور سولفات‌آمونیوم شیب مقادیر کاربرد مورد اختلاط و مقادیر ED_{50} مربوط به هر یک از آنها بطور قابل توجهی از شیب و ED_{50} مقادیر کاربرد حاصل از اختلاط بدون سولفات‌آمونیوم کمتر بود که نشان‌دهنده افزایش کارآیی اختلاط این دو علف‌کش در حضور سولفات‌آمونیوم می‌باشد.

آزمونF نیز بین مدل دوم (مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره با حد بالا و حد پائین یکسان) و مدل اول (مدل لگاریتم لجستیک چهار پارامتره با حد بالا و حد پائین مستقل) معنی‌دار نشد (p=۰/۸۴) بنابراین امکان رسم منحنی‌های هم‌اثر (آیزوبول) وجود داشت.

در این آزمایش آزمون F بین مدل برازش آزادانه و مدل اثر افزایش غلظت معنی‌دار بود (p=۰/۰۲) ولی با مدل غیرخطی هولت معنی‌دار نبود (p=۱/۰۳۴e-۱۲) یعنی مدل غیرخطی هولت اثر اختلاط فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به همراه سولفات‌آمونیوم را بهتر بیان

می‌کند و اثر اختلاط این دو علف‌کش با سولفات‌آمونیوم از مدل هولت تبعیت می‌کند (شکل۵).

جدول٤- پارامترهای حاصل از برازش تابع لگاریتم لجستیک چهار پارامتره به داده‌های وزن خشک علف‌هرز سلمه‌تره در نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به همراه ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم(گرم ماده موثر در هکتار).

Table 4- Parameters from fitting a four parameter logistic log model to data of the dry matter of lamb's -quarters in different proportions mixture two foramsulfuron and nicosulfuron herbicides with ammonium sulfate (g ai /ha).

فورام‌سولفورون Foramsulfuron	نیکوسولفورون Nicosulfuron	شیب خط(b)	حدپایینی(c)	حدبالایی(d)	ED_{50}	سطح معنی‌داری
100	0	1.57(0.16)*	0.21(0.81)**	6.11(0.57)*	21.63(1.67)*	1.131e-24**
75	25	1.59(0.44)**	0.15(0.19)**	5.99(1.25)*	15.67(4.71)*	0.001**
50	50	1.61(0.59)**	0.24(0.17)**	7.41(3.79)**	9.34(6.25)**	0.13**
25	75	1.69(0.41)**	0.32(0.18)**	7.30(1.32)*	14.73(3.70)*	0.0001**
0	100	1.68(0.39)*	0.51(0.20)**	7.08(0.95)*	17.71(3.45)*	1.148e-06**

* و** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می باشند.

*& ** Significant at the 5 and 1%, respectively. Numbers in the parentheses are the standard error.

شکل ۵- منحنی‌های هم‌اثر (آیزوبول) اثر نسبت‌های مختلف اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به‌همراه ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم بر وزن خشک علف‌هرزسلمه‌تره بر اساس مدل هولت. نقاط مقادیر ED_{50} و میله‌های روی نقاط بیانگر خطای استاندارد (SE) می‌باشند.

Figure 5- Isoboles of different proportions mixture foramsulfuron and nicosulfuron herbicides with ammonium sulfate on lamb's -quarters dry matter basis Hewlett model. The points are ED_{50} and bars on the points represent the standard error.

بنابراین نتایج این آزمایش نشان داد که اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون به‌همراه سولفات‌آمونیوم اثر سینرژیستی داشته است، بطوری‌که در بین نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش، نسبت اختلاط ۵۰٪ فورام سولفورون+۵۰٪ نیکوسولفورون میزان کاهش وزن خشک سلمه‌تره نسبت به سایر نسبت‌های اختلاط افزایش یافت (جدول ۳).

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سولفات‌آمونیوم باعث افزایش جذب علف‌کش از طریق جلوگیری از واکنش با نمک‌های کاتیونی با علف‌کش‌های ضعیف می‌شود (Nalewaja and Matysiak, 1992) و افزایش جذب گلایفوسیت باعث افزایش حرکت این علف‌کش از سطح برگ به سمت مسیر سیمپلاست می‌شود (Young *et al.*,2003). طبق گزارشی دیگر جذب و انتقال علف‌کش‌های گلایفوسیت و گلوفوسینیت با استفاده از سولفات‌آمونیوم افزایش یافت. براساس این گزارش، افزودن سولفات‌آمونیوم کارآیی گلوفوسینیت روی علف‌های هرز دوساله و گلایفوسیت روی بیشتر علف‌های هرز را افزایش داد که این به تاثیر مواد افزودنی در افزایش جذب یا

متابولیسم در علف‌های هرز نسبت داده می‌شود (Pline *et al*.,2000). سولفات‌آمونیوم به‌عنوان یک ماده افزودنی با علف‌کش‌هایی که بنیان اسیدی ضعیف دارند استفاده می‌گردد و باعث کاهش آنتاگونیسم علف‌کش می‌شود (Curran, 2004).

به‌منظور اطمینان از عدم تاثیر نامطلوب اختلاط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون با و بدون ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم بر روی ذرت، آزمایش‌های اختلاط با و بدون ماده افزودنی، عینا برای ذرت انجام شد که نتایج تجزیه واریانس آن در جدول ۵ آورده شده است.

جدول۵- نتایج تجزیه واریانس داده‌های وزن خشک ذرت تحت تأثیر مقدار کاربرد علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون، نسبت اختلاط آنها و کاربرد ماده افزودنی سولفات‌آمونیوم

Table 5- Analysis of variance of the dry matter of maize affected by the dose of foramsulfuron and nicosulfuron herbicides, mixing ratio and the use of the ammonium sulfate

منبع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares
نسبت اختلاط (Portion mixture)(P)	4	0.52^{ns}
مقدارکاربرد علف کش (Dose)(D)	6	0.24^{ns}
سولفات‌آمونیوم (Ammonium Sulfate)(AMS)	1	0.02^{ns}
P×D	24	0.47*
P×AMS	4	0.48^{ns}
D×AMS	6	0.28^{ns}
P×D×AMS	24	0.22^{ns}
خطا (Error)	210	0.27^{ns}
کل (Total)	279	

ns و * به ترتیب عدم تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد.

ns&* No significant and significant at α=0.05, respectively.

همانگونه که جدول ۵ نشان می‌دهد به‌جز اثر متقابل مقدار کاربرد و نسبت اختلاط علف‌کش‌ها، هیچکدام از تیمارهای آزمایش اثر معنی‌داری بر وزن خشک ذرت ایجاد نکرد. البته از آنجایی که دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون از جمله علف‌کش‌های اختصاصی مزارع ذرت می‌باشند، این نتایج تا حدودی قابل پیش‌بینی بود، هرچند در حضور ماده افزودنی و یا برهمکنش این دو علف‌کش می‌توانست درجه انتخابی اختلاط‌های مختلف، تحت تأثیر قرار گیرد. معنی‌داری اثر متقابل مقدار کاربرد و نسبت اختلاط را نیز احتمالاً می‌توان به تعداد سطوح زیاد این دو عامل نسبت داد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این تحقیق، کاربرد دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در حالت اختلاط و بدون کاربرد ماده افزودنی باعث بهبود کارایی آنها در کنترل علف هرز سلمه‌تره شد، به‌طوری‌که در بین نسبت‌های مختلف اختلاط این میزان کاهش متفاوت بود، به‌طوری‌که نسبت ۵۰ درصد (۵۰٪ فورام سولفورون + ۵۰٪ نیکوسولفورون) بیشتر از سایر نسبت‌ها باعث کاهش وزن خشک علف هرز سلمه‌تره شد به عبارت دیگر، با کاربرد مقدار کمتری از مخلوط دو علف‌کش کنترل بهتری صورت گرفت. از طرفی دیگر، زمانی‌که از سولفات‌آمونیوم به عنوان ماده افزودنی در مخلوط دو علف‌کش فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون استفاده شد، نه تنها اثر هم‌کاهی در مخلوط مشاهده نشد، بلکه اثر هم‌افزایی در مخلوط دو علف‌کش نیز مشاهده شد و باعث کارایی بهتر اختلاط دو علف‌کش با ماده افزودنی مربوطه شد که از نتایج مهم آن می‌توان به کاهش دز مصرفی علف‌کش‌ها اشاره کرد که هم از لحاظ اقتصادی و هم از نظر مسائل زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است.

References

1- Bijanzadeh, E., and Ghadiri, H. 2006.Effect of separate and combined treatments of herbicide on weed control and corn (*Zea mays*) yield. Weed Technology 20: 640-645.

2- Cabanne, F., Gaudry, J., and Streibig, J. C. 1999. Influence of alkyl oleates on efficacy of phenmedipham applied as an acetone: water solution on *Galium aparine*. Weed Research 39: 57-67.

3- Cabanne, F. 2000. Increased efficacy of clodinafop-propagl by terpinols and synergitic action with estrified fatty acids. Weed Research 40: 181-189.

4- Curran, W. S. 2004. Weed management organic cropping systems. The penn state university, Park, P.A. Available on line: http:// pubs.cas.psu.edu/free puds/pdfs/uc.187.pdf.

5- Damalas, C. A., Lithourgidis, A. S., Lithougidis. C. S. 2010. Early water grass (*Echinochloa oryzoides*) and late water grass (*Echinochloa phyllopogon*) control with foramsulfuron. Pakistan journal of Weed Science Research 16: 161-168.
6- Hartly, M. J., and Popay, A. J. 1992.Yield losses due to weeds in sugar beet, corn and dwarf beans. Proceeding of the frothy fifth New Zealand plant protection conference werington. New Zealand.52-54.
7- Holm, F. A., and Henry, J. L. 2005. Water quality and Herbicides. Crop Science, plant Ecology and soil science, University of Saskatchewan.
8- Mosavi, M. 2001. Integrated Weed Management Principles and Practices. Mead Publication
9- Nalewaja, J. D., and Matysiak, R.1992. 2,4-D and salt combinations affect glyphosate phytotoxicity. Weed Technology, 6:322-327.
10- Nurse, R. E., Hamill. A. S., Swanton, C. J. Tardif, F. J., and Sikkema, P.H. 2007. Weed control and response to foramsulfuron in maize. Weed Technology 21: 453-458.
11- Pline, W. A., Hatzios, K. K., and Hagood, E. S. 2000. Weed and herbicide-resistant soybean (*Glycine max*) response to glufosinate and glyphosate plus ammonium sulfate and plergonic acid. Weed Technology 14: 667-674.
12- Prostko, E., Grey, P., Davis, T. L. 2006.Txas Panicum (*Panicum texancum*) control in irrigated field maize (*Zea mays*) with foramsulfuron, glyphosate, nicosulfuron and pendimethalin. Weed Technology 20: 961-964.
13- Streibig, J. C., Kudsk, P., and Jensen, J. E. 1998. A general joint action model for herbicide mixture. Pesticide Science, 53: 21-28.
14- Young, B. G., Knepp, A. W., Wax, L. M., and Hart, S. E. 2003. Glyphosate translocation in common lambs quarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. Weed Science 51: 151-156.
15- Zand, E., Mousavi, S. K., and Heidari, A. 2008. Herbicides & Their Application. Jehad daneshgahi Mashhad Press.
16- Zand, E. M., Baghestani, A., Nezamabadi, N., and Shimi, P. 2009. Herbicides and Important Weeds in Iran. Iup.
17- Zhou, Q., Liu, W., Zhang, Y., and Liu, K. K. 2007. Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. Pesticide Biochemistry and Physiology 89: 89-96.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 19-30

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۳۰-۱۹

Evaluation of Foramsulfuron and Nicosulfuron Combination with Ammonium Sulfate on Lamb's-quarters (*Chenopodium album* L.) Control

H. Assadollahi[1]- M. Rastgoo[2*]- E. Izadi Darbandi[2]- A. Ghanbari[2]

Received: 02-10-2013
Accepted: 06-06-2015

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is a major crop in Iran and ranks third, behind wheat and rice. Grain yield in maize can be severely reduced by competition with weeds (Mosavi, 2001). A broad spectrum of grasses and broadleaved weeds infests maize fields. Amaranthus spp. (pigweed), *Chenopodium album* L. (common lambs quarters), *Abutilon theophrasti* Medik. (Velvetleaf), *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Canada thistle), *Convolvulus arvensis* L. (field bindweed), *Sorghum halepense* (L.) Pers. (johnsongrass), *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. (Barnyardgrass), *Cyperus rotundus* L. (purple nutsedge), *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. (Large crabgrass) and Setaria spp. (foxtail) are among the most common and problematic weeds in maize in Iran (Zand *et al.,* 2009). Today, high-yielding agriculture heavily depends on herbicides, as they constitute a vital and integral component of weed management practices (Zand et al., 2008). Tank mixing two or more herbicides is a common practice that is increasingly used in most agronomic crops to control a wide spectrum of weeds, reduce production cost, and/or prevent the development of herbicide-resistant weeds (Zand *et al.,* 2008). Herbicides may interact, before or after entering the plants, and the outcome of the interaction can be synergistic, additive, or antagonistic. It would be ideal to select herbicide combinations that have synergistic effects on weeds and/or antagonistic effects on crops. Additives, compounds that to facilitate the mixing application or influence herbicide add to herbicide formulation or tank sprayer, in other words additives can increase the effects of herbicides to reduce their consumption (Streibig *et al.,* 1998). Foramsulfuron and nicosulfuron are among the newly released dual purpose sulfonylurea herbicides. The use of these herbicides offers the opportunity for a new mode of action for weed management in maize. These herbicides act through inhibition of acetolactate synthase, the first enzyme in the pathway in the biosynthesis of branched-chain amino acids, valine, leucine and isoleucine in chloroplasts. They first affect meristemic tissues where growth ceases soon after treatment. Chlorosis and the necrosis of these tissues soon follow, with dieback to the mature parts of the plant taking a further 3–4 week. These herbicides have been reported to be very effective on grasses, broadleaved weeds, and rhizomatous perennial temperate weeds in maize. Another priority of these herbicides over those currently used on maize is that they act at very low doses. This will reduce the environmental safety concerns lie back behind application of herbicides (Nurse *et al.,* 2007; Prostko *et al.,* 2006).

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of foramsulfuron and nicosulfuron combination without and with ammonium sulfate as an adjuvant on lamb's-quarters (*Chenopodium album* L.) control in maize, a study was conducted in three separate experiments, in Ferdowsi University of Mashhad during 2011-2012. For this purpose, 4 plants of Lamb's-quarters (*Chenopodium album* L.) and 2 maize crops was planted in separate pots and were sprayed in 4-leaf stage. The first experiment was conducted separately for each of weeds lamb's quarters to determine the dose for foramsulfuron and nicosulfuron in greenhouse conditions, based on the dose-response experiments. The second experiment conducted to evaluate the effect of different combination ratio of two herbicides (75% foramsulfuron+ 25% nicosulfuron, 50% foramsulfuron+ 50% nicosulfuron, 25% foramsulfuron+ 75% nicosulfuron) based on the results of the first experiment. The third experiment included the second experiment treatments plus ammonium sulfate as adjuvant.

Results and Discussion

Results showed that both herbicides without ammonium sulfate and at high doses lamb's-quarters control.

1- M.Sc. of Weed Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: m.rastgoo@um.ac.ir)

Combination ratio with equal doses of two herbicides (50% foramsulfuron +50% nicosulfuron) increased lamb's-quarters damage more than other ratios. In other words, the combination of these two herbicides had synergistic effects on lamb's-quarters control. Also combination of them with ammonium sulfate had synergistic effects on lamb's-quarters control, so that in this experiment among different mixing ratios of the two herbicide, mixing ratio of 50% foramsulfuron +50% nicosulfuron dry matter reduce lamb's-quarters compared to other ratios increased mixing. It should be mentioned that mixing these two herbicides with and without the additive ammonium sulfate had no adversely affect maize crop.

Conclusions

It can be concluded that the combination of herbicides foramsulfuron and nicosulfuron with and without additive ammonium sulfate not only has antagonism effect in the mix, but also synergism effects are observed in the mixture of two herbicides with better efficiencies additive combination of two herbicide.

Keywords: ALS herbicides, Ammonium sulfate, Herbicide combination, Lamb's-quarters (*Chenopodium album* L.), Maize

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 31-45

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۴۵-۳۱

اثر تراکم و آرایش کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.)

علیرضا کوچکی[۱*]- مهدی نصیری محلاتی[۱]- فرانک نوربخش[۲]- علیرضا نه بندانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۷

چکیده

تعیین آرایش کاشت و تراکم بوته مناسب باعث بهره‌وری بهتر از منابع و افزایش عملکرد در واحد سطح می‌گردد، لذا در همین راستا آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی در دو سال متوالی (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) انجام شد. در این آزمایش از طرح اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. فاکتور اصلی شامل تراکم بوته (۳۰، ۴۰، ۵۰ بوته در مترمربع) و فاکتور فرعی آرایش کاشت (مستطیل، مربع، لوزی) بود. اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بر ماده خشک کل، عملکرد، تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود. همچنین شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد شاخه در بوته نیز تحت تأثیر تراکم بوته قرار گرفت. حداکثر ماده خشک در آرایش کاشت لوزی با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع حاصل شد که به ترتیب ۸ و ۱۳ درصد بیشتر از آرایش کاشت مربع و مستطیل بود. بیشترین عملکرد دانه مربوط به آرایش کاشت لوزی و تراکم ۵۰ بوته در متر مربع به میزان ۱۱۰۰ گرم در مترمربع در سال ۱۳۹۱ بود. بیشترین تعداد دانه و کپسول در بوته در آرایش کاشت لوزی با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به ترتیب به میزان ۴۷ و ۱۹/۲ عدد در سال ۱۳۹۱ به‌دست آمد. با افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۵۰ بوته در مترمربع، وزن هزار دانه حدود ۱۳ درصد کاهش یافت. افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۵۰ بوته در واحد سطح منجر به کاهش شاخص برداشت از ۳۱ به ۲۸ درصد شد. براساس نتایج این آزمایش، آرایش کاشت لوزی با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع برای کشت کنجد در مشهد مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد کپسول، عملیات مدیریتی، ماده خشک کل، وزن هزار دانه

مقدمه

افزایش تراکم گیاه زراعی روشی برای بالا بردن عملکرد محصول در واحد سطح است. از این طریق کانوپی گیاه زراعی سریع‌تر بسته شده و توانایی گیاه زراعی برای جذب تشعشع فتوسنتزی بیشتر خواهد بود. در آغاز فصل رشد که اندازه گیاهچه‌ها کوچک و نیازهای آن‌ها محدود است، تداخل مستقیم بین گیاهان مجاور حداقل می‌باشد و با بزرگتر شدن اندازه‌ی بوته‌ها و محدود شدن منابع، فشار ناشی از تراکم افزایش می‌یابد (Yaneq *et al.*, 2013)

توزیع فضایی گیاهان در یک جامعه زراعی با جذب تشعشع در ارتباط است و این صفت نقش تعیین‌کننده‌ای در ظرفیت فتوسنتزی و عملکرد دارد، زیرا سرعت رشد محصول تابعی از انرژی تشعشعی مورد استفاده در فتوسنتز است (Kashiri *et al.*, 2006). به‌طور کلی افزایش کارآیی جذب تشعشع و عملکرد در گیاهان زراعی نیاز به سطح برگ کافی و توزیع یکنواخت برگ در پوشش گیاهی دارد.

Ahmad *et al.* (2002) کنجد (*Sesamum indicum*) را با فواصل بین ردیف مختلف (۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر) کشت کردند، آن‌ها گزارش کردند که فاصله ۴۵ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته و عملکرد دانه در هکتار را به‌همراه داشت. Rahnama and Bakhshandeh (2006) نیز کنجد را با فواصل بین بوته‌ای ۳۷/۵، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر کشت کردند و گزارش نمودند که تعداد کپسول در بوته، وزن دانه در بوته و همچنین روغن دانه در تک بوته، با افزایش فاصله بین بوته‌ها افزایش یافت. Karaaslan *et al.,* (2007) در بررسی فاصله ردیف‌های مختلف کنجد گزارش کردند که با کاهش فاصله ردیف، عملکرد دانه افزایش ولی تعداد کپسول در بوته کاهش یافت. Roy *et al.* (2009) در بررسی اثر فواصل بین ردیف مختلف (۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر) بر عملکرد کنجد مشاهده کردند که عملکرد

۱- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانش‌آموخته گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.33089

و اجزاء عملکرد با افزایش فاصله بین بوته از ۱۵ بـه ۳۰ سـانتی‌متـر، افزایش یافت. Noorka *et al.* (2011) گزارش کردند که با کـاهش فاصله بین بوته‌ها از ۲۰ به ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر ارتفـاع بوتـه، ارتفـاع نخستین شاخه کپسول‌دار و عملکرد دانه و روغن افزایش یافت.

Caliskan *et al.* (2004) عملکرد و اجزاء عملکـرد کنجـد را در دو روش کشت ردیفی و دست‌پاش با تراکم‌های ۱۰۲، ۱۲۷/۵، ۱۷۰، ۲۵۵ و ۵۱۰ هزار بوته در هکتار بررسی کردند و گزارش نمودنـد کـه عملکـرد کنجـد در روش کاشـت ردیفـی ۳۴ درصـد بیشـتر از روش دست‌پاش بود و بیشترین عملکرد دانه نیز در تراکم ۵۱۰ هزار بوته در هکتار بدست آمد.

Menon (1967) در بررسی آرایش کاشت مناسب کنجد گزارش کرد که بیشترین عملکرد کنجد از آرایش کاشت ۱۵ سانتی‌متـر بـین ردیف و ۲/۵ سانتی‌متر روی ردیف حاصل شد. Öztürk and Şaman (2012) در بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف بر عملکـرد کنجـد بیـان داشتند که بیشترین عملکرد دانه و روغن زمانی حاصل شد که فواصل بین و روی ردیف به ترتیب۳۰ و ۵ سانتی‌متر بودند و کمترین عملکرد نیز از تیماری بدست آمد که در آن فواصل بین و روی ردیف به ترتیب ۷۰ و ۳۰ سانتی‌متر بود.

Azari and Khajepoor (2005) در بررسی اثر آرایـش کاشـت بر رشد و نمو، اجزای عملکرد و عملکردهای دانه و گلبرگ در کشـت تابستانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) گزارش کردند که فاصله ردیف کاشت تاثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ، تعـداد طبـق در شاخه فرعی، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد تک بوتـه و شاخص برداشت نداشت و افزایش فاصله ردیف‌های کاشت بـه طـور معنی‌داری موجب تسریع بیشتر مراحل نمو، افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته و در مترمربع گردید ولی موجب کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته، تعداد طبق در متر مربع و عملکردهای دانه و گلبرگ شد. تراکم بوته تاثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد تک بوته و عملکرد دانه نداشت. افزایش تراکم به‌طور معنی‌داری سبب تسریع بیشتر مراحـل نمـو، افـزایش شـاخص سطح برگ، تعداد شاخه فرعی و تعداد طبق در متر مربع گردیـد، امـا موجب کاهش معنی‌دار تعداد طبق در شاخه فرعی و در بوته، عملکرد گلبرگ و شاخص برداشت شد.

Rafiee (2007) در بررسی تراکم و آرایش کاشت مناسـب ذرت (*Zea mays*) گزارش کرد کـه بـا الگـوی کاشـت دو ردیفـه امکـان افزایش تراکم وجود دارد به طوری که در آرایش کاشت دو ردیفـه بـا فاصله ردیف کاشت ۷۵ سانتی‌متر و تراکم ۹۵ هـزار بوتـه در هکتـار عملکرد دانه برتری معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت.

Beheshti *et al.* (2002) در بررسی تاثیر آرایش کاشت بر جذب و کارآیی مصرف نور در کانوپی سـه رقـم ذرت گـزارش کردنـد کـه آرایش کاشت و رقم اثر معنی‌داری بـر میـزان جـذب تشعشـع فعـال فتوسنتزی و کارآیی مصرف نور به‌عنوان مولفه‌هـای مـوثر در تجمـع ماده خشک در مراحل فنولوژیک رشد و بخصوص پس از آغاز مرحله رشد زایشی داشتند. شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور تحـت تأثیر منابع تغییر در این آزمایش قرار گرفت و در نتیجه میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده تحت تأثیر آرایش کاشـت و رقـم تفـاوت نشان داد. نتایج نشان داد که افزایش تجمع ماده خشـک در آرایـش کاشت مربع ناشی از جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی و به‌صورت بارزتری در نتیجه افزایش کارآیی مصرف نور در این آرایـش کاشـت نسبت به آرایش کاشت لوزی و مستطیل بود، لذا با تغییـر در آرایـش کاشت ذرت از روش کاشت مستطیل به مربع می‌توان انتظـار داشـت که بیوماس تولیدی افزایش یابد.

کنجد گیاهی سازگار با نواحی خشک و نیمه خشـک دنیـا اسـت. زراعت کنجد در ایران از زمان‌های قدیم مرسوم بوده و ویژگی‌هـایی همچون تحمل آن به خشکی، آشنایی کشاورزان با زراعت این گیـاه، امکان کشت آن پس از برداشت گندم و جو در مناطق گرمسیر و بالا بودن کمیت و کیفیت روغن آن از جمله مواردی است که باعث توجه به این گیـاه شـده اسـت (Rezvani Moghaddam *et al.,* 2013). تعیین آرایش کاشت و تراکم بوته مناسب در کنجد، به‌دلیـل اسـتفاده بهینه از منابع موجود سبب بهبود عملکرد دانه می‌گردد، لذا این مطالعه به‌منظور بررسی اثرات آرایش کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجـزاء عملکرد کنجد انجام شد تا آرایش مناسب و تراکم مطلوب آن جهـت افزایش عملکرد کنجد مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تراکم بوته و آرایـش کاشـت بـر عملکـرد و اجزای عملکرد کنجد آزمایشی در دو سال متوالی (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشـگاه فردوسـی واقـع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ عرض جغرافیـایی درجـه و ۱۵ دقیقـه عـرض شـمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر) به اجرا درآمد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خـرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجـام شـد. برای این منظور تراکم بوته با سه سطح (۳۰،۴۰،۵۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه آرایش کاشت (مسـتطیل، مربـع، لـوزی) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. ابعاد هر کـرت فرعـی ۲×۳ متر بود. فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ و فاصله بین تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف برای هر سه آرایش کاشت ۵۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. فاصله روی ردیف برای آرایش کاشت مسـتطیل در تراکم‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۶، ۵ و ۴ سانتی‌متر تعیین شد. در آرایش کاشت مربع و لوزی بر روی هر پشـته دو خـط کشت و برای رسیدن به تراکم‌هـای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوتـه در مترمربـع

فاصله روی ردیف به‌ترتیب ۱۸، ۱۶ و ۱۴ سانتی‌متر انتخاب شد (شکل ۱).

شکل ۱- آرایش کاشت مربع (A)، لوزی (B) و مستطیل (C) بر روی یک پشته

Figure 1- Square planting pattern (A), rhombic planting pattern (B) and rectangle planting pattern (C) on a row

رقم کنجد اسفراین برای کاشت انتخاب شد که از مرکز تحقیقات کشاورزی طرق مشهد تهیه و در هر دو سال، کاشت در اواخر اردیبهشت ماه انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی با فواصل هر ۷ روز یکبار انجام شد. علف‌های هرز در طول فصل رشد از طریق وجین دستی کنترل شدند و از هیچ گونه کود و سم شیمیایی در طول فصل رشد استفاده نشد. در پایان فصل رشد به منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد کنجد، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، سطحی مشخص (یک متر مربع) برای نمونه‌برداری مدنظر قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی پس از هوا خشک نمودن بوته‌ها، دانه‌ها پاک و وزن شدند. برای عملکرد بیولوژیک نیز کل بوته‌های برداشت شده وزن شدند. برای ارزیابی اجزای عملکرد نیز تعداد کپسول‌ها و تعداد دانه در کپسول‌ها شمارش و از این طریق تعداد دانه در بوته محاسبه شد. به منظور بررسی وضعیت آرایش کاشت و تراکم بوته در طی دو سال اجرای آزمایش، تجزیه مرکب داده‌ها با نرم‌افزار SAS ver 9.1 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL 2010 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ماده خشک کل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آرایش کاشت و تراکم‌های مختلف بوته و همچنین اثر متقابل آن‌ها اختلاف معنی‌داری در میزان ماده خشک ایجاد کرد (جدول ۱). در هر دو سال، بیشترین ماده خشک در هر کدام از آرایش کشت‌ها مربوط به تراکم۵۰ بوته درمترمربع بود. حداکثر ماده خشک از آرایش کاشت لوزی حاصل شد که به ترتیب حدود ۸ و ۱۳ درصد بیشتر از آرایش کاشت مربع و مستطیل بود. کمترین میزان ماده خشک کل نیز مربوط به آرایش کاشت مستطیل با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع بود (شکل۲). Rezvani Moghaddam *et al.,* (2005) گزارش کردند که افزایش تراکم کنجد از ۲۰ به ۵۰ بوته در مترمربع تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک تک بوته داشت به‌طوری‌که با افزایش تراکم کنجد، ماده خشک تک بوته کاهش یافت. آن‌ها دلیل این امر را کاهش رقابت بین بوته‌ای در تراکم های کم ذکر نمودند که موجب می‌شود امکانات محیطی از قبیل فضا، آب و موادغذایی به مقدار بیشتری در اختیار هر گیاه قرار گیرد. Ghosh and Patar, (1994) در بررسی اثر تراکم بر خصوصیات کنجد و Osei Bonsu (1977) در بررسی فاصله ردیف در کنجد نیز بیان داشتند که بیشترین میزان ماده خشک تک بوته در

تراکم‌های پایین به‌دست آمد. آن‌ها علت این امر را وجود رقابت شدید بین گیاهان، کاهش دسترسی به منابع، کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک در تراکم‌های بالا ذکر کردند.

عملکرد: اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بوته در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری در میزان عملکرد ایجاد کرد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه کنجد

Table 1- Analysis of variance (mean square) yield and yield components of sesame

منابع تغییر Sources variation	درجه آزادی Degree of freedom	بیوماس Biomass	عملکرد Yield	وزن هزار دانه 1000 seed weight	تعداد دانه در کپسول The number of seeds per capsule	شاخص برداشت Harvest Index (HI)	تعداد کپسول در بوته The number of capsules per plant	تعداد شاخه در بوته The number of branches per plant
سال Year	1	275240 ns	3301 ns	0.024 ns	5.50 ns	0.24 ns	5.65 ns	0.22 ns
تکرار در سال Repeated a year	4	552690	32310	0.020	9.94	3.30	9.95	0.01
تراکم Density	2	2113070 *	18145 *	0.579 **	5.03 *	17.25 *	4.70*	1.18*
تراکم*سال Density * Year	2	1611644 ns	45157 ns	0.011 ns	83.84 ns	3.60 ns	5.45 ns	0.85 ns
خطا ۱ Error 1	12	301425	22503	0.021	19.45	1.24	9.60	0.01
آرایش کاشت Planting pattern	2	3610600*	3612280*	0.001 ns	15.20 ns	0.36 ns	150.2 *	0.01 ns
تراکم*آرایش Density* Planting pattern	4	1752498 **	66255 **	0.012 ns	65.44 *	3.20 ns	4.32*	1.01 ns
آرایش*سال Planting pattern * Year	2	1501654 ns	55347 ns	0.001 ns	75.80 ns	3.44 ns	4.44 ns	0.87 ns
تراکم*آرایش*سال Planting pattern* density *year	4	1802996 ns	80295 ns	0.003 ns	90.25 ns	2.25 ns	5.55 ns	0.65 ns
خطای ۲ Error 2	22	321560	24564	0.032	18.87	2.85	9.30	0.01

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد

** and * are significant at 1% and 5% respectively and ns is non-significant differences.

در هر دو سال اجرای آزمایش بیشترین عملکرد دانه مربوط به آرایش کاشت لوزی و تراکم ۵۰ بوته درمترمربع بود که در سال ۱۳۹۱ این میزان (۱۱۰۰ گرم در متر مربع) بصورت معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به آرایش کاشت مستطیل با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به میزان ۷۴۰ گرم در مترمربع در سال ۱۳۹۲ بود (شکل ۳). احتمالاً در آرایش کاشت لوزی به دلیل استفاده بهتر از منابع و رقابت کمتر گیاهان با یکدیگر بیشترین عملکرد کنجد حاصل شد. در هر یک از آرایش‌های کاشت، با کاهش تراکم بوته در واحد سطح عملکرد نیز کاهش پیدا کرد. افزایش تراکم بوته منجر به کاهش تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته شد و بنابراین عملکرد تک بوته کاهش پیدا کرد. اما افزایش تعداد بوته در واحد سطح توانست کاهش عملکرد در تک بوته را جبران کند. افزایش تعداد بوته در واحد سطح منجر به افزایش عملکرد دانه در واحد سطح شد. Caliskan *et al.* (2004)؛ Chimanshette and Dhoble (1992) و Majumdar and Roy (1992) نیز در کنجد به نتایج مشابه‌ای دست یافتند و گزارش نمودند که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، عملکرد دانه در واحد سطح افزایش پیدا کرده است. Ball *et al.* (2000) و Gan *et al.* (2002) نیز در مورد سویا (*Glycine max*) گزارش کردند که کاهش تعداد بوته در واحد سطح سبب کاهش تعداد غلاف و دانه در واحد سطح شده و این امر عملکرد سویا در واحد سطح را نیز کاهش داد. Ball *et al.* (2000) بیان داشتند با افزایش تراکم بوته در واحد سطح، کانوپی گیاه در زمان کوتاه‌تری بسته شده، جذب نور بیشتری صورت گرفته و درنتیجه گیاه در واحد سطح ماده خشک بیشتری تولید کرده و این امر منجر به افزایش

عملکرد در واحد سطح می‌شود. نتایج آزمایش حاضر نیز مؤید همین مسئله می‌باشد.

شکل ۲- مقادیر ماده خشک کل کنجد در آرایش‌ها (مربع، لوزی و مستطیل) و تراکم‌های مختلف کاشت (۳۰، ٤٠ و ٥٠ بوته در مترمربع) در سال ۱۳۹۱ (A) و ۱۳۹۲ (B)

Figure 2- Sesame total dry matter in planting pattern (square, rhombus, rectangle) and different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

تعداد دانه و کپسول در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم بوته بر تعداد دانه و تعداد کپسول در بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آرایش کاشت و تراکم بوته نیز در سطح ۵ درصد موجب اختلاف معنی‌دار تعداد دانه و تعداد کپسول در بوته شد. در هر دو سال اجرای آزمایش بیشترین تعداد دانه و کپسول در بوته در آرایش کاشت لوزی با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (که البته از نظر آماری با آرایش کاشت لوزی و تراکم ۴۰، همچنین آرایش مربع و تراکم ۳۰ بوته در متر مربع اختلاف معنی‌دار نداشت) و کمترین تعداد دانه و کپسول در بوته نیز مربوط به آرایش کاشت مستطیل و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع بود (شکل ۴ و ۵).

شکل ۳- عملکرد کنجد در آرایش‌ها (مربع، لوزی و مستطیل) و تراکم‌های مختلف کاشت (۳۰، ٤۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) در سال ۱۳۹۱ (B) و ۱۳۹۲ (A)

Figure 3- Sesame yield in planting pattern (square, rhombus, rectangle) and different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

در تراکم‌های کم به دلیل وجود فضای کافی رشد رویشی بیشتری صورت گرفته و ماده خشک بیشتری برای شاخه زایی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین در تراکم‌های کم رقابت کمتری برای جذب آب و عناصر غذایی وجود دارد. از سوی دیگر در تراکم‌های کم گل‌های بیشتری تبدیل به کپسول شده و در نهایت تعداد کپسول باقی مانده در زمان برداشت نیز بیشتر گردید. در تراکم‌های بالا نفوذ نور به درون کانوپی کاهش یافته و سبب افزایش رشد رویشی می‌شود و سبب می‌گردد نفوذ نور به پایین بوته محدود شد و بنابراین سبب شد گره‌های پایین گیاه تعداد کمتری کپسول داشته و گاه بدون کپسول باشند. بنابراین مجموع این عوامل منجر به افزایش تعداد کپسول و دانه در تراکم‌های کم نسبت به تراکم‌های زیاد شد. Yaneq *et al*. (2013) در بررسی رقابت بین کنجد و تاج خروس نشان دادند که در تیمارهای رقابت کامل تاج خروس (*Amaranthus retroflexus*) و کنجد به دلیل وجود رقابت برای دریافت نور تعداد کپسول در ساقه اصلی در کنجد کاهش پیدا کرد.

شکل ٤- تعداد دانه در کپسول کنجد در آرایش‌ها (مربع، لوزی و مستطیل) و تراکم‌های مختلف کاشت (۳۰، ٤۰ و ۵۰ بوته در مترمربع) در سال ۱۳۹۱ (ب) و ۱۳۹۲ (الف)

Figure 4- Sesame number of seed per capsule in planting pattern (square, rhombus, rectangle) and different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

شکل ۵- تعداد کپسول در بوته کنجد در آرایش‌ها (مربع، لوزی و مستطیل) و تراکم‌های مختلف کاشت (۳۰، ٤٠ و ٥٠ بوته در مترمربع) در سال ۱۳۹۱ (B) و ۱۳۹۲ (A)

Figure 5- Sesame number of capsule per plant in planting pattern (square, rhombus, rectangle) and different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

همچنین آنها گزارش کردند که تراکم تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته کنجد داشته و بیشترین تعداد کپسول را در تراکم کم بوته مشاهده کردند و علت آن را کاهش منابع در دسترس گیاه در تراکم‌های بالا دانستند. Jakusko *et al.* (2013) در بررسی تأثیر سه فاصله ردیف (۱۵× ۶۰، ۱۰×۶۰ و ۱۰ × ۷۵ سانتی‌متر) گزارش کردند با افزایش فاصله ردیف در کنجد، تعداد دانه در کپسول افزایش می‌یابد و بیشترین تعداد دانه (۶۴/۱۴ عدد) مربوط به فاصله ردیف ۱۰ × ۷۵ سانتی‌متر بود. همچنین آنها بیان داشتند که حداکثر تعداد کپسول در بوته مربوط به فاصله ردیف ۱۰× ۶۰ سانتی‌متر بود. Caliskan *et al.* (2004)؛ Jadhav *et al.* (1992) و Majumdar and Roy (1992) نیز نتایج مشابه‌ای را در کنجد گزارش کردند.

تعداد شاخه در بوته: تعداد شاخه در بوته تحت تأثیر تراکم قرار گرفت. در هر دو سال اجرای آزمایش بیشترین تعداد شاخه مربوط به تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و کمترین تعداد شاخه مربوط به تراکم ۵۰ بوته در مترمربع بود (شکل ۶). به عبارت دیگر افزایش تراکم از ۳۰ بوته در متر مربع به ۵۰ بوته در مترمربع سبب کاهش حدود ۴۵ درصد تعداد شاخه فرعی در بوته شد. در تراکم‌های بالا به علت رقابت بین بوته‌های مجاور، گیاه، ترجیح می‌دهد که تعداد کمتری شاخه فرعی تولید کند، در صورتی‌که در تراکم‌های پایین گیاه فضای کافی در اختیار دارد و تعداد شاخه فرعی را افزایش می‌دهد. Rezvani Moghaddam *et al.* (2005) در بررسی خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و روغن کنجد در تراکم‌های مختلف بوته و فواصل مختلف آبیاری بیان داشتند که با افزایش فواصل آبیاری و تراکم بوته در واحد سطح، تعداد شاخه فرعی در کنجد کاهش می‌یابد. Beheshti, (1995) و Khajeh Hosseini, (1991) در سویا گزارش کردند که با افزایش تراکم رقابت گیاهان مجاور افزایش می‌یابد و در نتیجه تعداد شاخه فرعی، غلاف‌ها و دانه در هر بوته کاهش می‌یابند.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر آرایش کاشت قرار نگرفت ولی تراکم بوته در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشت (جدول ۱). در هر دو سال اجرای آزمایش با افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۵۰ بوته در مترمربع وزن هزار دانه حدود ۱۳ کاهش یافت (شکل ۷). به‌نظر می‌رسد که بهتر بودن شرایط رشد برای گیاه در تراکم کم و کمتر بودن رقابت بین گیاهان سبب گردیده است که مواد فتوسنتزی بیشتری برای هر دانه اختصاص پیدا کند و در نتیجه وزن هزار دانه در این تراکم‌ها بیشتر می‌شود.

شکل ٦- تعداد شاخه در بوته کنجد در تراکم‌های ۳۰، ٤٠ و ٥٠ بوته در مترمربع در سال ۱۳۹۱ (B) و ۱۳۹۲ (A)

Figure 6- Sesame number of branches per plant in different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

واکنش وزن هزار دانه به تراکم در منابع متضاد گزارش شده است. Jakusko *et al.* (2013) بیان داشتند وزن هزار دانه در کنجد به‌صورت معنی‌داری با افزایش فاصله ردیف افزایش می‌یابد. آن‌ها بیان داشتند که بیشترین وزن هزار دانه (به میزان ۳/۲۸ گرم) مربوط به فاصله ردیف ۱۰ ×۷۵ سانتی‌متر بود. Ngala *et al.* (2013) نشان دادند که بین وزن هزار دانه کنجد در سه فاصله ردیف (۲۵×۲۵، ۲۵×۵۰ و ۲۵×۷۵ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی مقدار وزن دانه در فاصله ردیف ۲۵×۷۵ سانتی‌متر اندکی بیشتر از سایر فاصله ردیف‌ها بود. کاهش وزن هزار دانه با افزایش تراکم بوته در کنجد توسط Caliskan *et al.* (2004) و Majumdar and Roy (1992) نیز گزارش شده است. Rezvani Moghaddam *et al.* (2005) بیان داشتند که تراکم تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه دارد به‌طوری‌که با افزایش تراکم، وزن دانه در بوته شدیداً کاهش می‌یابد. Yaneq *et al.* (2013) نیز گزارش کردند تأثیر تراکم بوته بر وزن هزار دانه در کنجد معنی‌دار می‌باشد به‌طوری‌که تراکم دو بوته در هر گلدان وزن هزار دانه بیشتری نسبت به تیمار یک و چهار بوته داشت. آن‌ها بیان داشتند که با افزایش تراکم سهم هر یک از گیاهان از منابع کاهش می‌یابد بنابراین گیاهان ضعیف شده و دانه‌های سبک‌تری تولید می‌کنند.

شکل ۷- وزن هزار دانه کنجد در تراکم‌های ۳۰، ٤٠ و ٥٠ بوته در مترمربع در سال ۱۳۹۱ (B) و ۱۳۹۲ (A)

Figure 7- Sesame 1000 seed weight in different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

شاخص برداشت: تراکم بوته تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشت به طوری‌که در هر دو سال اجرای آزمایش، افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۵۰ بوته در واحد سطح منجر به کاهش شاخص برداشت از حدود ۳۱ به ۲۸ درصد شد (شکل ۸). به‌نظر می‌رسد افزایش تراکم موجب افزایش رقابت بین گیاهان و افزایش ارتفاع آن‌ها به منظور جذب نور می‌گردد، لذا اختصاص مواد به بخش زایشی

کاهش یافته که این امر موجب کاهش شاخص برداشت شده است. Caliskan *et al.* (2004) و Majumdar and Roy (1992) نیز در کنجد گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته به علت افزایش رقابت درون گونه‌ای برای جذب نور، گیاه سعی در افزایش ارتفاع داشته و سهم بیشتری از مواد را به بخش رویشی اختصاص داده، لذا مقدار شاخص برداشت کاهش پیدا می‌کند. Yaneq *et al*. (2013) نیز در کنجد گزارش کردند که افزایش تراکم موجب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت شد، آن‌ها نیز علت این امر را افزایش رشد رویشی گیاه در تراکم‌های بالا ذکر کردند.

شکل ۸- شاخص برداشت کنجد در تراکم‌های ۳۰، ٤٠ و ٥٠ بوته در مترمربع در سال ۱۳۹۱ (A) و ۱۳۹۲ (B)

Figure 8- Sesame harvest index in different densities (30, 40 and 50 plants per square meter) in 2012 (b) and 2013 (a)

شکل ۹ برازش رگرسیون خطی بین تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته را در سه آرایش کاشت مربع، لوزی و مستطیل را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد کپسول در بوته تعداد دانه در کپسول افزایش پیدا کرد و میانگین شیب این افزایش در دو سال برای آرایش لوزی، مربع و مستطیل به ترتیب ۱/۹۷، ۱/۳۵ و ۱/۰۷ بود (به‌علت عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو سال، میانگین دو سال در نظر گرفته شد). به‌نظر می‌رسد در صورت وجود شرایط مناسب برای رشد و اختصاص مواد به بخش زایشی، امکان افزایش هم سوی اجزای عملکرد وجود دارد و گیاه ضمن تولید تعداد کپسول بیشتر در بوته، می‌تواند تعداد دانه در بوته و در نتیجه عملکرد را افزایش دهد. در فواصل کم و با تراکم بیش‌تر به دلیل سایه‌اندازی بر روی خاک و حفظ رطوبت، عملکرد افزایش می‌یابد، از طرفی فواصل بیشتر با کاهش سایه‌اندازی سبب تحریک رشد رویشی خواهد شد Mehmet (*et al.,* 1991). طبعاً توزیع یکنواخت بوته‌ها سبب استفاده موثر از منابع و تاخیر در زمان آغاز رقابت درون گونه‌ای خواهد شد، که این امر باعث انتشار نور در سیستم شده و جذب خالص نور را بالا خواهد برد. در این صورت ضمن اینکه رقابت برای جذب نور به حداقل می‌رسد سایه‌انداز گیاه تشعشع موجود را بطور کامل دریافت کرده و به این ترتیب راندمان عملکرد در گیاه افزایش می‌یابد، این افزایش ممکن است به خاطر تغییراتی باشد که در تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی رخ می‌هد و مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی پیش می‌روند، در این رابطه آنچه از اهمیت بیشتری برخوردار است، میزان و نحوه توزیع نهاده‌های مصرفی یا فضای تغذیه‌ای بوته‌ها (تراکم) در واحد سطح می‌باشد (Duncan, 1986) که با ایجاد آرایش و تراکم مناسب بوته می‌توان شرایط افزایش هم‌سوی اجزای عملکرد را فراهم نمود.

شکل ۱۰ برازش رگرسیون خطی بین تعداد دانه در کپسول با وزن هزار دانه را در سه آرایش کاشت مربع، لوزی و مستطیل را نشان می‌دهد. با افزایش تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه افزایش پیدا کرد و شیب این افزایش در آرایش مستطیل بیشتر از دو آرایش کاشت دیگر بود. افزایش در وزن خشک دانه‌ها پس از شروع رشد زایشی به دلیل تشکیل یک مقصد جدید برای ذخیره مواد غذایی است. با شروع پرشدن کپسول‌ها سرعت تجمع مواد در این اندام به سرعت بالا می‌رود چرا که کپسول یک مقصد قوی برای تجمع مواد می‌باشد. در صورت وجود شرایط مناسب برای رشد و فتوسنتز، گیاه در هنگام ورود به فاز زایشی توان بیشتری برای تولید اندام‌های زایشی و پر کردن دانه‌ها خواهد داشت و ضمن تولید کپسول‌های بیشتر، در پر کردن دانه‌ها نیز موفق عمل خواهد کرد. Taleie *et al*., (2000) نیز طی بررسی روند تغییرات عملکرد دانه در واکنش به آرایش‌های مختلف کاشت نتایج مشابهی را ارائه نمودند.

شکل ۹- رابطه بین تعداد کپسول در بوته با تعداد دانه در کپسول در سه آرایش کاشت مربع، مستطیل و لوزی

Figure 9- The relationship between the number of capsule per plant with seed per capsule in three planting pattern square, rectangle and rhombic

شکل ۱۰- رابطه بین تعداد دانه در کپسول با وزن هزار دانه در سه آرایش کاشت مربع، مستطیل و لوزی

Figure 10- The relationship between number of seed per capsule with 1000 seed weight in three planting pattern square, rectangle and rhombic

شکل ۱۱ ارتباط بین تعداد شاخه در بوته را با وزن هزار دانـه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است با افزایش تعـداد شاخه در بوته وزن هزار دانه افزایش پیدا کرده اسـت. مقـدار شـیب افزایش در آرایش مربع از دو آرایش کاشت دیگر بیشتر بود. به طـور کلی با کاهش رقابت بین بوته‌هـا تخصـیص مـواد غـذایی و سـایر نهاده‌ها به شاخه‌های فرعی افزایش یافته و در نتیجه بر تعداد گره و به‌تبع آن طول شاخه‌های فرعـی افـزوده مـی‌شـود. ایـن نتـایج بـا یافتـه‌هـای Rezai and Hassanzadeh, (1995) بـر روی طـول

شاخه‌های فرعی و تعداد گره بر روی شاخه فرعی مطابقت داشت. از طرفی تولید شاخ و برگ بیشتر در گیاه موجب افزایش جذب نور و فتوسنتز در گیاه می‌گردد که این امر موجب می‌شود تا گیاه در تولید عملکرد نهایی و افزایش وزن دانه‌ها نیز موفق عمل کند (Torabi jefrody *et al*., 2007).

شکل ۱۱- رابطه بین تعداد شاخه در بوته با وزن دانه هزار دانه در سه آرایش کاشت مربع، مستطیل و لوزی

Figure 11- The relationship between number of branches per plant with 1000 seed weight in three planting pattern square, rectangle and rhombic

نتیجه‌گیری

به‌منظور دست یافتن به بیشترین ماده خشک کل و عملکرد دانه، آرایش کاشت لوزی و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع مناسب‌تر از سایر تراکم‌ها و آرایش کشت‌ها می‌باشد. با کاهش تراکم بوته در واحد سطح به دلیل رقابت کمتر برای نور، عناصر غذایی و آب، بیوماس تک بوته افزایش می‌یابد. همچنین، بیشترین تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول در بوته از آرایش کاشت لوزی با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع به دست آمد و به نظر می‌رسد در تراکم‌های کم به دلیل وجود فضای کافی، رشد رویشی بیشتری صورت گرفته و ماده خشک بیشتری برای شاخه‌زایی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. صفات شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد شاخه فرعی تنها تحت تأثیر تراکم بوته قرار گرفتند، بطوریکه بیشترین شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد شاخه فرعی در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بدست آمد ولی احتمال می‌رود در این تراکم کم از امکانات محیطی استفاده مناسبی صورت نگیرد و هدر رفت منابع به ویژه نور وجود داشته باشد. بنابراین در بین الگوها و تراکم‌های مختلف کاشت، الگوی کاشت لوزی و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع مطلوب می‌باشد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهه طرح ۲/۲۰۸۰۴ معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تامین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Asseng, S., Jamieson, P. D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J. W., and Howden, S. M. 2004. Simulated
2. Ahmad, R. M., Tariq, M. F., and Ahmad, S. 2002. Comparative performance of two sesame varieties under different row spacing. Asian Journal of Plant Science 1 (5): 546 547.
3. Azari, A., and Khajepoor, M. 2005. Effects of planting pattern on development, growth, yield components and seed and petal yields of safflower in summer planting, local populations of sharks. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 9(3): 131-141. (in Persian with English abstract).
4. Ball, R. A., Purcell, L. C., and Vories, E. D. 2000. Short-season soybean yield compensation in response to

population and water regime. Crop science 40:1070-1078.
5. Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2002. Effect of planting three varieties of corn on canopy light absorption and conversion efficiency. Seed and Plant Journal 18 (4): 417-431. (in Persian with English abstract)
6. Caliskan, S., Arslan, M., Arioglu, H., and Isler, N. 2004. Effect of planting method and plant population on growth and yield of sesame in a Mediterranean type of environment. Asian Journal of Plant Sciences 3: 610-613.
7. Chimanshette, T., and Dhoble, M. 1992. Effect of planting date and plant density on seed yield of sesame varieties. Indian Journal of Agronomy 37: 280-282.
8. Duncan, W. B. 1986. Planting pattern and soybean yield. Crop Science 28: 917-980.
9. Gan, Y., Stulen, I., Van, Keulen, H., and Kuiper, P. 2002. Physiological response of soybean genotypes to plant density. Field Crops Research 74: 231-241.
10. Ghosh, D. C., and Patar, A. K. 1994. Effect of plant density and fertility levels on productivity and economic of summer sesame. Indian Journal of Agronomy 39: 71-75.
11. Jadhav, A., Chavan, G., and Gungarde, S. 1992. Geometry of sesame cultivars under rainfed conditions. Indian Journal of Agronomy 37: 857-858
12. Jakusko, B., Usman, B., and Mustapha, A. 2013. Effect of row spacing on growth and yield of Sesame in Yola, Adamawa State, Nigeria. Journal of Agriculture and Veterinary Science 2: 36-39.
13. Karaaslan, D., Boydak, E., Gercek, S., and Simsek, M. 2007. Influence of irrigation intervals and row spacing on some yield components of sesame growth in Harran region. Asian Journal of Plant Science 6(4): 623-627.
14. Majumdar, D., and Roy, S. 1992. Response of summer sesame to irrigation, row spacing and plant population. Indian Journal of Agronomy 37: 758-762.
15. Mehmet, M., Huseyin, K., and Ali, T. 1991-93. Effect of different row spacing and seeding density on hay and grain yields of Hungarian vetch under rainfed conditions of central Anatolia. Field Crops Central Research Institute. 79-82.
16. Menon, E. 1967. Effect of varying spacing on yield of Sesame. Indian Journal of Agronomy 12: 274-276.
17. Ngala, A. L., Dugje, I. Y., and Yakubu, H. 2013. Effects of inter row spacing and plant density on performance of sesame in a Nigerian Sudan Savanna. Science Institute (Lahore) 25 (3): 513-519.
18. Noorka, I., Hafiz, S. I., and El-bramawy, A. 2011. Response of sesame to population densities and nitrogen fertilization on newly reclaimed sandy soils. Indian Journal of Agronomy 43 (4): 1953-1958.
19. Osei Bonsu, K. 1977. The effect of spacing and fertilizer application on the growth, yield and yield components of sesame. Acta Horticulturae. 53: 355-374.
20. Öztürk, Ö. and Şaman, O. 2012. Effects of different plant densities on the yield and quality of second crop sesame. Excellence in Research and Innovation for Humanity. 23-30.
21. Rafiee, M. 2007. Effect of planting density on yield of maize cultivar SC 700. Seed and Plant Journal 23 (2): 217-232. (in Persian with English abstract)
22. Rahnama, A., and Bakhshandeh, A. 2006. Determination of optimum row-spacing and plant density for uni-branched sesame in Khuzestan province, Journal of Agricultural Science and Technology 8: 25-33. (in Persian with English abstract)
23. Roy, N., Abdullah Mamun, S. M., and Sarwar Jahan, M. D. 2009. Yield performance of sesame varieties at varying levels of row spacing. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5 (5): 823-827.
24. Beheshti, A. 1995. Evaluation of different density ratios on yield and yield components of grain sorghum and soybeans. MSc thesis of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
25. Kashiri, H., Kashiri, M., Zeinali, E., and Bagheri, M. 2006. Effect of row spacing and plant density on yield and yield components of three soybean cultivars in summer planting. Agricultural Sciences and Natural Resources 13: 42-54. (in Persian with English abstract).
26. Khajeh Hosseini, M. 1991. Effect of intercropping soybean varieties in different densities on quality, yield and yield components. MSc thesis of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract)
27. Rezai, A., and Hassanzadeh, A. 1995. Effects of planting date and plant density on yield, yield components and its vertical distribution in three cultivar. Iranian Journal of Agricultural Sciences 26: 19-29. (in Persian with English abstract)
28. Rezvani Moghaddam, P., Nouroz pour, Gh. Nabati, J., and Mohammadabadi, A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian journal of Agricultural Research 3 (1): 57-68. (in Persian with English abstract).
29. Rezvani Moghaddam, P., Sabori A., Mohammadabadi, A., and Moradi, R. 2013. Effect of chemical fertilizers, manure and municipal waste compost on yield, yield components and oil content sesame genotypes in Mashhad. Iranian journal of Agronomic Research 11: 250-241. (in Persian with English abstract).
30. Taleie, A., Postini, K., and davazdah emammi, S. 2000. Effects planting pattern on physiological characteristics in several bean cultivar. Iranian Journal of Agricultural Sciences 31: 487-477. (in Persian with English abstract)
31. Torabi jefrody, A., Hassanzadeh, A., and Fayyaz moqadam, A. 2007. Effects of plant density on some

morphological characteristics in two bean cultivars. Research and development in agriculture and horticulture 74: 63-71. (in Persian with English abstract).

32. Yaneq, A., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., and Mohammadian, M. 2013. Evaluation of aboveground and underground competition between sesame and amaranth and its effect on yield and yield components of sesame. Iranian agricultural research 1: 96-86. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 31-45

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۴۵-۳۱

The Effect of Planting Pattern and Density on Yield and Yield Components of Sesame (*Sesamum indicum* L.)

A. Koocheki[1*]- M. Nassiri Mahallati[2]- F. Nourbakhsh[3]- A. Nehbandani[4]

Received: 07-03-2014
Accepted: 18-08-2014

Introduction

Crop density enhancement is a method to increase yield per unit area. The spatial distribution of plants is related to radiation absorption. Therefore, it could play an effective role in photosynthesis and yield, since Crop Growth Rate (CGR) is a function of used radiation energy in photosynthesis. Totally, increasing radiation absorption efficiency and yield need sufficient leaf area and suitable distribution of leaves in canopy. Ahmad *et al*., (2002) planted sesame with different inter row- spacing (30, 45 and 60 cm), they reported that the maximum plant height and economic yield were obtained from inter row- spacing of 45 cm. Rahnama and Bakhshandeh (2006) planted sesame with different inter row- spacing (37.5, 50 and 60 cm) and the results showed that the number of capsules per plant, seed weight as well as seed oil per plant, increased with increasing inter row-spacing. Karasan et al., (2007) reported that decreasing inter row- spacing resulted in seed yield enhancement and reduction in number of capsules per plant.

Material and Methods

An experiment using split-plot based on randomized complete blocks design was performed. The experiment was carried with three replications in two years (2012 and 2013) at the agricultural research station of Ferdowsi University of Mashhad. For this purpose, the main plot was the density per square meter with three levels (30, 40 and 50 plants per square meter) and the sub main plot was planting pattern (rectangle, square and rhombic). The size of each plot was 2×3 meters. The distance between plots and blocks were 0.5 and 1 meter, respectively. Intra row- spacing for rectangle planting pattern for densities of 30, 40 and 50 plants per square meter was 6, 5 and 4 cm, respectively. In square and rhombic planting patterns, 2 lines was planted in each row and inter row- spacing for densities of 30, 40 and 50 plants per square meter were 18, 16 and 14 cm. economic yield measured at the end of growth season. In order to study the arrangement and planting density over two years of experiment, combined analysis was performed with SAS ver 9.1 and diagrams were plotted by using EXCEL 2010. Comparison of data mean was performed with LSD test at the level of 5%.

Results and Discussions

Interaction between planting pattern and density had significant effect on total dry matter, yield, the number of seeds per capsule and the number of capsules per plant. Harvest index, 1000 seed weight and the number of branches per plant were affected by plant density. Maximum dry matter was obtained from rhombic planting pattern with density of 50 plants per square meter and it was 8 and 13% more than squares and rectangles planting pattern, respectively. The highest yield was achieved from density of 50 plants per square meter in rhombic planting pattern at a rate of 1100 g m-2 in the year 2012. Maximum number of capsules per plant and seed were achieved from density of 30 plants per square meter in rhombic planting pattern with amount of 47 and 19.2, respectively in the year 2012. Increasing plant density from 30 to 50 plants per square meter decreased 1000 seed weight about 13 percent. Increasing plant density from 30 to 50 plants per unit area leads to lower harvest index (from 31 to 28 percent).

Conclusions

In order to achieve the highest total dry matter and economic yield, diamond planting pattern and density of 50 plants per square meter were better than the other. With reducing the density per unit area, biomass per plant increases due to less competition for light, nutrients and water. The maximum number of seeds per capsule and

1 & 2- Professors of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
3- Ph.D. in Agro-ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
4- Ph.D. Student of Agro-ecology, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

number of capsules per plant were obtained from diamond planting pattern with a density of 30 plants per square meter so it seems that at low densities, growth and branching of the plant increases because of enough space but there is no efficient use of the environmental resources. It's concluded that 50 plants per square meter in the diamond pattern is a suitable combination of treatments.

Keywords: Management practices, Number of capsule, Total dry matter, 1000 seed weight

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 46-60

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۶۰-۴۶

بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات و شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام مختلف گندم تحت شرایط کم‌آبیاری در اصفهان

حمیدرضا سالمی[۱]- علیرضا توکلی[۲*]- داود افیونی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۰۲

چکیده

به‌منظور بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات، شاخص‌های تحمل به خشکی و بهره‌وری آب ارقام مختلف گندم آبی تحت سطوح مختلف کم‌آبیاری، تحقیقی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) در سه تکرار و به مدت سه سال زراعی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان به اجرا درآمد. سه سطح تنش شامل: آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۸۰ درصد آبیاری کامل (۲۰ درصد کم‌آبیاری)، تامین آب به میزان ۶۰ درصد آبیاری کامل (۴۰ درصد کم‌آبیاری) در کرت‌های اصلی و شش رقم گندم شامل: پیشتاز، شیراز، سپاهان، مرودشت، مهدوی و بک‌کراس روشن در کرت‌های فرعی مورد مطالعه قرار گرفت. عملکرد دانه، بهره‌وری آب، عملکرد کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، طول سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و برآورد گردید. نتایج نشان داد که عملکرد دانه به ترتیب با درجه باردهی، تعداد سنبله در مترمربع، زیست توده، شاخص برداشت و ارتفاع بوته دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد دانه با بهره‌وری آب، کاه وکلش و وزن هزار دانه غیرمعنی‌دار بود. نتایج تجزیه علیت و تعیین اثر مستقیم و غیر مستقیم اجزای موثر بر عملکرد دانه نشان داد که صفت تعداد سنبله در متر مربع مهم‌ترین عامل موثر در افزایش عملکرد دانه ارقام گندم بود. نتایج همچنین نشان داد که با اعمال تیمار ۴۰ درصد کم‌آبیاری مقادیر شاخص تحمل، شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و میانگین هارمونیک برای رقم پیشتاز به‌ترتیب ۰/۷۱- ، ۱/۹۴، ۱/۹۲، ۱/۸۲ و ۱/۰۶ و برای رقم سپاهان به‌ترتیب ۰/۶۳- ، ۱/۸۳، ۱/۷۹، ۱/۵۹ و ۰/۹۲ و بالاترین مقادیر بودند. اعمال کم‌آبیاری به میزان ۴۰ درصد آبیاری کامل با دارا بودن برتری نسبی از لحاظ بهبود بهره‌وری آب مصرفی (آب آبیاری) بر دیگر تیمارها نیز برتری داشت. لذا در شرایط کم‌آبیاری بایستی از ارقامی استفاده شود که از تعداد پنجه بارور و تعداد سنبله در متر مربع بیشتری برخوردار باشند تا بتوانند جبران افت عملکرد در واحد سطح ناشی از اعمال کم‌آبیاری را بنمایند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کامل، اجزای عملکرد، بهره‌وری آب، تنش، شاخص تحمل

مقدمه

در مناطق خشک، آب و نه زمین، عامل محدودکننده در بهبود و افزایش تولیدات کشاورزی است، به حداکثر رساندن بهره‌وری از آب در تولید محصول، راهبردی موثرتر و بهتر برای مدیریت مصرف آب در چنین شرایطی است (Oweis and Hachum, 2004) و از آنجا که بخش اعظمی از اراضی زراعی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از اهمیت ویژه برخوردار است. از سوی دیگر یکی از اهداف کشاورزی نوین، بهینه‌سازی مصرف آب از طریق اعمال مدیریت کم آبیاری تنظیم شده و تعیین حد بهینه آن می‌باشد. هر عامل رشدی که میزان محصول را افزایش دهد، بازده (کارآیی) مصرف آب را نیز بهبود می‌بخشد، این عوامل عبارتند از: رقم ، فاصله کاشت، دفع آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز، زمان کاشت و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه. بهبود شیوه‌های عملیات زراعی همچون انتخاب ارقام مناسب، تعیین فاصله مناسب و عمق کاشت، کنترل آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های هرز، تعیین زمان کاشت مناسب و تأمین عناصر

۱- استادیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: art.tavakoli@gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.33241

غذایی مورد نیاز گیاه، سبب بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب مصرفی گردیده است (Tavakoli *et al.,* 2010). معمولاً عملکرد محصول تحت شرایط تنش کمتر از عملکرد آن در شرایط مطلوب است اما بهره‌وری از آب تحت شرایط تنش به مراتب بیشتر از شرایط آبیاری کامل است (Oweis *et al.,* 1999; Tavakoli, 2003; Tavakoli *et al.,* 2003).

یکی از اهداف کشاورزی نوین، بهینه‌سازی مصرف آب از طریق اعمال مدیریت کم‌آبیاری و انتخاب ارقامی می‌باشد که توان تولید در شرایط محدود آب را داشته باشند. اجزای عملکرد و صفات زراعی محصول تحت تاثیر سطوح کم‌آبیاری قرار می‌گیرند، اما بایستی بررسی شود که کدام‌یک از اجزای عملکرد و به چه میزان در بهبود عملکرد نقش دارند. بعضی مطالعات نشان می‌دهد که تنش رطوبتی در هر مرحله از رشد باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Day and Intalap, 1970; Ehlig and Lamert, 1976). بررسی ضرایب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدن و دوره پر شدن دانه با اهمیت است. مشاهده گردید که عملکرد عمدتاً به تعداد پنجه‌های بارور در هر گیاه، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه بستگی دارد (Sarmadnia and Kochaki, 1994). نتایج یک بررسی نشان داده است که مهم‌ترین جزء محدودکننده عملکرد، تعداد دانه در سنبله است (Singh, 1981). تعداد دانه در هر سنبله شاخص مهمی است و تحت شرایط محیطی معین حداکثر عملکرد تولیدی حد مشخصی دارد و تولید بیشتر از آن ممکن نیست. از سوی دیگر افزایش تعداد دانه به ناچار کاهش وزن هزار دانه را به همراه خواهد داشت و بر عکس (Kochaki, 1997). در مطالعات به‌نژادی و مقاومت به خشکی گندم، مشاهده شده است در حالتی که رطوبت خاک کافی است، تعداد سنبله در واحد سطح بیشترین اثر را در تولید محصول دارد (Kochaki, 1997). در صورت وجود تنش رطوبتی، میزان مصرف نهاده‌ها نیز بایستی بهینه شود به نحوی که مصرف بیش از اندازه نیتروژن در زراعت گندم (*Triticum aestivum L.*) باعث افت عملکرد دانه از طریق کاهش تعداد سنبله‌ها می‌شود. اجزای عملکرد تحت تاثیر اعمال مدیریت، ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند و غالباً در توجیه علت کاهش عملکرد به‌کار می‌روند. با توجه به روابط پیچیده صفات با یکدیگر، قضاوت نهایی نمی‌تواند صرفاً بر مبنای ضرایب همبستگی ساده انجام گیرد (Tousi-Mojarad and Bihamta, 2007). یکی از روش‌های بسیار مفید وکاربردی برای تجزیه همبستگی و پی بردن به اثر مستقیم و غیرمستقیم عوامل تولید، استفاده از تجزیه علیت[1] است. تجزیه علیت یکی از روش‌های مطالعه اصل علیت در میان مجموعه‌ای از متغیرها می‌باشد. تجزیه علیت یا ضرایب مسیر از روش‌های بسیار مفید و کاربردی برای تجزیه همبستگی و پی بردن به اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل و اجزای تولید در گیاهان زراعی است. لذا از آنجایی که غالباً یک صفت، علاوه بر اثر مستقیم بر صفت دیگر، از طریق سایر صفات نیز به‌طور غیر مستقیم بر آن اثر خواهد گذاشت، لذا در این موارد، تجزیه ضرایب مسیر، روش مناسبی برای تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر یکدیگر می‌باشد (Rafiei and Saeidi, 2005).

اگر چه اجزای اصلی عملکرد در گندم شامل تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه می‌باشد، اما وزن دانه یکی از اساسی‌ترین مولفه‌های عملکرد به شمار می‌رود. وزن دانه به سرعت رشد و طول دوره پرشدن دانه بستگی دارد، بنابراین هر عاملی که سرعت و یا طول دوره پرشدن دانه را تقلیل دهد، کاهش وزن هزاردانه را در پی خواهد داشت. معمولا افزایش تعداد سنبله در مترمربع، که موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود، کاهش تعداد دانه در سنبله را به‌همراه دارد. تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه داشته (Lotfali Aeeineh, 1997) و مهم‌ترین جزء مؤثر بر عملکرد بوده است (Mobasser, 1994).

شاخص‌های زیادی در ارزیابی تحمل به خشکی مورد توجه است که می‌توان به شاخص تحمل[2] (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط[3] (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری[4] (GMP)، شاخص تحمل تنش[5] (STI) و شاخص میانگین هارمونیک[6] (HM) اشاره کرد که توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفت (Abd-Alshahi *et al.,* 2010; Farshahfar *et al.,* 2001; Fernandez, 1992; Kristin *et al.,* 1997; Rosielle and Hambling, 1981; Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013; Veici-Mal-Amiri *et al.,* 2010; Yousefi-Azar and Rezai, 2007). شاخص تحمل و بهره‌وری متوسط توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hambling, 1981) برای شرایط تنش و بدون تنش تعریف شده‌اند و مقادیر بالای TOL بیانگر حساسیت بیشتر به خشکی است لذا مقادیر پایین آن مناسب است (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013). هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین YS و YP وجود داشته باشد شاخص MP دارای یک اریب به طرف پتانسیل عملکرد خواهد بود، لذا جهت رفع این مشکل شاخص GMP که بر اساس میانگین هندسی عملکرد تیمارها و ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود توسط فرناندز

1- Path analysis

2- Tolerance Index = TOL
3- Mean Productivity = MP
4- Geometric Mean Productivity = GMP
5- Stress Susceptibility Index = STI
6- Harmonic Mean = HM

(Fernandez, 1992) ارائه گردید. شاخص تحمل تنش STI و میانگین هندسی بهره‌وری GMP توسط فرناندز (Fernandez, 1992) بیان شده و اشاره دارد که مقادیر بالای شاخص STI نشان دهنده تحمل بیشتر گیاه به خشکی است. در نهایت شاخص تحمل تنش به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته شد (Zebarjadi *et al.*, 2013).

هدف از این تحقیق تعیین ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد تحت شرایط کم‌آبیاری، تعیین اثر مستقیم و غیر مستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه با استفاده از روش تجزیه علیت و مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان و بر روی شش رقم گندم نان در شرایط فاریاب انجام شد. تحقیق بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت پلات با سه سطح آبیاری (کرت اصلی) شامل: آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۸۰ درصد آبیاری کامل (۲۰ درصد کم‌آبیاری)، تامین آب به میزان ۶۰ درصد آبیاری کامل (۴۰ درصد کم‌آبیاری) و شش رقم گندم نان (کرت های فرعی) شامل: پیشتاز، شیراز، سپاهان، مرودشت، مهدوی و بک‌کراس روشن به اجرا درآمد. ابعاد هر کرت فرعی ۱/۲×۶ متر بود که شامل شش خط ۶ متری بر روی دو پشته با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت در سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳ به ترتیب ۱۹ آبان، ۲۸ آبان و ۲۵ آبان بود. به‌منظور جلوگیری از اثر سطوح آبیاری کرت‌های اصلی بر یکدیگر ضمن در نظر گرفتن حاشیه در طرفین آنها، فواصل ۱/۵متری برای جداسازی آنها از یکدیگر در نظر گرفته شد. میزان بذر بر اساس وزن هزار دانه و با تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع تعیین و با دستگاه بذر کار آزمایشی وینتر اشتایگر در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کشت گردید. کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاس) بر اساس تجزیه شیمیایی خاک و با در نظر داشتن توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب مصرف شد. نیتروژن در سه تقسیط و فسفر و پتاس تماماً در زمان کاشت مصرف شد. در طول دوره رشد، مراقبت‌های زراعی لازم از قبیل مبارزه با علف‌های هرز (با استفاده از علفکش توفوردی) انجام و تیمارهای آبیاری به طور منظم اعمال گردید. نحوهٔ آبیاری به‌صورت جویچه‌ای با اسپایل بوده و اندازه‌گیری حجم آب مصرفی توسط فلوم WSC انجام شد.

پس از حذف حاشیه‌ها، نمونه‌هایی از هر کرت تیمارها و به مساحت یک مترمربع به‌صورت دستی برداشت و به آزمایشگاه منتقل و صفات مورد نظر اندازه‌گیری و برآورد شد. صفات یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شده شامل: عملکرد دانه، کاه و کلش و زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع بود. ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات اندازه‌گیری و محاسبه شده (کاه و کلش، زیست توده، شاخص برداشت، درجه باردهی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و ارتفاع بوته) تعیین گردید. از طریق تجزیه علیت (Path Analysis) نقش و اثر مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد بر عملکرد دانه (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) مشخص گردید.

برای بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی پنج شاخص تحمل (TOL) (Tavakoli, 2012)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI) و شاخص میانگین هارمونیک (HM) مورد ارزیابی قرار گرفتند که از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$TOL=\hat{Y}_{P\&S}-Y_S \quad (۱)$$

$$MP=\frac{Y_S+Y_P}{2} \quad (۲)$$

$$STI=\frac{Y_S\times Y_P}{(\bar{Y}_P)^2} \quad (۳)$$

$$GMP=(Y_S\times Y_P)^{0.5} \quad (۴)$$

$$HM=\frac{2\times Y_S\times Y_P}{\hat{Y}_S+\hat{Y}_P} \quad (۵)$$

که در آن:

Y_S: عملکرد تحت شرایط تنش، کیلوگرم در هکتار

$\hat{Y}_{P\&S}$: متوسط عملکرد تیمارهای تحت تنش (۲۰ یا ۴۰ درصد) و بدون تنش، کیلوگرم در هکتار

Y_P: عملکرد تحت شرایط بدون تنش یا آبیاری کامل، کیلوگرم در هکتار

$\hat{Y}_P$: متوسط عملکرد تحت شرایط بدون تنش، کیلوگرم در هکتار

$\hat{Y}_S$: متوسط عملکرد تحت هر یک از شرایط تنش، کیلوگرم در هکتار

تحلیل داده‌ها با این شاخص‌ها در گزینش تیمار برتر کم‌آبیاری و رقم مناسب به محقق کمک خواهد کرد. از میان شاخص‌های مورد مطالعه، منفی‌تر بودن شاخص تحمل (TOL) و بزرگتر (مثبت) بودن دیگر شاخص‌ها مطلوبیت دارد. علامت منفی شاخص تحمل بیانگر این است که سطوح کم‌آبیاری دارای بهره‌وری از آب آبیاری بیشتری نسبت به آبیاری کامل برخوردارند.

با توجه به اینکه هدف نهایی کشاورز تولید دانه است، مبنای نتیجه‌گیری عملکرد دانه است. با این توضیح که یک نوبت از عملکرد دانه و نوبت دیگر از شاخص بهره‌وری از آب مصرفی (Water Productivity=WP) به‌جای عملکرد دانه استفاده شد که این صفت

بیانگر اهمیت مصرف آب در تولید به ازای واحد آب مصرفی است (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013).

$$IWP = \frac{Y_G}{IWU} \quad (۶)$$

که در آن:

IWP: شاخص بهره‌وری آب آبیاری در تولید دانه، کیلوگرم بر مترمکعب

Y_G: عملکرد دانه، کیلوگرم در هکتار

IWU: آب آبیاری، مترمکعب در هکتار

پس از تجزیه و تحلیل نتایج سه سال، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، Excel و STATISTICA، ضرایب همبستگی عملکرد دانه با کاه و کلش، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت، زیست توده، درجه باردهی (عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار+ زیست توده بر حسب تن در هکتار+ شاخص برداشت بر حسب درصد)، (Kochaki, 1997) و بهره‌وری آب به دست آمد.

نتایج و بحث

ضرایب همبستگی و تجزیه علیت

با توجه به اینکه روابط بین پارامترها در هر سه سال دارای همبستگی معنی‌داری بود، لذا روابط این صفات تکرارپذیر بوده و روابط آنها تحت تاثیر اثر سال قرار نگرفت، بنابراین استفاده از میانگین آنها برای تعیین ضرایب همبستگی و تجزیه علیت توجیه‌پذیر است. بر این اساس نتایج نشان می‌دهد عملکرد دانه به ترتیب با درجه باردهی (r=۰/۷۹۸ **)، تعداد سنبله در متر مربع (r=۰/۷۱ **)، زیست توده (r=۰/۶۲۹ **)، شاخص برداشت (r=۰/۵۳۸ **) و ارتفاع بوته (r=۰/۲۸۴ *) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی عملکرد دانه با بهره‌وری آب (r =۰/۱۶۸)، کاه وکلش (r=۰/۰۵۹) و وزن هزار دانه (r =-۰/۰۱۵) غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱).

بین عملکرد دانه و وزن هزار دانه همبستگی منفی و غیر معنی‌دار موجود بود (جدول ۱). این نتایج با گزارش اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) مطابقت اما با نتایج حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001)، محمدی (Mohammadi, 1998)، سنجری (Sanjari, 1993)، خباز صابری و همکاران (Khabbaz-Saberi *et al.,* 1993) و شری‌واستانا و همکاران (Shrivastana *et al.,* 1980) مغایرت دارد. عملکرد دانه با شاخص برداشت همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار داشت (جدول ۱). نتیجه تحقیق حاضر توسط اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، محمدی (Mohammadi, 1998) و حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001) تأیید شده است اما برخی گزارش کردند که بین شاخص برداشت و عملکرد دانه همبستگی وجود ندارد (Sanjari, 1993). شاخص برداشت که به نوعی بیانگر اثربخشی تعرق در تولید محصول است، یکی از صفات بسیار مهم و موثر در افزایش عملکرد دانه ارقام جدید بوده و نقش مهمی در پیشرفت ژنتیکی ارقام گندم داشته است.

برآورد عملکرد دانه به وسیله برآورد اولیه تعداد سنبله در واحد سطح و سپس تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه ممکن می‌شود (James and Rojer, 1991). تعداد سنبله در واحد سطح (متر مربع) با محصول دانه همبستگی مثبت نشان داد (جدول ۱). این نتیجه توسط مبصر (Mobasser, 1994)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) و هامپتون و همکاران (Hampton *et al.,* 1981) تأیید شده است. مشاهده شده در حالتی که رطوبت خاک کافی باشد، تعداد سنبله در واحد سطح بیشترین تاثیر را در تولید محصول دارد (Kochaki, 1997). عملکرد دانه با زیست توده همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار داشت (جدول ۱). این نتیجه توسط محققین دیگر همچون توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003) و محمدی (Mohammadi, 1998) تأیید شده است. عملکرد دانه با ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول۱). وجود رابطه معنی‌دار بین عملکرد دانه و ارتفاع توسط توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) و محمدی (Mohammadi, 1998) تأیید شده است، اما سنجری (Sanjari, 1993) نشان داد که عملکرد دانه گندم با ارتفاع گیاه رابطه معنی‌داری ندارد. اگر چه صفت تعداد دانه در هر سنبله مهم است اما حداکثر عملکردی که در شرایط محیطی معین می‌توان تولید کرد، مقداری مشخص است (Kochaki, 1997). چنین رابطه‌ای بین تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله نیز وجود دارد و با افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه بیشتری در واحد سطح تولید می‌شود و بدین واسطه بین دانه‌ها برای جذب اسمیلات‌ها رقابت ایجاد می‌شود.

در بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و اجزای آن (جدول ۱) نشان داده شدکه بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله همبستگی منفی و غیرمعنی‌دار وجود داشت. حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001) نیز از وجود همبستگی بسیار ضعیف منفی خبر دادند، اما اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994)، محمدی (Mohammadi, 1998)، سنجری (Sanjari, 1993)، توکلی و همکاران (Tavakoli *et al.,* 2003)، شری‌واستانا و همکاران (Shrivastana *et al.,* 1980) و هانچینال و همکاران (Hanchinal *et al.,* 1994) وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و تعداد دانه در سنبله را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد.

شاید یکی از دلایل این مغایرت مربوط بـه همبسـتگی مثبـت و معنی‌دار بین عملکرد و تعداد سنبله در مترمربـع و رابطـه معکـوس و منفی بین تعداد دانه در سنبله با وزن دانه باشد.

ضرایب همبستگی به خودی خود گویای تمام واقعیت‌ها نیسـت، لذا با توجه به تجزیه علیت به تفکیک اثر مستقیم و غیر مستقیم این صفات پرداخته می‌شود. با استفاده از اثـر مسـتقیم صـفات و ضـرایب همبستگی ساده (جدول ۱) برای تعیین اثـر غیـر مسـتقیم صـفات از روابط تعریف شده در تعیین اثـرات غیـر مسـتقیم بـر اسـاس اثـرات مستقیم و ضرایب همبستگی استفاده شد که روشی ساده در محاسـبه اثر غیرمستقیم محسوب می‌شود.

در چهار وضعیت داده‌هـا تنظـیم و تجزیـه و تحلیـل شـدند ۱- به‌کارگیری کل داده‌ها ۲- داده‌های مربوط به شرایط آبیاری کامل ۳- داده‌های مربوط ۸۰٪ آبیاری کامل و ۴- داده‌هـای مربـوط بـه ۶۰٪ آبیاری کامل. در هر چهار حالت میانگین تکرار هر سال و بـرای سـه سال آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج نشان داد که در حالت استفاده کل داده‌ها (جدول ۲) تعـداد سنبله در متر مربع (۰/۷۰۸) بر عملکرد دانه موثر بـوده اسـت. بـرای شرایط آبیاری کامل (جدول ۳) که شرایط غیر تنش محسوب می‌شود، تعداد سنبله در متر مربع (۰/۶۰۳) دارای اثـر مثبـت و تعـداد دانـه در سنبله (۰/۳۴۵-) و وزن هزار دانه (۰/۴۳-) دارای اثـر منفـی بودنـد، تحت شرایط این آزمایش مشخص شد، با افزایش تعداد سنبله در متر مربع، رقابت بین بوته افزایش یافته و تعداد دانه در سنبله یا وزن هزار دانه کاهش یافت.

در حالت سوم و تحت شرایط ۸۰ درصد آبیاری کامل (جدول ۴)، شرایطی مشابه آبیاری کامل برقرار بود با این تفاوت کـه اثـر منفـی تعداد دانه در سنبله (۰/۴۳۸-) بـه مراتـب بیشـتر از وزن هـزار دانـه (۰/۲۹۴-) بود، اما هم‌چنان بیشترین اثر مربوط به تعداد سنبله در متر مربع (۰/۶۵) می‌باشد. در حالـت چهـارم و تحـت شـرایط ۶۰ درصـد آبیاری کامل (جدول ۵)، روندی مشابه شرایط فوق وجود داشت، یعنی اثر مثبت تعداد سنبله در متر مربع (۰/۴۵۴) و اثر منفی تعداد دانـه در سنبله (۰/۵۲-) و وزن هزار دانه (۰/۵۹۴-) مشهود بود.

با توجه به جدول ۶ و با مقایسه شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری چنین استنباط می‌شود که در شرایط آبیاری کامل عملکرد ارقام گندم دارای نوسان (انحراف معیـار) کـم بـود، در صـورتی کـه بـا اعمـال کم‌آبیاری اختلاف عملکرد به‌طور چشمگیری افزایش یافـت. صـفات میانگین تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه با اعمال کم‌آبیاری کاهش پیدا کرد. آرمینیان و همکاران (Arminian *et al.*, 2010) طی تحقیقی در ارزیابی روابـط بـین عملکـرد دانـه و برخی صفات ارقام گندم از طریق تجزیه ضرایب مسیر نشان دادند که طول سنبله و تعداد دانه در سنبله بیشترین اثر مستقیم و معنی‌دار بـر عملکرد دانه داشت. طی تحقیقـی بـرای تعیـین اثـر مسـتقیم و غیـر

جدول ۱- ضرایب همبستگی عملکرد دانه با صفات مورد مطالعه

Table 1- Correlation coefficients of grain yield with related traits

صفات Factor	کاه و کلش Straw	زیست توده[1] Biomass[a]	شاخص برداشت[2] Harvest index[b]	درجه باروری[3] Productivity degree[c]	تعداد سنبله در مترمربع Spike.m^{-2}	ارتفاع بوته Plant Height	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW[d]	بهره‌وری آب WP[e]
Grain Yield	0.059^{ns}	0.629^{**}	0.538^{**}	0.798^{**}	0.71^{**}	0.284^{*}	-0.066^{ns}	-0.015^{ns}	0.168^{ns}
Straw	1	0.813^{**}	-0.363^{**}	-0.005^{ns}	0.247^{ns}	0.377^{**}	0.31^{*}	-0.075^{ns}	-0.316^{*}
Biomass		1	0.031^{ns}	0.461^{**}	0.606^{**}	0.459^{**}	0.202^{ns}	-0.068^{ns}	-0.148^{ns}
Harvest index			**1**	0.894^{**}	0.277^{*}	-0.073^{ns}	-0.306^{*}	-0.083^{ns}	0.393^{**}
Productivity degree				1	0.539^{**}	0.131^{ns}	-0.166^{ns}	-0.093^{ns}	0.29^{*}
Spike.m^{-2}					1	0.198^{ns}	-0.049^{ns}	-0.036^{ns}	0.225^{ns}
Plant Height						1	0.114^{ns}	0.275^{*}	-0.319^{*}
Grain/spike							1	-0.131^{ns}	-0.503^{**}
TGW								1	-0.594^{**}

* and ** : Significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively

ns : Non- significant

a: Biomass yield b: Harvest index c: Productivity degree d: Thousand Grain weight (TGW) e: Water Productivity

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: غیر معنی‌دار

مستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه گندم آبی از طریق تجزیه علیت نشان داده شد که به ترتیب تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله، مهم‌ترین عامل مؤثر در عملکرد دانه بودند و ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع با عملکرد، ناشی از اثرات مثبت غیرمستقیم کاه وکلش و تعداد دانه در سنبله بود (Tavakoli, 2012).

جدول ۲- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیرمستقیم، بر مبنای کل داده‌ها (n =٥٤)

Table 2- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on total data (n=54)

به کارگیری کل داده‌ها Total data	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	0.708**	-	0.002^{ns}	0.000^{ns}	0.71**
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	– 0.031^{ns}	- 0.035^{ns}	-	-0.001	0.066^{ns}
وزن هزار دانه TGW	- 0.006^{ns}	– 0.025^{ns}	0.004^{ns}	–	-0.015^{ns}

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار P: بیانگر اثر مستقیم $R = 0.71$ $R^2 = 0.51$ $R^2adj = 0.475$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.71$, $R^2 = 0.51$, $R^2adj = 0.48$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ۳- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیرمستقیم، بر مبنای آبیاری کامل (n =۱۸)

Table 3- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on full irrigation (n=18)

۲- داده‌های مربوط به شرایط آبیاری کامل 2 – Full irrigation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike m^{-2}	0.603**	-	– 0.01^{ns}	0.126^{ns}	0.719 **
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	– 0.345^{ns}	0.017^{ns}	-	0.199^{ns}	– 0.13^{ns}
وزن هزار دانه TGW	- 0.43 *	– 0.177^{ns}	0.159^{ns}	–	-0.447^{ns}

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار $R = 0.82$ $R^2 = 0.67$ $R^2adj = 0.6$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.82$, $R^2 = 0.67$, $R^2adj = 0.60$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ٤- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیر مستقیم، بر مبنای ۸۰٪ آبیاری کامل (n =۱۸)

Table 4- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on 80% full irrigation (n=18)

۳- داده‌های مربوط به شرایط ۸۰٪ آبیاری کامل 3 –80% Full irrigation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike m^{-2}	0.65 **	-	0.018^{ns}	0.059^{ns}	0.727**
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	–0.438 **	- 0.027^{ns}	-	0.081^{ns}	– 0.384^{ns}
وزن هزار دانه TGW	- 0.295	– 0.129^{ns}	0.121^{ns}	–	-0.302^{ns}

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار $R = 0.85$ $R^2 = 0.73$ $R^2adj = 0.67$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.85$, $R^2 = 0.73$, $R^2adj = 0.67$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ۵- تفکیک ضرایب همبستگی اجزای عملکرد دانه گندم به اثر مستقیم و غیر مستقیم، بر مبنای ۶۰٪ آبیاری کامل (n =۱۸)

Table 5- Partitioning of correlation coefficients to direct and indirect effects by path analysis method, based on 60% full irrigation (n=18)

٤- داده‌های مربوط به شرایط ٦٠٪ آبیاری کامل 4 –60% Full irrigation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم Indirect effect			ضرایب همبستگی با عملکرد دانه § Corr. Coeff. with grain yield
		تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	وزن هزار دانه TGW (g)	
تعداد سنبله در متر مربع Spike m^{-2}	0.454**	-	0.266 ^{ns}	– 0.004 ^{ns}	0.717**
تعداد دانه در سنبله Grain/spike	–0.52**	- 0.23 ^{ns}	-	0.25 ^{ns}	– 0.502*
وزن هزار دانه TGW	- 0.594**	0.003	0.219 ^{ns}	–	– 0.373 ^{ns}

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد ns: غیر معنی‌دار P: بیانگر اثر مستقیم $R = 0.9$ $R^2 = 0.81$ $R^2adj = 0.77$

* and **: Significant at the 5% and 1% level of probability respectively, $R = 0.90$, $R^2 = 0.81$, $R^2adj = 0.77$

§: ضریب همبستگی هر کدام از صفات با عملکرد دانه برابر مجموع اثرات مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد.

§: R^2 (correlation coefficients) = Direct effect + Indirect effect

جدول ٦- میانگین و انحراف معیار اجزای عملکرد در چهار حالت تجزیه علیت داده‌ها

Table 6- The mean and standard deviation of yield components under four status of path analysis

		تعداد داده‌ها n	عملکرد دانه Grain yield (kgha^{-1})	تعداد دانه در سنبله Grain/spike	تعداد سنبله در متر مربع Spike.m^{-2}	وزن هزار دانه TGW (g)
حالت اول First	میانگین Avg.	54	6825	34	592	37.4
	انحراف معیار SE		972	4	85	3.5
حالت دوم Second	میانگین Avg.	18	7500	36	617	39.2
	انحراف معیار SE		787	4	90	3.5
حالت سوم Third	میانگین Avg.	18	6720	33.8	588	38.0
	انحراف معیار SE		796	4	85	2.5
حالت چهارم Fourth	میانگین Avg.	18	6254	32.4	570	35.0
	انحراف معیار SE		923	3	78	3.0

در تمام این حالات مشاهده می‌شود که اثر مثبت مستقیم و غیرمستقیم تعداد سنبله در مترمربع بر عملکرد دانه و صفات دیگر مشهود و برجسته است. لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در شرایط کم‌آبیاری بایستی از ارقامی استفاده نمود که بتوانند تعداد پنجه بارور و تعداد سنبله در متر مربع بیشتری تولید نمایند و از این طریق افت عملکرد در واحد سطح ناشی از اعمال کم‌آبیاری را جبران نمایند.

در این قسمت به نتایج تحقیقات برخی محققین اشاره می‌شود و ممکن است نتایج به دست آمده در برخی موارد با گزارشات دیگر محققین در برخی موارد همسو نباشد که با توجه به ماهیت کم‌آبیاری تیمارهای آزمایشی که بر این تحقیق حاکم بوده، منطقی و قابل قبول است. دوفینگ و نایت (Dofing and Knight, 1992) اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله را روی عملکرد دانه مثبت و مهم گزارش نموده‌اند و اهدایی و همکاران (Ehdaei *et al.,* 1994) بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد دانه را مربوط به تعداد دانه در سنبله دانسته‌اند، اما کومار و گوپتا (Kumar and Gupta, 1984) اثر تعداد دانه در سنبله را بر روی عملکرد دانه مثبت و کم گزارش نمودند. افزایش عملکرد دانه از طریق افزایش وزن هزار دانه به‌طور مستقیم توسط دوفینگ و نایت (Dofing and Knight, 1992)، مقدم و همکاران (Moghaddam *et al.,* 1993)، اهدایی و وینز (Ehdaei and Waines, 1987)، شمس‌الدین (Shamsuddin, 1987)، موندال و همکاران (Mondal *et al.,* 1997) و حسین‌پور و همکاران (Hosseinpor *et al.,* 2001) گزارش شده است. در تحقیقات انجام شده توسط موندال و همکاران

(Mondal *et al.,* 1997) ضرایب تجزیه علیت نشان داد که تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و تعداد پنجه اثر مستقیم مثبت روی عملکرد دانه داشته‌اند، ضمن اینکه ارتفاع بوته و زمان رسیدن فیزیولوژیک اثر مستقیم منفی روی عملکرد داشته‌اند. شمس‌الدین (Shamsuddin, 1987) اثر مستقیم تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته و وزن دانه روی عملکرد دانه گندم را مثبت تعیین نمود. از طریق تجزیه علیت نشان داده شد که به ترتیب تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله، مهم‌ترین عوامل موثر بر عملکرد دانه گندم بودند و ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در متر مربع با عملکرد، ناشی از اثرات مثبت غیرمستقیم کاه وکلش و تعداد دانه در سنبله بوده است (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013).

توکلی و مهدوی مقدم (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013) نشان دادند که با افزایش میزان مصرف آب از ۱۶۰ میلی‌متر به ۲۲۰ میلی‌متر (آبیاری کامل) تفاوت معنی‌داری در افزایش کاه وکلش، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه مشاهده نشد، اما سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع گردید. ایشان توصیه نمودند، جهت افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی، از بین اجزای عملکرد دانه ابتدا تعداد سنبله در واحد سطح، سپس تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه و شاخص برداشت را بایستی افزایش داد. اما برای افزایش عملکرد دانه دانه در شرایط معمولی از بین اجزای عملکرد دانه، به ترتیب تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و وزن هزار دانه را بایستی افزایش داد و در شرایط عدم محدودیت آب بهتر است با افزایش دوره رشد رویشی، میزان شاخ و برگ، افزایش یابد، چون در پرشدن دانه و تغذیه دانه دخالت دارد.

شاخص‌های تحمل به خشکی

شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس متوسط داده‌های سه سال تحقیق برآورد شد و در جداول ۷ الی ۱۰ به ترتیب برای عملکرد دانه، کاه و کلش، زیست توده و شاخص بهره‌وری آب آبیاری در تولید دانه نشان داده شده است.

داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد که در هر دو سطح ۲۰ و ۴۰ درصد کم‌آبیاری و بر مبنای عملکرد دانه، ابتدا رقم پیشتاز و سپس رقم سپاهان به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و مقدار منفی‌تر شاخص TOL برتری داشت. این برتری با میزان عملکرد دانه نیز همسو بود.

بدیهی است که مقادیر کمتر TOL مناسب‌تر است و بیانگر پایداری عملکرد می‌باشد. البته بالا بودن شاخص‌های GMP، MP و HM نیز مطلوب بیان شده است (Maleki *et al.,* 2009). توکلی (Tavakoli, 2012) گزارش کرد که شاخص‌های TOL، MP، GMP، STI و HM در سطح ۶۶ درصد آبیاری کامل گندم آبی و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، نسبت به دیگر تیمارها برتری داشت (Tavakoli, 2012). نادری و همکاران (Naderi *et al.,* 2013) نشان دادند که ژنوتیپ‌های گزینش شده در شرایط بدون محدودیت آب، در شرایط تنش ملایم کمبود آب نیز عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. همچنین نتایج حاصل از مطالعه همبستگی بین شاخص‌ها و میانگین عملکرد دانه در شرایط کم‌آبیاری و آبیاری کامل نشان داد که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌ها، شاخص‌های بهره‌وری متوسط، تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک هستند (Fallahi *et al.,* 2011).

بر اساس میزان عملکرد در واحد سطح و شاخص‌های تحمل به خشکی مبتنی بر عملکرد، تیمار ۲۰ درصد کم‌آبیاری، برتری نشان می‌دهد اما بایستی بررسی شود که از منظر بهره‌وری آب و شاخص‌های تحمل به خشکی مبتنی بر بهره‌وری نیز، این برتری حفظ خواهد شد یا خیر؟

جدول ۸ و ۹ نشان می‌دهند که ۲۰ درصد کم‌آبیاری برای کلیه ارقام به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و مقدار منفی‌تر شاخص TOL برتری داشت، اما بر اساس کاه و کلش نمی‌توان برتری رقم خاصی را به اثبات رساند که به خصوصیات و ویژگی‌های خاص رقم مربوط می‌شود. ولی بر مبنای زیست توده، ابتدا رقم پیشتاز و بعد از آن سپاهان به دلیل دارا بودن مقادیر بیشتر شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و مقدار منفی‌تر شاخص TOL برتری دارند اگر چه این برتری با مقادیر کمی زیست توده همسو نیست.

آنچه که در شرایط کشور بسیار اهمیت دارد محدودیت منابع آب و فراوانی نسبی اراضی است و آب، و زمین عامل محدودکننده تولید به شمار نمی‌رود، لذا شاخص بهره‌وری آب یعنی تولید به ازای واحد آب مصرفی ملاک و معیار اساسی در تعیین تیمار برتر کم‌آبیاری محسوب می‌شود. بر اساس جدول ۱۰ تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل در بهره‌وری از آب دارای برتری بارزی نسبت به سطح ۸۰ درصد آبیاری کامل و سطح آبیاری کامل دارد به‌طوری که مقدار شاخص بهره‌وری آب برای رقم پیشتاز و تحت تیمارهای آبیاری کامل، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل به‌ترتیب ۱/۶۳، ۱/۷۶ و ۲/۲۶ کیلوگرم بر میلی‌متر و برای رقم سپاهان و برای تیمارهای فوق به‌ترتیب ۱/۴۸، ۱/۷ و ۲/۱۷ کیلوگرم بر میلی‌متر به دست آمد که نشان‌دهنده برتری سطح ۴۰ درصد کم‌آبیاری برای ارقام پیشتاز و سپاهان است.

جدول ۷- شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد دانه در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 7- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on grain yield

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			Grain Yield (kg ha^{-1}) عملکرد دانه			
I 60% ($S_{60\%}$)	6852	6098	6600	6073	5569	6331
I 80% ($S_{80\%}$)	7135	6747	6887	6363	6204	6985
I 100%	8250	7568	7494	7508	6690	7490
			20% deficit irrigation ۲۰ درصد کم‌آبیاری			
TOL	-25	363	223	747	906	125
MP	7693	7158	7191	6936	6447	7238
GMP	7672	7146	7184	6912	6442	7233
STI	1.05	0.91	0.92	0.85	0.74	0.93
HM	4143	3594	3633	3363	2922	3683
			40% deficit irrigation ٤٠ درصد کم‌آبیاری			
TOL	258	1012	510	1037	1541	779
MP	7551	6833	7047	6791	6130	6911
GMP	7519	6793	7033	6752	6104	6886
STI	1.01	0.82	0.88	0.81	0.66	0.85
HM	4117	۳۳۵۹	3600	3318	2714	3451

۶۸۷۷ $\hat{Y}_{P\&60\%}$ =۷۱۱۰ $\hat{Y}_{P\&80\%}$ = ۶۲۵۴ $\hat{Y}_{60\%}$ =۶۷۲۰ $\hat{Y}_{80\%}$ =۷۴۸۶ $\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$ =6877 $\hat{Y}_{P\&80\%}$ =7110 $\hat{Y}_{60\%}$ = 6254 $\hat{Y}_{80\%}$ = 6720 $\hat{Y}_P$ =7486

جدول ۸- شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد کاه در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 8- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on straw yield

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			Straw Yield (kg.ha^{-1}) عملکرد کاه			
I 60% ($S_{60\%}$)	7289	8010	8177	8734	8489	9112
I 80% ($S_{80\%}$)	7869	7864	8614	9061	8464	8981
I 100%	7907	8845	10289	9359	7880	10643
			20% deficit irrigation ۲۰ درصد کم‌آبیاری			
TOL	-1915	859	864	111	-333	234
MP	9275	7888	8355	9453	9210	8187
GMP	9174	7888	8340	9416	9209	8181
STI	1.07	0.79	0.89	1.13	1.08	0.85
HM	4778	3532	3949	5033	4814	3800
			40% deficit irrigation ٤٠ درصد کم‌آبیاری			
TOL	1876	2630	2128	2564	3159	2396
MP	7551	7174	7084	6784	6538	6511
GMP	7518	7093	7068	6747	6466	6508
STI	1.0	0.89	0.89	0.81	0.74	0.75
HM	4109	3657	3631	3309	3039	3079

۶۹۴۰ $\hat{Y}_{P\&60\%}$ =۸۷۲۸ $\hat{Y}_{P\&80\%}$ = ۶۲۵۴ $\hat{Y}_{60\%}$ =۸۷۵۸ $\hat{Y}_{80\%}$ =۸۸۵۶ $\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$ =6940 $\hat{Y}_{P\&80\%}$ =8728 $\hat{Y}_{60\%}$ = 6254 $\hat{Y}_{80\%}$ = 8758 $\hat{Y}_P$ =8856

اما آنچه که بسیار اهمیت دارد همسویی شاخص‌های تحمل به خشکی با نتیجه ناشی از شاخص بهره‌وری آب می‌باشد، به‌طوری که مقادیر شاخص TOL، MP، GMP، STI و HM تحت تیمار ۶۰ درصد کم‌آبیاری برای رقم پیشتاز به‌ترتیب ۰/۷۱-، ۱/۹۴، ۱/۹۲، ۱/۸۲ و ۱/۰۶ و برای رقم سپاهان به‌ترتیب ۰/۶۳-، ۱/۸۳، ۱/۷۹، ۱/۵۹ و ۰/۹۲ و بالاترین مقادیر بودند.

مقدار کمتر شاخص تحمل مطلوبیت دارد (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013) و علامت منفی شاخص تحمل نشانگر این است میزان این شاخص در ۶۰ درصد کم‌آبیاری و برای رقم پیشتاز و سپاهان بیشتر از شرایط آبیاری کامل می‌باشد. ضمن اینکه مقادیر بیشتر شاخص‌های بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992) و میانگین

هارمونیک در انتخاب گزینه برتر مطلوبیت دارد. شیوه آنالیز نتایج این تحقیق که روشی برای تعیین گزینه برتر و بهینه آبیاری است مورد تأیید محققین دیگر نیز می‌باشد.

جدول ۹- شاخص‌های تحمل به خشکی برای عملکرد بیوماس در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 9- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on biomass yield

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			عملکرد بیوماس Biomass Yield (kg ha^{-1})			
I 60% ($S_{60\%}$)	14140	14109	14777	14808	14058	15444
I 80% ($S_{80\%}$)	15004	14611	15504	15424	14698	15966
I 100%	16157	16413	17783	16867	14570	18133
			۲۰ درصد کم‌آبیاری 20% deficit irrigation			
TOL	-2199	940	1332	439	519	1254
MP	17145	15581	15512	16644	16145	14634
GMP	17117	15570	15486	16605	16129	14634
STI	1.09	0.91	0.90	1.03	0.97	0.80
HM	9179	7594	7513	8638	8150	6709
			٤۰ درصد کم‌آبیاری 40% deficit irrigation			
TOL	1803	1835	1166	1136	1885	500
MP	15149	15133	15595	16295	15462	15007
GMP	15115	15098	15574	16227	15399	15001
STI	0.85	0.85	0.91	0.98	0.89	0.84
HM	7390	7374	7846	8518	7670	7279

۱۵۴۴۰ $\hat{Y}_{P\&60\%}$=۱۵۹۴۴ $\hat{Y}_{P\&80\%}$= ۱۴۵۵۶ $\hat{Y}_{60\%}$ =۱۵۵۶۳ $\hat{Y}_{80\%}$ =۱۶۳۵۸ $\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$ =15440 $\hat{Y}_{P\&80\%}$ =15944 $\hat{Y}_{60\%}$ = 14556 $\hat{Y}_{80\%}$ = 15563 $\hat{Y}_P$ =16358

جدول۱۰- شاخص‌های تحمل به خشکی برای بهره‌وری آب در مقایسه دو سطح کم‌آبیاری با آبیاری کامل

Table 10- Drought tolerance indices under different deficit irrigation levels based on water productivity

	پیشتاز Pishtaz	شیراز Shiraz	سپاهان Sepahan	مرودشت Marvdasht	مهدوی Mahdavi	بک‌کراس روشن BC-Roshan
			بهره‌وری از آب مصرفی (WP) ناشی ازآب آبیاری Irrigation water productivity (kg mm^{-1})			
I 60% ($S_{60\%}$)	2.26	2.01	2.17	2.00	1.83	2.09
I 80% ($S_{80\%}$)	1.76	1.67	1.70	1.57	1.53	1.73
I 100%	1.63	1.50	1.48	1.48	1.32	1.20
			۲۰ درصد کم‌آبیاری 20% deficit irrigation			
TOL	-0.21	-0.12	-0.15	-0.02	0.02	-0.18
MP	1.70	1.58	1.59	1.53	1.43	1.46
GMP	1.69	1.58	1.59	1.53	1.42	1.44
STI	1.42	1.23	1.24	1.15	1.00	1.02
HM	0.93	0.81	0.82	0.76	0.66	0.67
			٤۰ درصد کم‌آبیاری 40% deficit irrigation			
TOL	-0.71	-0.46	-0.63	-0.45	-0.29	-0.54
MP	1.94	1.75	1.83	1.74	1.58	1.64
GMP	1.92	1.73	1.79	1.72	1.56	1.58
STI	1.82	1.48	1.59	1.46	1.20	1.24
HM	1.06	0.86	0.92	0.85	0.70	0.72

۱/۷۵ $\hat{Y}_{P\&60\%}$=۱/۵۵ $\hat{Y}_{P\&80\%}$= ۲/۰۶ $\hat{Y}_{60\%}$ =۱/۶۶ $\hat{Y}_{80\%}$ =۱/۴۲ $\hat{Y}_P$ =

$\hat{Y}_{P\&60\%}$ =15440 $\hat{Y}_{P\&80\%}$ =15944 $\hat{Y}_{60\%}$ = 14556 $\hat{Y}_{80\%}$ = 15563 $\hat{Y}_P$ =16358

احمدی و سی و سه مرده (Ahmadi and Sio-Se-Mardeh, 2003) طی تحقیقی بر روی کولتیوارهای گندم اصلاح شده گزارش کردند که شاخص‌های تحمل به تنش و متوسط محصول دهی نسبت به دیگر شاخص‌ها موثرتر هستند. هم‌چنین فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.,* 2001) شاخص‌های MP، GMP، STI و HM و کرمی و همکاران (Karami *et al.,* 2005) و ملکی و

همکاران (Maleki *et al.,* 2009) شاخص‌های MP، GMP و STI را مناسب‌ترین شاخص دانسته‌اند. بدیهی است که مقادیر کمتر TOL مناسب‌تر است و بیانگر پایداری عملکرد می‌باشد. البته بالا بودن شاخص‌های GMP، MP و HM نیز مطلوبیت دارد (Maleki *et al.,* 2009). بررسی توکلی و مهدوی مقدم (Tavakoli and Mahdavi Moghadam, 2013) نشان می‌دهد که شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و شاخص میانگین هارمونیک نشان داد که ۶۶ درصد آبیاری کامل و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در بهبود بهره‌وری آب آبیاری برتری دارد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشاهده شد که عملکرد دانه با درجه باردهی، تعداد سنبله در متر مربع، زیست توده، شاخص برداشت و ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت و بیشترین اثر مستقیم مربوط به صفت تعداد سنبله در مترمربع بود. همچنین بر اساس نتایج مکتسبه از این تحقیق، و با هدف بهبود شاخص بهره‌وری آب، اعمال ۲۰ درصد کم‌آبیاری نسبت به آبیاری کامل قابل توصیه است. در شرایط کمبود شدید آب قابل دسترس، حداکثر می‌توان تا ۴۰ درصد کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل را برای گندم رقم پیشتاز و سپاهان اعمال کرد و در این شرایط افت عملکرد قابل توجه خواهد بود. سطوح کم‌آبیاری از نظر شاخص‌های تحمل به خشکی شامل شاخص تحمل، شاخص بهره‌وری متوسط، میانگین هندسی بهره‌وری، شاخص تحمل تنش و میانگین هارمونیک و همچنین شاخص بهره‌وری آب آبیاری ارقام گندم قابل توجیه است. این نتایج می‌تواند مورد توجه و استفاده در مطالعات به‌نژادی قرار گیرد.

References

1. Abd-Alshahi, R., Omidi, M., Taleei, A. R., and Yazdi-Samadi, B. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance. Electronic Journal of Crop Production 3 (1):159-171. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, A., and Sio-Se-Mardeh, A. 2003. Relationships among growth indices, drought resistance and yield in wheat cultivars of different climates of Iran under stress and non stress conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34 (3): 667-679. (in Persian with English abstract).
3. Arminian, A., Houshmand, S., and Shiran, B. 2010. Evaluation the relationships between grain yield and some of its related traits in a doubled-haploid bread wheat population. Electronic Journal of Crop Production 3 (1): 21-38. (in Persian with English abstract).
4. Day, A. D., and Intalap, S. 1970. Some effects of soil moisture on the grown of wheat. Agronomy Journal 62: 27-29.
5. Dofing, S. M., and Knight, C. W. 1992. Alternative model for path analysis of small – grain yield. Crop Science 32 (2): 487-489.
6. Ehdaei, B., and Waines J. C. 1987. Genetic variability, heritability and path analysis in land races of bread wheat from south western of Iran. Euphytica 41: 1183-1190.
7. Ehdaei, B., Normohammadi, Gh., and Vala, A. 1994. Environment sensitive and correlations of yield and its components for Doroum wheat varieties under different environmental conditions. The Scientific Journal of Agriculture 17: 15-31. (in Persian with English abstract).
8. Ehlig, C. F., and, Lamert, R. D. 1976. Water use and productivity of wheat under five irrigation treatments. Soil Science Society American Journal 40: 750-755.
9. Fallahi, H. A., Jafarbye, J. A. and Sayyedi, F. 2011. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 27 (1): 15-22. (in Persian with English abstract).
10. Farshadfar, E., Zamani, M., Motallebi, M., and Imamjomeh, A. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Science 32 (1): 65-77. (in Persian with English abstract).
11. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In proceeding of the symposium, Taiwan, 13-18 Aug.1992.
12. Hampton, J. B., Mecloy, B. L., and Memillan, D. R. 1981. Ear population and wheat production. Journal of Experimental Agriculture 185-189.
13. Hanchinal, R. R., Tandon, J. P., and Salimath, P. M. 1994. Variation and adaptation of wheat varieties for heat tolerance in peninsular India. Pp.175-183.
14. Hosseinpor, T., Siadat, A., and Mamaghani, R. 2001. Study correlation of physiological characteristics of ten wheat genotypes with grain yield due to path analysis under rainfed condition of Kohdasht region. Azad University of Dezfol Branch, 156 pp. (in Persian with English abstract).
15. James, R. C., and Roger, J. V. 1991. Wheat health management, APS press the American phytopathological experimentation design and analysis, John Willy and Sons.

16. Karami, E., Ghanadha, M. R., Naghavai, M. R., and Mardi, M. 2005. Identifying of drought tolerant varieties in barley. Iranian Journal of Agricultural Sciences 37: 371-379. (in Persian with English abstract).
17. Khabbaz-Saberi, H., Ghomi, S., and Chraghali, A. 1993. Study and determination of suitable density of advanced wheat varieties. Journal of Seed and Plant. 9 (3&4): 26-29. (in Persian with English abstract).
18. Kochaki, A. 1997. Production and crop breeding at rainfed farming. Jahad e Daneshgahi press of Ferdowsi University, 302pp. (in Persian with English abstract).
19. Kristin, A. S., Serna R. R., Perez F. I., Enriquze B. C., Gallegos J. A. A., Vallejo P. R., Wassimi N., and Kelley J. D. 1997. Improving common performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.
20. Kumar, D., and S.C., Gupta, 1984. Correlation and path coefficient analysis in barley grown on normal and salin soils. Indian journal of agricultural sciences 54 (4): 356-358.
21. Lotfali Aeeineh, Gh. 1997. Study phonological and physiological characteristics of five durum wheat genotypes under four levels of nitrogen fertilizer and Ahvaz climate condition. College of Agriculture, Shahid Chamran University, 137pp. (in Persian with English abstract).
22. Maleki, A., Majidi-Hrvan, I., Heidari-Sharif-Abad, H., and Nur-Mohammadi, Gh. 2009. Evaluation of drought tolerance in bread wheat landraces and improved water conditions and drought stress. Iranian journal of agricultural sciences 5 (16): 81-91. (in Persian with English abstract).
23. Mobasser, S. 1994. Study correlation of yield and its components and some morphological characteristics of barley due to path analysis. College of Agriculture, Shahid Chamran University, 71pp. (in Persian with English abstract).
24. Moghaddam, M., Basirat, M., Rahimzadeh, F., and Shakiba, M. 1993. Path analysis of yield and its components and some morphological characters on winter wheat. Journal of Agricultural Sciences 4 (1 & 2): 48-73. (in Persian with English abstract).
25. Mohammadi, M. 1998. Study correlation between agronomic characters and wheat yield under rainfed condition. Agricultural Research Center of Kohgiloyeh and Boyer Ahmad, No 77/232, 11pp. (in Persian with English abstract).
26. Mondal, A. B., Sadhu, D. P., and Asrkar, K. K. 1997. Correlation and path analysis in bread wheat. Environment and Ecology, 15: 537-539.
27. Naderi, A., Akbari Moghaddam, H., and Mahmoodi, K. 2013. Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in south-warm regions of Iran. Seed and Plant Improvement Journal 29 (3): 601-616. (in Persian with English abstract).
28. Oweis, T., and Hachum, A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. 4th international crop science congress 26th. September to 1st October 2004, Queensland, Australia.
29. Oweis, T., Hachum, A., and Kijne, J. 1999. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. SWIM paper no.7. 38pp.
30. Rafiei, F., and Saeidi, Gh. 2005. Phenotypic and genotypic relationships between agronomic traits and yield components of Safflower. Journal of Science Agriculture 28: 137-147.
31. Rosielle, A. A., and Hambling, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non- stress environments. Crop Science 21: 943-946.
32. Sanjari, A. Gh. 1993. Study effects of yield components on yield of wheat varieties. Journal of Seed and Plant, 9(1&2): 15-20. (in Persian with English abstract).
33. Sarmadnia, G. H., and Kochaki, A. 1994. Physiological aspects of rainfed farming. Jahad e Daneshgahi press of Ferdowsi University, 424pp. (in Persian with English abstract).
34. Shamsuddin, A. K. 1987. Path analysis in bread wheat. Indian Journal of Agricultural Sciences 57: 478-490.
35. Shrivastana, S. N., Sadar D. K., and Mallick M. H. 1980. Association analysis in rainfed wheat. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 40: 512-514.
36. Singh, S. D. 1981. Moisture sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. Agronomy Journal 73: 387-391.
37. Tavakoli, A. R. 2003. Effects of supplemental irrigation and nitrogen rates on yield and yield components of rainfed wheat. Journal of Crop and Seed. 19 (3): 367–381. (in Persian with English abstract).
38. Tavakoli, A. R. 2012. Correlation coefficient, path analysis and drought tolerance indices for wheat under deficit irrigation conditions and nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crop Research 10 (1): 198-206. (in Persian with English abstract).
39. Tavakoli, A. R., and Mahdavi Moghadam, M. 2013. Path analysis, drought tolerance indices and yield and yield components for wheat under deficit irrigation and nitrogen conditions. International Journal of Agriculture: Research and Review 4 (22): 1681-1687.
40. Tavakoli, A.R., Belson, V., Ferri. F. and Razavi, R. 2003. Response of rainfed wheat to supplemental irrigation and nitrogen rates. Final Research Report, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, 114pp. (in Persian with English abstract).
41. Tavakoli, A. R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H. and Liaghat, A. 2010. Improving rainwater

productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, 123pp.

42. Tousi-Mojarad, M. and Bihamta, M. R. 2007. Investigating grain yield and related quantitative characters of wheat using factor analysis. Journal of Agricultural Sciences 17: 97-107. (in Persian with English abstract).
43. Veici-Mal-Amiri, I., Haghparast, R., Aghaei Sarbarzeh, M., Farshadfar, E., and Rajaba, R. 2010. Evaluation of drought tolerante of barley (*Hordeum vulgare L.,*) genotypes using physiological charateristics and drought tolerante indices. Seed and Plant Production Journal 26-1: 43-60. (in Persian with English abstract).
44. Yousefi-Azar M., and Rezai A. 2007. Evaluation of drought tolerance in wheat lines. Journal of Soil and Water Sciences 11 (42-A): 113-121. (in Persian with English abstract).
45. Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. R., and Mohammadi, R. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 29 (1):1-12. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 46-60

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۶۰-۴۶

Correlation Coefficient, Path Analysis and Drought Tolerance Indices for Different Wheat Cultivars under Deficit Irrigation Conditions of Isfahan Region

H. R. Salemi[1]- A. R. Tavakoli[2*]- D. Afiuni[3]

Received: 03-03-2013
Accepted: 21-04-2016

Introduction

Water crisis as a main factor of agronomy limitation exists in all over the arid and semiarid regions such as Isfahan province which is located in the central part of the Zayandehrud River Basin. This study aimed to use path analysis and indices of drought to evaluate the correlation coefficients between main physiological parameter (grain yield) with yield components and water use efficiency of winter wheat under three water conditions.

Materials and Methods

The experiment was carried out in Kaboutar Abad Agricultural Research Station, Isfahan in the central region of Iran (32º 31'N, 51º 51'E is located at the altitude of 1545 m above the sea level) with a split plot in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in three cropping seasons on irrigated wheat cultivars. The treatments were included three levels of irrigation (60%FI, 80%FI and full irrigation) as main plots and six wheat cultivars (Pishtaz, Shiraz, Sepahan, Marvdasht, Mahdavi and BC-Roshan) as sub plots. Grain yield, straw and stubble, biological yield, harvest index (H.I.), productivity degree (P.D.), water use efficiency (WUE), plant height, grain number per spike, spike number per m^2 and TGW were determined. Winter wheat cultivars were sown at the beginning of November and harvested in mid-June of the following year. The seed rate was 400 seed m^{-2}, with a row spacing of 0.75 m. The first irrigation was by furrow method, implemented one day after seeding. Seeds emergence was observed about 5 days later. The N application was 250, 200 and 300 $kgha^{-1}$ of N (urea at 46% N) for each year divided into installments (10 days before planting, 30 days after planting, and every 30 days until the last irrigation). The P_2O_5 (phosphate ammonium and super-phosphate triple) application to soil was 200, 100 and 50 kg ha^{-1} during the 3 years, respectively. At this stage, cultivation was done to mix the fertilizers with top soil manually. Pests and weeds were controlled, following the recommendations given by Isfahan Pest Management Department. At harvest, the final total grain yield per plot was determined. The amount of evapotranspiration for irrigation scheduling was determined by using a crop coefficient (KC), ETpan from measured daily open Class A pan evaporation data, and pan coefficient values from FAO 24 (Doorenbos & Pruitt, 1977). Irrigation water requirement was calculated as the difference between ETc (=KC times ET0) and the effective rainfall amount. In this study, pan evaporation and rainfall amount data collected from the Kabutar Abad meteorological station located at the agricultural research center were used for calculating irrigation water application quantities. The irrigation schedule was timed to meet the crop water requirement. The depth of irrigation water and consequently the volume of water were applied weekly and irrigation amounts equaled the previous week's evapotranspiration (ETc) from the crop. Then, taking into consideration the discharge of the irrigation siphons, the relevant irrigation duration for each treatment was also determined. For path analysis and determining direct and indirect effects of yield components on grain yield, three years data were used (3 Irr * 6 cultivars * 3 years).

Results and Discussion

1- Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
2- Associate Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: art.tavakoli@gmail.com)

Results showed significant correlations of grain yield with: productivity degree (r=0.798**), spike number per m^2 (r=0.71**), biological yield (r=0.629**), harvest index (r=0.538**), and plant height (r=0.284*), respectively, and there was not significant correlation between grain yield with water use efficiency, straw yield, TGW and grain number per spike. On based of indices of drought tolerance (Tolerance Index=TOL, Mean Productivity=MP, Geometric Mean Productivity=GMP, Stress Susceptibility Index=STI and Harmonic Mean=HM), %60 of full irrigation for Pishtaz wheat cultivar was substantially increased water productivity (WP). Amounts of TOL, MP, GMP, STI, HM and WP for Pishtaz cultivar were -0.71, 1.94, 1.92, 1.82, 1.06 and 2.26 kg mm^{-1} and for Sepahan cultivar were -0.63, 1.83, 1.79, 1.59, 0.92 and 2.17 kg mm^{-1}, respectively. Path analysis results showed that increase in grain yield was resulted from increase of spike number per square meter.

Conclusions

The results showed that there is positive and significant correlation between grain yield and productivity degree, the number of spikes per square meter, biomass, harvest index and plant height. The most direct effect is related to the grain number per spike per square meter.

The 60% of full irrigation treatment for Pishtaz and Sepahan cultivars in terms of indices of drought tolerance (Tolerance Index, Mean Productivity, Geometric Mean Productivity, Stress Susceptibility Index, and Harmonic Mean) was preferred. These results can be considered in future breeding studies.

Keywords: Full irrigation, Stress, Tolerance index, Water productivity, Yield components

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 61-73

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۶، ص. ۷۳-۶۱

اثر مدیریت کودسرک نیتروژن توسط کلروفیل‌متر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط کم‌آبیاری

سیدعبداله محمدی[۱]- حمیدرضا خزاعی[۲*]- احمد نظامی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۷

چکیده

مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن اصلی‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد ذرت محسوب می‌شوند. به‌منظور مدیریت مصرف کود نیتروژن توسط کلروفیل‌متر در ذرت رقم SC604، آزمایشی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. عامل اصلی در دو سطح تأمین ۱۰۰ درصد و ۷۰ درصد آبیاری، عامل فرعی در دو شاخص نیتروژن ۹۰ و ۹۵ درصد، و عامل فرعی فرعی کود نیتروژنه (با منبع اوره ۴۶ درصد) در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد (۱۵۰) مقایسه شدند. نتایج نشان داد، بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۶)، تعداد دانه در بلال (۴۳۵)، زیست توده (۸۱۴ گرم در متر مربع) و عملکرد اقتصادی (۳۹۷ گرم در متر مربع) در شرایط آبیاری کامل و شاخص نیتروژن ۹۵ درصد مشاهده شد. برهمکنش آبیاری و کود نیتروژن بر شاخص سطح برگ، وزن دانه در بلال، زیست توده و شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشت. شاخص نیتروژن ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاخص نیتروژن ۹۰ درصد و سطح کود نیتروژن ۵۰ کیلوگرم در هکتار ۱۱٪ شاخص سطح برگ، ۴۱٪ تعداد دانه در بلال و ۱۸٪ زیست توده را افزایش داد، اما با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. هر چند بالاترین شاخص سطح برگ، وزن دانه در بلال، زیست توده و عملکرد اقتصادی در شرایط ۱۰۰ درصد آبیاری با شاخص نیتروژن ۹۵ درصد و کود نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد اما نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. به‌نظر می‌رسد در شرایط آبیاری و کم‌آبیاری، شاخص نیتروژن ۹۵ درصد با کود نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از کارآیی بالاتری در افزایش عملکرد اقتصادی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، شاخص نیتروژن، عملکرد اقتصادی

مقدمه

در بین تمامی منابع لازم برای رشد و فعالیت گیاه، آب به‌عنوان فراوان‌ترین و در عین حال محدودترین منبع برای کشاورزی محسوب می‌شود. ایران به‌عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه، با متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر معادل یک‌سوم میانگین نزولات سالیانه جهانی، برخوردار می‌باشد لذا کشورمان جزء مناطق خشک و نیمه خشک بشمار می‌رود (Kafi *et al.*, 2009). با وجود اینکه ۹۴ درصد از آب‌های استحصال شده و ۶۴ درصد از کل آب‌های قابل استحصال کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، فقط ۲۱ درصد از اراضی زراعی کشور آبیاری می‌شود. در چنین شرایطی کم آبیاری با هدف افزایش تولید به ازاء هر واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از منابع محدود آب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Kafi *et al.*, 2009).

نیتروژن به‌عنوان دومین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی بعد از آب، در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Ichie *et al.*, 2002). این عنصر به مقدار زیاد، مورد نیاز گیاه است و باید از خاک و منابع کودی برای گیاه تأمین شود (Khoshgoftarmanesh, 2006). در یک مطالعه مشاهده شده است که کمبود نیتروژن عملکرد دانه ذرت را از طریق کاهش تعداد دانه و وزن دانه کم کرده است (Patel *et al.*, 2006). برخی از محققان (Mjdam and Madhaj, 2012; Markwell *et al.*, 1995) در مطالعات خود نشان دادند که در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی همبستگی عملکرد دانه با کود نیتروژن دارای شیب کمتری نسبت به آبیاری کامل است. هون و همکاران (Huan *et al.*,2010) طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تقسیط کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه و کاهش میزان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: khazaei41@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.39437

مصرف نیتروژن می‌گردد.

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد جهت مدیریت نیتروژن در طول فصل رشد ارزیابی وضعیت نیتروژن محصول ضروری است. بدین منظور یکی از ابزارهایی که کار با آن آسان و برای تحقیقات به کار می‌رود کلروفیل‌متر دستی[1](SPAD) است (Arunyanark *et al.*, 2009). از آنجا که رابطه معنی‌داری بین غلظت نیتروژن برگ و قرائت‌های کلروفیل‌متر وجود دارد، داده‌های کلروفیل‌متر از برگ‌های گیاه می‌تواند بعنوان شاخصی از وضعیت نیتروژن در گیاه باشد و به کمک آن می‌توان نیتروژن مورد نیاز محصول جهت دستیابی به عملکرد مطلوب را برآورد کرد (Schlemmer *et al.*, 2005). ارشدی و همکاران (Arshadi and Khazaei, 2008) بیان نمودند که شاخص نیتروژن ۹۵ درصد (نسبت قرائت کرت تیمار به قرائت کرت شاهد) نسبت به ۹۰ درصد در محصول سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) از کارآیی بالاتری در عملکرد غده برخوردار است و در شاخص ۹۵ درصد بین سطوح کود سرک ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نکردند. هون و همکاران (Huan *et al.*, 2010)، نسبت قرائت در تیمارهای مختلف به تیمار حداکثر کود سرک نیتروژن (۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) در ذرت را شاخص اشباع نیتروژن[2] (NSI) نامیدند و دریافتند که زمانی که این نسبت به کمتر از ۰/۹۶ برسد باید اقدام به کوددهی گردد، همچنین زمانی که طی هر مرتبه ۳۴ یا ۶۸ کیلوگرم در هکتار کود سرک در هر نوبت پس از تاسل‌دهی داده شود این نسبت به بالاتر از ۰/۹۶ نمی‌رسد بنابراین نیاز است که مقدار ۱۰۱ کیلوگرم در هر نوبت یا مقادیر بالاتر از آن مصرف شود. آن‌ها همچنین ذکر کرده‌اند که استفاده از تکنیک کلروفیل متر می‌تواند ما را در پیش‌بینی زمان واقعی نیاز به نیتروژن کمک کند.

گزارش‌ها در مورد اثر تنش خشکی بر غلظت کلروفیل‌متر و اعداد کلروفیل‌متر متفاوت است. مفاخری و همکاران (Mafakheri *et al.*, 2010) گزارش کردند که تنش خشکی سبب کاهش کلروفیل a، کلروفیل b، و کل کلروفیل در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) می‌شود در نتیجه قرائت‌های کلروفیل‌متر را کاهش می‌دهد. در حالی که برخی دیگر از محققان (Arunyanark *et al.*, 2009 ; Dana *et al.*, 2004) طی تحقیقات خود در بادام‌زمینی دریافتند که با افزایش تنش خشکی قرائت‌های کلروفیل‌متر افزایش معنی‌داری یافت.

لزوم برقراری تناسب میان نیتروژن مصرفی و فراهمی رطوبت در خاک ضروری به‌نظر می‌رسد. در شرایطی که آب کافی در اختیار نباشد، مدیریت شرایط مطلوب کارساز نبوده و به هدر رفتن منابع تولید به ویژه آب و نیتروژن منجر می‌گردد و کارآیی مصرف آب و کارآیی مصرف نیتروژن را کاهش می‌دهد (Mjdam and Madhaj, 2012). لذا هدف از اجرای این تحقیق، کاربرد کلروفیل‌متر به‌منظور تعیین زمان و مقدار مصرف کود نیتروژن در جهت بهینه سازی مصرف کود نیتروژن تحت شرایط کم‌آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۲- ۱۳۹۱ به اجرا درآمد. مطالعه بصورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. عامل اصلی در دو سطح تأمین ۱۰۰ درصد و ۷۰ درصد آبیاری، عامل فرعی در دو شاخص نیتروژن ۹۰ و ۹۵ درصد، و عامل فرعی فرعی در دو سطح کود نیتروژن با منبع اوره ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. نیاز آبی گیاه بر اساس روش پنمن مانتیث، طی دوره‌های روزانه با راندمان مصرف آب ۹۲٪ و توسط نرم افزار Optiwat تعیین شد. بدین صورت که تبخیر و تعرق طی هفت روز را توسط نرم‌افزار بدست آورده و در ضریب Kc در مرحله مورد نظر ضرب کرده و حاصل آن مقدار آب مورد نیاز در دور اول آبیاری (هفت روز) است. جهت اندازه‌گیری آب ورودی به هر کرت از یک کنتور حجمی استفاده شد. زمان اعمال تنش رطوبتی بعد از کامل شدن برگ اول صورت گرفت. نیاز آبی گیاه را نیاز آبی در طی دوره رشدی ۸۳۳۰ متر مکعب در هکتار بود و تیمار ۷۰ درصد بر اساس آن محاسبه شد.

فواصل روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر با تراکم ۶۶۶۰۰ بوته در هکتار در نظر گرفته شده بود. تعداد ۱۴ ردیف در هر کرت با طول ردیف‌ها شش متر وجود داشت و دو ردیف کناری به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شدند. در هر بلوک یک کرت شاهد در نظر گرفته شد که مقدار نیتروژن آن همیشه در حد مطلوب بود، بدین ترتیب که مقدار کل نیتروژن آن ۲۵ درصد بیشتر از مقدار توصیه شده توسط آزمایش خاک (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) بود. مقدار کود مصرفی در تیمار شاهد در سه مرحله‌ی هم‌زمان با کاشت، سه-چهار برگی و هشت-نه برگی هر یک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اعمال گردید. از کرت شاهد جهت مقایسه قرائت‌های دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta-502) با سایر تیمارها استفاده می‌شد. بر اساس آن از شاخص نیتروژن (معادله۱) استفاده شد (Arshadi and Khazaei, 2008).

$$\text{شاخص نیتروژن} = \frac{\text{قرائت کرت مورد نظر}}{\text{قرائت کرت شاهد}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

کرت‌های شاهد بعنوان مقدار مصرف سایر کرتها بر اساس

1- Specially Products Agricultural Derision
2- SPAD-N Saturation Indices

کلروفیل‌متر مدل (Minolta-502) و شاخص نیتروژن ۹۰ یا ۹۵درصد اقدام به کوددهی شده است، به‌گونه‌ای که از مرحله دو برگی تا ۱۳ برگی هر زمانی که شاخص نیتروژن به کمتر از ۹۰ یا ۹۵درصد شد اقدام به کوددهی سرک اوره با خلوص ۴۶٪ به میزان ۵۰ یا ۱۰۰کیلوگرم در هکتار شد. سپس مقادیر مصرفی کود نیتروژن در پایان فصل رشد با هم جمع گردید (جدول ۲). مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسه (K_2O) و۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره (P_2O_5) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اورهٔ ۴۶٪ به‌عنوان کود پایه بطور یکسان برای تمام کرت‌ها به خاک اضافه شد. همچنین مقدار۲۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (H_2SO_4) به‌منظور تنظیم اسیدیته به خاک اضافه گردید.

قرائت توسط کلروفیل‌متر از هر کرت و در هر مرحله از ۱۵ گیاه و هر گیاه دو قرائت صورت گرفت. قرائت‌ها از وسط برگ کاملی که یقه در آن تکامل یافته بود و بین یقه و نوک برگ و نزدیک به رگبرگ اصلی و بین ساعت هشت تا ۱۰ صبح انجام شد. جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter) مدل LI-3100-C استفاده شد. به‌منظور ارزیابی اجزای عملکرد دانه، تعداد سه گیاه به‌صورت دستی همزمان با تشکیل لایه سیاه در قاعدهٔ دانه‌ها در ۲۵ شهریور ماه برداشت شده و پس از حذف برگ‌ها ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد و تعداد دانه در بلال از طریق حاصل ضرب تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف و پس از خشک شدن، اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS-9.1 و Sigmaplot-11 انجام و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

جدول۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک

Table 1- Soil test characteristics.

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (ds m^{-1})	اسیدیته خاک PH	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن (٪) N	ماده آلی خاک (٪) Organic C
لومی شنی Sandy loamy	1.23	8.65	230	9	0.075	0.196

جدول ۲- مقادیر کل کود سرک اوره (٤٦ درصد) در شاخص‌های ۹۰ و ۹۵ درصد در شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل. اعداد داخل پرانتز زمان مصرف کود سرک بر اساس روز پس از کاشت را نشان می‌دهد.

Table 2- Total rate of Nitrogen (urea 46%) in the N indexes 90 and 95 percent on full irrigation and deficit irrigation

آب مصرفی consuming water(m^3ha^{-1})	کود نیتروژنه سرک Nitrogen top dresing (kg ha^{-1})	شاخص نیتروژن ۹۰٪ Nitrogen index 90%	شاخص نیتروژن ۹۵٪ Nitrogen index 95%
	شاهد Control	**450 (77, 69, 41)**	**450 (77, 69, 41)**
۱۰۰ درصد نیاز آبی Water requirements 100% (m^3 ha^{-1}) 8330	50	200 (77, 69, 26, 41)	**250 (86, 91, 69, 41)**
	100	300 (86, 69, 41)	**400 (77, 91, 69, 41)**
۷۰ درصد نیاز آبی Water requirements 70% (m^3ha^{-1}) 5831	شاهد Control	**450 (77, 69, 41)**	**450 (77, 69, 41)**
	50	150 (77, 69, 41)	**200 (77, 69, 41, 26)**
	100	200 (69, 41)	**300 (77, 69, 41)**

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری، شاخص نیتروژن، کود نیتروژنه سرک و برهمکنش آبیاری و شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر شاخص سطح برگ معنی‌دار ($P\leq0/05$) بود (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری با شاخص نیتروژن ۹۵٪ و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد، که نسبت به شاخص ۹۰ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار

(در مجموع ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۱۷ درصد و نسبت به شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، ۱۰ درصد افزایش داشت. در شرایط ۷۰٪ آبیاری نیز بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم بدست آمد که با وجود اینکه نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت اما ۱۴ درصد نسبت به شاخص ۹۰ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار و سه درصد نسبت به شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم افزایش داشت (شکل ۱). علت این افزایش احتمالاً ناشی از مقادیر کود مصرفی است. این نتایج با نتایج پندی و همکاران (Pandey *et al.*, 2000) که گزارش نمودند افزایش کود مصرفی در گیاه ذرت تا ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و افزایش آب آبیاری منجر به افزایش شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی می‌شود، مطابقت دارد. به نظر می‌رسد در شرایطی که آب کافی در اختیار گیاه قرار گیرد کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد (شکل‌های ۱ و ۲). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با افزایش نیتروژن خاک، گسترش سطح برگ افزایش یافته و در نتیجه نفوذ نور به درون سایه‌انداز و کارآیی مصرف نور زیاد می‌گردد که این عوامل باعث افزایش آهنگ رشد گیاهی (CGR) و شاخص سطح برگ (LAI) می‌گردد (Nissanka et al., 1997).

تعداد دانه در بلال

برهمکنش آبیاری و کود نیتروژنه سرک بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار ($P\leq0/05$) نبود برهمکنش شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار ($P\leq0/05$) بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در بلال در تیمار شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد، که نسبت به شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم، ۳۱ درصد و نسبت به شاخص ۹۰ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم، ۴۱ درصد افزایش داشت اما با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۲).

جدول۳- میانگین مربعات اثرآبیاری، کود، شاخص نیتروژن و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سطح برگ، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت

Table 3- Analysis of variance Water, Fertilize, nitrogen index and them interaction on leaf area index (LAI), Number of grain per ear, Grian Thousand Weigh, Biomass, grain yield and harvest index

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص سطح برگ LAI	تعداد دانه در بلال Number of seed per ear	وزن هزار دانه grain ۱۰۰۰ weight	زیست توده biomass	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار (Replication)	2	0.02 ns	2165.0 ns	72.5 ns	1257.1 ns	219.6 ns	0.00002 ns
رژیم آبیاری (A) Irrigation	1	3.39**	737452.05**	25874.6**	1183843.9**	234263.1**	0.0008 ns
خطای a Error a	2	0.01	477.04	70.3	417.5	309.7	0.0001
شاخص نیتروژن (B) Nitrogen index (B)	1	0.37*	83898.4**	2661.3**	9056.0*	6806.5**	0.0013*
A×B	1	0.46 **	14065.4**	10.9 ns	1011.1 ns	3.3 ns	0.0004 ns
خطای اصلی Error	4	0.03	2576.04	82.5	1340.4	108.6	0.00007
کود نیتروژن سرک (C) Nitrogen topdressing (C)	1	0.37*	198926.1**	6734.5**	192217.1**	74049.7**	0.0067**
C×A	1	0.43**	2672.68 ns	1683.5*	78964.0**	2950.1*	0.0042**
B×C	1	0.45**	9165.4 *	552.5 ns	10509.9*	130.4 ns	0.00014 ns
A×B×C	1	0.36*	330.04 ns	724.2 ns	15934.8**	6524.9*	0.0006 ns
خطای فرعیb Error b	8	0.06	504.7	101.6	119.6	419.6	0.0002 ns
ضریب تغییرات % CV (%)	–	6.3	9.35	9.83	9.3	10.11	3.8

شکل۱- برهمکنش آبیاری، شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه (اوره ٤٦٪) سرک بر شاخص سطح برگ. حروف متفاوت در بالای ستونها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 1- Interaction of water, nitrogen index and nitrogen application on leaf area index. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P ≤ 0.05 level.

در این تحقیق، مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن موجب افزایش شاخص سطح برگ و افزایش فراهمی مواد پرورده برای بلال از طریق دوام فتوسنتز گردید و به دلیل کاهش رقابت دانه‌ها برای عناصر غذایی، تعداد دانه در بلال افزایش یافت (شکل ۲). از طرفی فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در دورهٔ بحرانی تشکیل دانه یعنی یک تا دو هفته قبل تا سه هفته پس از ابریشم‌دهی از طریق افزایش سرعت رشد گیاه و شاخص سطح برگ بر تعداد دانه در بلال مؤثر است (Khoshgoftarmanesh, 2006). نعمتی و همکاران (Nemati and Sharifi, 2012) ذکر کردند که تقسیط کود نیتروژن بصورت یک‌سوم هنگام کاشت، یک‌سوم در مرحلهٔ شش تا هشت برگی و یک‌سوم هنگام گلدهی جهت رسیدن به حداکثر تعداد دانه در بلال مفید است، چرا که در مراحل ابتدایی صرف رشد رویشی شده و درافزایش سطح برگ مؤثر بوده و در مرحله گلدهی تعداد دانه در بلال تعیین می‌شود.

شکل۲- برهمکنش شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر تعداد دانه در بلال. حروف متفاوت در بالای ستونها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 2- Interaction of nitrogen index and nitrogen application on number of grain per ear. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P ≤ 0.05 level.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش آبیاری و شاخص نیتروژن و برهمکنش کود نیتروژنه سرک و شاخص نیتروژن بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود اما اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژنه سرک بر وزن هزار دانه معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود (جدول ۳). درشرایط ۱۰۰٪ نیاز آبی بیشترین وزن هزار دانه در تیمار سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم بدست آمد که نسبت به سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم، ۲۵ درصد افزایش داشت اما با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) نداشت. در شرایط ۷۰ درصد نیاز آبی هر چند بین سطوح مختلف کود نیتروژنه سرک تفاوت معنی‌دار نبود اما سطح کود

نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داده بود (شکل ۳). برهمکنش آبیاری و شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر وزن هزار دانه معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود (جدول ۳). حداکثر وزن هزار دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (جمعاً ۴۰۰) مشاهده گردید که نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار نبود (P≤۰/۰۵) اما نسبت به شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار (جمعاً ۲۵۰)، ۳۳ درصد و نسبت به شاخص ۹۰ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (جمعاً ۳۰۰)، ۲۰ درصد افزایش داشت. در شرایط ۷۰ درصد نیاز آبی نیز بیشترین وزن هزار دانه در تیمار شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۳۰۰) بدست آمد اما نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار (P≤۰/۰۵) نبود (شکل ۴). نتایج این بررسی با یافته‌های هون و همکاران (۱۰) مطابقت دارد آنها گزارش کرده‌اند زمانی که شاخص نیتروژن از ۷۰٪ تا ۹۶٪ برسد وزن هزار دانه در گیاه ذرت افزایش معنی‌دار می‌یابد و زمانی که این شاخص از ۹۶٪ بالاتر برسد گرچه وزن دانه در گیاه افزایش می‌یابد اما این افزایش معنی‌دار نیست.

شکل۳- برهمکنش آبیاری و کود نیتروژنه سرک بر وزن هزار دانه .حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 3- Interaction of water and nitrogen application on grian thousand weigh. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P < 0.05 level.

شکل٤- برهمکنش آبیاری، شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر وزن هزار دانه. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 4- Interaction of water, nitrogen index and nitrogen application on grian thousand weig. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P < 0.05 level.

در شرایط آبیاری کامل نسبت به کم‌آبیاری شاخص ۹۵ درصد با کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از تغییرات کمتری برخوردار است. با توجه به اینکه در شرایط آبیاری کامل گیاه ذرت علاوه بر مراحل ابتدایی و گلدهی در مرحلهٔ پس از گلدهی نیز کود

مصرف گردید (جدول۲)، از طرفی مصرف کود نیتروژن پس از گلدهی بدلیل اینکه مخازن از قبل تعیین شده بود منجر به افزایش وزن هزار دانه گردید (Nissanka *et al.*, 1997). بنابراین با توجه به شرایط این آزمایش در صورت وجود آبیاری کامل گیاه ترجیح می‌دهد هم تعداد دانه در بلال و هم وزن هزار دانه را افزایش دهد اما در شرایط کم‌آبیاری وزن هزار دانه چندان افزایش نمی‌یابد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرآبیاری، شاخص نیتروژن، کود نیتروژنه سرک (P≤۰/۰۱)، برهمکنش بین آبیاری و کود نیتروژنه سرک (P≤۰/۰۵) و برهمکنش آبیاری و شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر عملکرد دانه معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۳). در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین عملکرد اقتصادی در شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۴۰۰) بدست آمد که نسبت به شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هر نوبت (در مجموع ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار)، ۲۵ درصد، نسبت به شاهد (در مجموع ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) هفت درصد و نسبت به شاخص ۹۰ درصد و کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (جمعاً ۳۰۰)، ۱۱ درصد افزایش داشت. در شرایط ۷۰ درصد نیاز آبی هر چند عملکرد دانه در شاخص ۹۵ درصد و کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۳۰۰ کیلوگرم) نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار نبود اما نسبت به تیمار شاخص ۹۵ درصد و کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار ، ۱۵ درصد افزایش داشت (شکل ۵). این نتایج با یافته های هون و همکاران، (Huan *et al.*, 2010) مطابقت دارد. آنها گزارش کرده‌اند زمانی که شاخص نیتروژن از ۷۰٪ تا ۹۶٪ برسد عملکرد دانه افزایش معنی دار می‌یابد و زمانی که این شاخص از ۹۶٪ بالاتر برسد، عملکرد دانه افزایش می‌یابد اما این افزایش معنی‌دار نیست. عملکرد نهایی ذرت بستگی به نمو موفقیت‌آمیز گل‌ها، باروری کامل آن‌ها، تکوین رویان و تجمع نشاسته و پروتئین دارد هرگونه تنش بخصوص آب و نیتروژن این مراحل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tollenaar and Daynard, 1978). تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ‌ها، و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد را کاهش داده و منجر به کاهش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه می‌شود(Nissanka *et al.*, 1997).

کافی و همکاران (Kafi *et al.*, 2009) بیان نمودند که بیشترین تقاضای گیاه ذرت به نیتروژن در فاصله‌ی ۲۰ تا ۹۰ روز پس از کاشت است. از آنجا که در مراحل شش تا هفت برگی پتانسیل تعداد دانه گرده در آینده مشخص می‌شود و از مرحله هشت تا ۱۰ برگی جذب مواد غذایی و ماده خشک گیاه بطور مستمر افزایش می‌یابد و در مرحله پس از گلدهی وزن هزار دانه افزایش می‌یابد. بنابراین علت اصلی افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل ممکن است ناشی از افزایش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه و در شرایط کم‌آبیاری ناشی از افزایش تعداد دانه در بلال است (شکل‌های ۷ و ۸). مصرف مقادیر بیشتر کود نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب، بصورت قابل ملاحظه‌ای موجب افزایش عملکرد دانه شد در حالی که در شرایط کم آبیاری، مصرف مقادیر بیشتر کود منجر به افزایش چشمگیر عملکرد دانه نگردید (شکل‌های ۵ و ۶). به‌نظر می‌رسد این وضعیت ناشی از کاهش جذب و افزایش هدر روی نیتروژن در شرایط کمبود آب در خاک بوده است (Nissanka *et al.*, 1997).

شکل ۵- برهمکنش آبیاری، شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر عملکرد دانه. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 5- Interaction of water and nitrogen application on grian yeild. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P < 0.05 level.

شکل٦- همبستگی بین عملکرد دانه با مقادیر کود مصرفی در شرایط ۱۰۰ ٪ آبیاری (o) و ۷۰٪ آبیاری (●)

Figure 6- Relationship between grain yield with use fertilize in 100% irrigation (up) and 70% irrigation (down)

شکل۷- همبستگی بین عملکرد دانه با قرائت کلروفیل متر در شرایط ۱۰۰ ٪ آبیاری (o) و ۷۰٪آبیاری (●)

Figure 7- Relationship between grain yield with SPAD reading in 100% irrigation (up) and 70% irrigation (down)

شکل۸- همبستگی خطی تعداد دانه در بلال (راست) و وزن یکصد دانه (چپ) با عملکرد دانه. Figure 8- Relationship between grain yield with number of grain per ear (right) and grain thousand weigh (left)

زیست توده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش آبیاری و شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر زیست توده ذرت معنی‌دار (P≤۰/۰۱) بود (جدول ۳). در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین زیست توده در تیمار شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۴۰۰)، به‌دست آمد که نسبت به شاخص ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم در هر نوبت (در مجموع ۲۵۰)، ۲۳ درصد، نسبت به شاهد (در مجموع ۴۵۰ کیلوگرم) سه درصد و نسبت به شاخص ۹۰ درصد و کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (جمعاً ۳۰۰)، ۱۱ درصد افزایش داشت. در شرایط ۷۰ درصد نیاز آبی هر چند زیست توده در شاخص ۹۵ درصد و کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (در مجموع ۳۰۰) نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت اما نسبت به شاخص ۹۰ درصد و کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم، ۱۳ درصد بیشتر بود (شکل ۹). هون و همکاران، (Huan *et al.*, 2010) نیز گزارش کرده‌اند که زمانی که شاخص نیتروژن از ۷۰٪ تا ۹۶٪ برسد زیست توده افزایش معنی دار می‌یابد و زمانی که این شاخص از ۹۶٪ بالاتر برسد گرچه زیست توده افزایش می‌یابد اما این افزایش معنی‌دار نیست. آنها همچنین بیان کردند که چنانچه مقادیر کمتر از ۱۰۱ کیلوگرم در هکتار نیتروژن داده شود این نسبت به ۹۶٪ نخواهد رسید. برخی از محققان (Tollenaar and Daynard, 1978) خاطر نشان کرده‌اند که تقسیط کود نیتروژن در هر یک از مراحل همزمان با کاشت، پنج برگی و تاسل‌دهی به میزان ۳۳٪ منجر به بالاترین زیست توده می‌شود و کمترین آن در تقسیط کود نیتروژن در هر یک از مراحل پنج برگی و تاسل‌دهی به میزان ۵۰٪ یافت می‌شود.

شکل۹- برهمکنش آبیاری، شاخص نیتروژن و کود نیتروژنه سرک بر عملکرد زیست توده. حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 9- Interaction of water, nitrogen index and nitrogen application on biomass. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P < 0.05 level

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). علت این مسئله این است که کاهش آبیاری منجر به کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به یک نسبت شد. اثرات شاخص نیتروژن (P≤۰/۰۵)، اثر کود نیتروژنه سرک و برهمکنش بین آبیاری و کود نیتروژنه سرک (P≤۰/۰۱) بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت به‌طور مشترک در ۱۰۰ درصد نیاز آبی با سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم و ۷۰ درصد نیاز آبی با سطح کود نیتروژنه سرک ۱۰۰ کیلوگرم و شاهد حاصل شد که نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی با سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم، سه درصد و نسبت به ۷۰ درصد نیاز آبی با سطح کود نیتروژنه سرک ۵۰ کیلوگرم، ۱۲ درصد افزایش داشت (شکل ۱۰). این نتایج با مطالعات برخی از محققان که اشاره نمودند اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن سبب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت می‌شود، مطابقت دارد (Al Kaisi and Xinhua, 2003 ; Farre and Faci, 2009).

شکل ۱۰- برهمکنش آب و کود نیتروژن سرک بر شاخص برداشت. حروف متفاوت در بالای ستونها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

Figure 10- Interaction of water and nitrogen application on harvest index. Different letters above columns indicate significant differences test duncan at the P < 0.05 level

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این مطالعه به‌نظر می‌رسد در شرایط ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی، شاخص نیتروژن ۹۵ درصد و سطح کود نیتروژن سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به شاخص ۹۰ درصد و سطح کود نیتروژن سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار در افزایش شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه، زیست توده و عملکرد دانه از کارآیی بالاتری برخوردار است. زمانی که شاخص نیتروژن کمتر از ۹۵٪ برسد، می‌تواند در جهت تشخیص کمبود نیتروژن در ذرت مورد استفاده قرار گیرد. به‌نظر می‌رسد که شاخص نیتروژن ۹۵ درصد و سطح کود سرک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار با وجود اینکه کود کمتری نسبت به شاهد داشت اما از نظر شاخص سطح برگ، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه تفاوت معنی‌دار نداشت. با توجه به شرایط این آزمایش در صورت وجود آبیاری کامل گیاه ترجیح می‌دهد هم تعداد دانه در بلال و هم وزن هزار دانه را افزایش دهد علت این مسئله بدلیل مصرف کود نیتروژن در مرحلهٔ پس از گلدهی است اما در شرایط کم‌آبیاری وزن هزار دانه چندان افزایش نمی‌یابد و گیاه بیشتر تعداد دانه در بلال را از طریق مصرف کود نیتروژن در مراحل رشد رویشی و گلدهی را افزایش می‌دهد.

References

1. Abedinpour, M., and Sarangi, A. 2013. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize growth in semi arid environment. World Applied Sciences Journal 21 (11): 1687-1692.
2. Alizadeh, A. 2002. Water soil and plant Relashenship.edition one. Publications astonqhods. (in Persian).
3. Al-Kaisi, M. M., and Xinhua, Y. 2003. Effects of Nitrogen Rate, Irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. Agronomy Journal 95: 1475-1482.
4. Arausa J., Gustavo, L., Slaferb, A., ConxitaRoyoc, M., and Dolores, S. 2008. Breeding for Yield Potential and StressAdaptation in Cereals, ISSN: 0735-2689, 380-390.
5. Argenta, G. P., Silva, R. F., and Sangoi, L. 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maiz. Giencia Rural. 34 (5).
6. Arshadi, M. J., and Khazaei, H. R. 2008. Effects of nitrogen top dress fertilizer application by using chlorophyll meter on yield and quality of potato (*Agria* cv.) in climate conditions of Mashhad. Journal of Water and Soil 22 (2): 49-63. (in Persian with English abstract).
7. Arunyanark, A., Jogloy, S., Vorasoot, N., Akassaeng, C., Kesmala, T., and Patanothi, A. 2009. Stability of Relationship between chlorophyll density and soil plant analysis development chlorophyll meter readings in peanut across different drought stress conditions. Assian Journal of Pant Sciences 8 (2): 102-110.
8. Dana, E., Martinez, J., and Guiamet, J. 2004. Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status Agronomie 24: 41-46.
9. Farre, I., and Faci, J. M. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 96: 383-389.
10. Huan, Y., Hua-Song, W., and Zhi-Jie, W. 2010. Evaluation of SPAD and dualex for In-Season corn nitrogen status estimation. Sciences Direct 36 (5): 840-847.
11. Ichie, T., Kitahashi, Y., Matsuki, S., Maruyama, Y., and Koike, T. 2002. The using of aportable non-destructive

type nitrogen meter for leaves of woody plants in Field studies. Photosynthetia 40 (2): 289-292.
12. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Ferdowsi University of Mashhad Publication. (in Persian).
13. Karancsi, L. G., and Marias, K. 2013. Effect of Nutrient Supply on Yield and Photosynthetic Parameters of Maize Hybrids. International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering 7 (11): 56-59.
14. Khayatnezhad, M., and Gholamin, R. 2011. The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and ssstress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). African Journal of Microbiology Research 6 (12): 2844-2848.
15. Khoshgoftarmanesh, A. H. 2006. Fertilizer Optimum Management. University of Esfahan Publication. (in Persian).
16. Mafakheri, A., Siosemardeh, A. B., Bahramnejad, P. C., Struik, Y., Sohrabi. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. AJCS 4 (8): 580-585.
17. Markwell, J. J. C., Osterman, J., and Mitchell, L. 1995. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photosynthesis Research 46: 467-472.
18. Mjdam, M., and Madhaj, A. 2012. Effects N levels on WUE, yield and yield components in grain maize under water stress. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (3): 546-554. (in Persian with English abstract).
19. Mohammadpour, M., Afrous, A., and Papizadeh Palangan, A. The Yield Functions of Maize toward the Deficit Irrigation in the Tropical Climate of Dezfoul. BEPLS 2 (2): 1-4.
20. Nemati, A. R., and Sharifi, R. S. 2012. Effects of rates and nitrogen application timing on yield, agronomic characterstics and nitrogen use efficiency in corn. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (9): 534-539.
21. Nissanka, S. P., Dixon, M. A., and Tollenaar, M. 1997. Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. Crop Sciences 37: 172-181.
22. Osborne, S. L., Schepers, J. S., Francis, D. D., and Schlemmer, M. R. 2002. Use of spectral radiance to inseason biomass and grain yield in nitrogen and water stressed corn. Crop Sciences 42: 165-171.
23. 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.
24. Patel, J. B., Patel, V. J., and Patel, J. R. 2006. Influence of different methods of irrigation and nitrogen levels on crop growth rate and yield of maize (*Zea mays* L.). Indian Journal of Crop Science 1 (1-2): 175-177.
25. Qi Wang Fengrui, Li, Enhe, Z., Guan, L., Maureen, V. 2012. The effects of irrigation and nitrogen application rates on yield of spring wheat (longfu-920), and water use efficiency and nitrate nitrogen accumulation in soil. Australian Journal of Crop Science 6 (4): 662-672.
26. Ronald, J., Gehl, John P., Schmidt, L., Maddux, D., and Barney Gordon, W. 2005. Corn Yield Response to Nitrogen Rate and Timing in Sandy Irrigated Soils. Published in Agronomie Journal 97: 1230-1238.
27. Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F., and Schepers, J. S. 2005. Remotely Measuring Chlorophyll Content in Corn Leaves with Differing Nitrogen Levels and Relative Water Content.
28. Shapiro, Ch. A., Francis, D. D., Ferguson, R. B., Hergert, G. W., Shaver, T. M., and Wortmann, Ch. S. 2013. Using a chlorophyll meter to improve N management institute of agricultrure and natural resources.
29. Siami R. 2009. Maize production technology. sepehr Publication. (in Persian).
30. Tadesse, T., Assefa, A., Liben, M., and Tadesse, Z. 2013. The effect of nitrogen fertilizer split application on the nitrogen use efficiency, grain yield and economic benefit of maize production. International Journal of Plant Agronomie Sciences 3 (5): 492-499.
31. Tollenaar, M., and Daynard, T. B. 1978. Effect of defoliation on kernel development in maize. Journal Plant Sciences 58: 207-212.
32. Uhart, S. A., and Andrade, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernelnumber and grain yield. Crop Science 35: 1384-1389.
33. Wang, D., Shannon, M. C. and Griere, C. M. 2001. Salinity reduces radiation absorption and Use Efficiency in Soybean field. Acarop Response 69: 267-277.
34. Wasaya, A., Tahir, M., Tanveer, A., and Yaseen, M. 2012. Response of maize to tillage and nitrogen management. The Journal of Animal & Plant Sciences 22 (2): 452-456.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 61-73

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۶، ص. ۷۳-۶۱

Effects N Management on Maize Grain Yield and its Component under Deficit Irrigation

S. A. Mohammadi[1]- H. R. Khazaei[2*]- A. Nezami[2]

Received: 15-09-2014
Accepted: 28-11-2015

Introduction

Poor management of irrigation and nitrogen are major factors in reducing yield. Although 94 percent of total water extractable and 64 percent of water used in agriculture, only 21 percent of the cultivated land is irrigated. In such circumstances irrigation to increase production per unit of water and efficient use of scarce water resources will be necessary and inevitable. Nitrogen is a limiting factor in crop production along with water in arid and semiarid regions. Many research have shown that the management of nitrogen during the growing season is essential. The need to establish the proportion of nitrogen and soil moisture availability is essential. In situations where sufficient water is not available, favorable conditions of work and not wasting resources, particularly water and nitrogen use efficiency leads and water and reduces the nitrogen use efficiency. The aim of this study, was to use chlorophyll meter for determination the timing and amount of nitrogen fertilizer plant in order to optimize the use of nitrogen under deficit irrigation.

Materials and Methods

An experiment was conducted as split split plot based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad during 2013 cropping season. Irrigation treatments were arranged in main plot with two levels including: 70 and 100 percent water supply, Nitrogen Index in sub plots by two levels including: 90 and 95 percent and sub-sub factor in both the 50 and 100 kg of nitrogen per hectare. Density of 66,600 plants per hectare was considered. In each block a control plot was considered that the amount of nitrogen that was always at an optimal level, so that the total amount of nitrogen, 25 percent more than the amount recommended by soil test (360 kg per hectare).The control plot was used for the comparison with other treatments SPAD device. According to the nitrogen index was determined with using of 1 equation (Arshadi and Khazaei, 2008):

$$NI = \frac{SPAD\ Reading\ in\ Treatment}{SPAD\ Reading\ in\ \mathrm{Control}} \times 100$$

Analysis of variance was performed using SAS computer software packages. The main effects and interactions were tested using the Duncan's multiple range test at 5% level.

Results and Discussion

The results showed that the highest leaf area index number of kernels per ear (435), biomass (814 $g.m^{-2}$) and economic yield (397 $g.m^{-2}$) obtained for full irrigation and nitrogen index of 95%. The interaction between irrigation and nitrogen fertilizer on leaf area index, grain weight per ear, biomass and harvest index was significant. Although 95% of nitrogen index and 100 kg of nitrogen per hectare compared to 90 percent of nitrogen index and 50 kg of nitrogen per hectare, 11% leaf area index, 41% number of grain per ear and 18% biomass increased but it was not significant. Although the highest leaf area index, grain weight per ear, biomass and economic yield has been in treatment of 100 percent irrigation, 95 percent nitrogen index and nitrogen fertilizer 100 $kg.ha^{-1}$ it was not significant. It seems that in full irrigation and defficit irrigation, 100 kg nitrogen per hectare and 95 percent nitrogen index has high effect on economic yield.

Conclusions

The results showed that the water requirement of 100 and 70%, 95% of nitrogen index and 100 kg of nitrogen per hectare compared to the, 90% nitrogen index and 50 kg of nitrogen per hectare increased leaf area index,

1- M.Sc. Student, Department of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Prof. Department of agronomy and Breeding Plant Scince, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Khazaei 41@yahoo.com)

grain weight, biomass. When the index is less than 95% nitrogen, it can be used to detect a lack of nitrogen in corn. In this experiment, rate of nitrogen and N timing showed significantly affect on qualitative and quantitative yield and some agronomic characteristics.

Keywords: Economic yield, Nitrogen index

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 74-86

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۸۶-۷۴

تأثیر همزیستی قارچ *Trichoderma atroviride* بر ویژگی‌های رشد و عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در خاک آلوده تیمار شده با نیترات مس

الهه تشکری فرد[۱]- فاطمه تقوی قاسمخیلی[۲]- همت‌اله پیردشتی[۳*]- محمد علی تاجیک قنبری[۴]- محمد علی بهمنیار[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی اثر قارچ *Trichoderma atroviride* بر ویژگی‌های رشدی دو رقم کلزا در سطوح مختلف نیترات مس، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سطح کاربرد و عدم کاربرد قارچ، چهار سطح نیترات مس (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و دو رقم کلزا (هایولا ۴۰۱ و ساری‌گل) در سه تکرار به‌صورت گلدانی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۸۹ اجرا شد. نتایج آزمایش نشان داد که تعداد غلاف در شاخه اصلی در رقم هایولا ۴۰۱ با افزایش آلاینده در خاک روند کاهشی داشت اما در رقم ساری‌گل، بالاترین میزان این صفت (حدود ۳۶ عدد) در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس مشاهده شد. حضور قارچ *تریکودرما*، تعداد غلاف شاخه فرعی را در رقم هایولا ۴۰۱ و ساری‌گل به‌ترتیب حدود ۶۴ درصد و ۲/۵ برابر افزایش داد. همچنین بیشترین تعداد غلاف در شاخه فرعی در تیمار کاربرد *تریکودرما* و سطح ۱۵۰ میلی-گرم بر لیتر نیترات مس حدود ۱/۳ برابر نسبت به عدم کاربرد *تریکودرما* مشاهده شد. بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب حدود ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر در ارقام هایولا ۴۰۱ و ساری‌گل با کاربرد قارچ در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس به‌دست آمد. حضور *تریکودرما* در خاک در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس توانست طول غلاف شاخه اصلی را در رقم هایولا ۴۰۱ (حدود ۱۶ سانتی‌متر) بیشتر از رقم ساری‌گل (حدود ۷ سانتی‌متر) افزایش دهد. در مجموع، به‌نظر می‌رسد که قارچ *تریکودرما* باعث بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه کلزا در سطوح بالای عنصر مس در خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، *تریکودرما*، عملکرد دانه، فلزات سنگین

مقدمه

امروزه روغن‌های گیاهی به‌عنوان یکی از اجزای اصلی تغذیه انسان از اهمیت خاصی در میان گیاهان زراعی مهم دنیا برخوردار می‌باشند (Parsadoost *et al*., 2007). در سال‌های اخیر، کشت کلزا در ایران به‌دلیل کیفیت‌های ویژه این گیاه شامل قابلیت رشد در مناطق مختلف، محتوا و کیفیت بالای روغن و تغذیه حیوانات مورد توجه قرار گرفته است (Heshmatpure and Yousefi Rad 2012; Aghel and Zoghi, 2009). از سوی دیگر، رشد روزافزون جمعیت و لزوم تولید مواد غذایی بیشتر، موجب توسعه فعالیت‌های صنعتی، شهری و کشاورزی شده و آلودگی زیست‌محیطی را به‌دنبال داشته است (Naeemi *et al*., 2008; Hegazi *et al*., 2010). در نتیجه رشد گیاهان زراعی در محیط آلوده و تجمع مواد سمی در قسمت‌های خوراکی گیاهان موجب تهدید سلامت مصرف‌کنندگان خواهد شد (Abouzina *et al*., 2013; Ahmad *et al*., 2011). در میان انواع آلاینده‌های زیست‌محیطی که خاک، آب و هوا را آلوده کرده‌اند فلزات سنگین از خطرناک‌ترین آلاینده‌ها می‌باشند چرا که این فلزات تمایل به تجمع در سیستم‌های زیستی و زنجیره غذایی دارند و حذف آن‌ها از محیط بسیار مشکل و پرهزینه است (Przedpelska and Wierzbica, 2007; Wang *et al*., 2009). بنابراین، به‌نظر می‌رسد یافتن یک روش سریع و ایمن برای حذف این آلاینده‌ها با حداقل هزینه و تأثیر بر محیط زیست ضروری است. در این میان، گیاه‌پالایی[۶] به‌عنوان یکی از بهترین روش‌ها معرفی شده است که در آن از سازگاری‌های مقاومتی برخی از گیاهان در مقابله با اثرات سمی فلزات و نیز حذف آن‌ها از محیط استفاده می‌شود (Hashim *et al*.,

۱- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشگاه گیلان
۲- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری
۳- دانشیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۵- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.39711

6- phytoremediation

2011; Khosravi *et al*., 2009). کاربرد گیاهان بیش‌اندوز برای جذب فلز در فرایند گیاه‌پالایی مدت زیادی است که به‌صورت یک فن‌آوری شناخته شده است. در میان بیش‌اندوزهای شناخته‌شده گیاهان خانواده شب‌بو بیشترین میزان جذب و بالاترین تعداد بیش‌اندوزهای فلزات سنگین را دارا می‌باشند. در این میان، گیاه کلزا (*Brassica napus*) یکی از مهم‌ترین گیاهان این خانواده به‌عنوان یک گیاه بیش‌اندوز فلزات سنگین شناخته شده است (Heshmatpure and Yousefi Rad 2012; Abouzina *et al*., 2013). اما با توجه به محدودیت‌های موجود در پاکسازی محیط‌های آلوده، پژوهشگران از تلفیق این فرایند با جوامع میکروبی مفید خاکزی تحت عنوان زیست‌پالایی[1] بهره برده‌اند که اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این فرآیند از یک سو، ریزجانداران قادر به حفظ فعالیت بیولوژیکی و ساختمان فیزیکوشیمیایی خاک بوده و از سوی دیگر، نسبت به روش‌های رایج فیزیکی، هزینه‌ی کمتری دارد (Kavamura and Esposito, 2010).

در این میان زیست‌توده قارچی به‌علت فراوانی و تولید اقتصادی مورد توجه خاصی قرار گرفته است (Anand *et al*., 2006). این ریزجانداران می‌توانند به‌عنوان جاذب‌های بالقوه فلزات به‌کار روند (Sadhasivam *et al*., 2007). در این میان، گونه‌های قارچ *تریکودرما*، رشته‌ای، مفید و غیربیماریزا بوده، تقریباً در همه خاک‌ها حضور دارند که به‌دلیل رشد سریع، قدرت تکثیر بالا، تحمل به شرایط نامطلوب، توانایی رشد و کلونیزاسیون در ارتباط با ریشه گیاه و القای رشد گیاه به‌طور گسترده می‌توانند به عنوان یکی از منابع میکروارگانیسمی جذب‌کننده زیستی فلزات سنگین استفاده شوند (Kaewchai *et al*., 2009; Mazhabi *et al*., 2011; Sun *et al*., 2010; Molla *et al*., 2012; Wang and Zhou, 2005; Vankar and Bajpai, 2008). بنابر گزارش موجود تلقیح گیاه با *تریکودرما* می‌تواند شرایط را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد فراهم آورد (Anand *et al*., 2006; Cao *et al*., 2008; Sun *et al*., 2010). همچنین در سال‌های اخیر مطالعه بیولوژی ریزوسفر از جمله ریزجانداران مفید خاکزی به‌منظور بهبود رشد گیاهان زراعی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Bennett and Whipps 2008; Avis *et al*., 2008). به‌طوری که امروزه *تریکودرما* به‌عنوان آفت‌کش زیستی به‌منظور کنترل زیستی در برابر عوامل بیماریزای خاک‌زی، کود زیستی یا حاصل‌خیزکننده خاک در تولید هورمون‌های رشد، افزایش جذب عناصر غذایی (Mazhabi *et al*., 2011; Molla *et al*., 2012; Cuevas, 2006)، دفع مسمومیت و افزایش انتقال قند و اسید آمینه در ریشه گیاهان، ایجاد مقاومت القایی[2] در برابر تنش‌های محیطی و القای رشد گیاه استفاده می‌شوند (Cuevas, 2006; Kaewchai *et al*., 2009; Mazhabi *et al*., 2011; Sun *et al*., 2010; Yazdani *et al*., 2008). مطالعات انجام شده در این زمینه نشان داد، تلقیح گیاه با گونه‌های *تریکودرما* ضمن پالایش خاک‌هایی با آلودگی‌های متعدد، می‌تواند منجر به بهبود رشد و نمو گیاه، افزایش عملکرد و دسترسی به مواد غذایی شود (Anand *et al*., 2006; Cao *et al*., 2008; Mazhabi *et al*., 2011; Molla *et al*., 2012; Wang and Zhou, 2005).

امروزه، افزایش روزافزون نیاز غذایی مردم در اثر رشد سریع جمعیت، ایجاب می‌کند که میزان تولید محصولات کشاورزی افزایش یابد (Sadat *et al*., 2010) و از آنجایی که وضعیت نگران‌کننده آلودگی‌های زیست‌محیطی مانعی در دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد لذا لزوم توجه به مسائل محیط زیست با استفاده از فن‌آوری‌های پاک بیش از پیش احساس می‌شود (Moosavi and Seghatoleslami, 2013). بر همین اساس، استفاده از ریزجانداران خاکزی به‌منظور افزایش محصول، بالا بردن کیفیت تولیدات کشاورزی در اوایل قرن بیستم مطرح گردید و روز به روز افق‌های جدید و نویدبخشی بر روی بشر گشوده شد (Etesami *et al*., 2007). لذا با توجه به ضرورت بررسی اثرات مضر مس در غلظت‌های بالا به‌عنوان فلز سنگین در کاهش عملکرد گیاهان زراعی (Vafadar and Zare Maivan, 2006; Khosravi *et al*., 2009) و اهمیت و توانایی ریزجانداران همچون قارچ *تریکودرما* به‌عنوان عوامل زیستی برای کاهش جذب عناصر سنگین از خاک و افزایش رشد و عملکرد گیاه، هدف از انجام پژوهش حاضر مطالعه کارایی این قارچ در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا در مقابل افزایش غلظت مس و همچنین تعیین برهم‌کنش مثبت یا منفی کاربرد قارچ و مس بر این صفات در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۸۹ انجام شد. فاکتورها شامل چهار سطح نیترات مس (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، قارچ *تریکودرما* با دو سطح (حضور یا عدم حضور قارچ) و دو رقم کلزا (هایولا ۴۰۱ و ساری‌گل) بود. هایولا ۴۰۱ یک رقم هیبرید و زودرس و رقم ساری‌گل یک رقم بومی، آزادگرده‌افشان و متوسط رس می‌باشد. این ارقام مناسب مناطق گرم و معتدل هستند (Fathi and Gholizade, 2010; Safahani Langerodi *et al*., 2008). قارچ *T. atroviride* نیز از مجموعه قارچ‌های زنده آزمایشگاه قارچ‌شناسی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه گردید.

1- Bioremediation
2- Induced Resistance

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک اولیه قبل از اجرای آزمایش

Table1– Results of soil analysis before beginning the experiment

بافت خاک Soil texture	CEC (Cmol kg^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})	پتاسیم K (mg kg^{-1})	pH	نیتروژن N (٪)	ماده آلی Organic matter (٪)	EC (dS m^{-1})
رسی‌سیلتی Clay loam	24.03	5.9	130	7.65	0.07	1.30	2.48

برای شروع آزمایش جهت تکثیر جدایه‌های مزبور ابتدا این جدایه‌ها در محیط کشت PDA [1](عصاره سیب‌زمینی، دکستروز و آگار) به مدت یک هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تکثیر و پس از پنج روز اسپورزایی در محیط کشت سبوس گندم تکثیر شدند. محیط کشت مورد استفاده قبلاً در اتوکلاو به مدت ۳۰ دقیقه استریل شد. ابتدا خاک مورد استفاده با فرمالین پنج درصد ضدعفونی و به مدت ده روز هوادهی شد (Harender and Sharma, 2009). سپس ۵۰ گرم از محیط کشت سبوس و اسپورهای *تریکودرما* (به تعداد 10^8 واحد کلون ساز در هر گرم) به خاک هرگلدان ده کیلوگرمی (به ارتفاع ۳۰ با قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) افزوده و کاملاً با آن مخلوط گردید (Yazdani *et al*., 2008). قبل از انجام آزمایش، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم نمونه خاک مورد استفاده تعیین شد (جدول ۱). در هر گلدان بذرهای ارقام هایولا ۴۰۱ و ساری‌گل به‌صورت جداگانه به تعداد ۲۰ عدد کشت و در مرحله جوانه‌زنی به تعداد سه گیاهچه تقلیل یافت. محلول نیترات مس در اوایل دوره رشد به‌صورت تدریجی به خاک اضافه گردید. در طول دوره رشد، رطوبت در حد ظرفیت مزرعه (۳۱/۶ درصد) به روش توزین حفظ شد. بوته‌های کلزا پس از رسیدگی فیزیولوژیکی برداشت و به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های رشدی به آزمایشگاه منتقل و صفات: ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در شاخه اصلی، تعداد غلاف در شاخه فرعی، طول غلاف در شاخه اصلی و طول غلاف در شاخه فرعی اندازه‌گیری شدند.

آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگروف– اسمیرنوف با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) صورت گرفت. تجزیه واریانس استاندارد داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) جهت ارزیابی تأثیر مس و قارچ *تریکودرما* بر صفات مورد بررسی و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. منحنی‌ها نیز با نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) از لحاظ آماری بین دو رقم کلزا تنها در طول غلاف در شاخه اصلی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. همچنین، کاربرد قارچ *تریکودرما* جز بر ارتفاع بوته و تعداد غلاف در شاخه اصلی، بر سایر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. بین سطوح مختلف نیترات مس از نظر صفاتی همچون تعداد غلاف در شاخه فرعی و طول غلاف در شاخه اصلی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. بین رقم و *تریکودرما* نیز از نظر تعداد غلاف در شاخه فرعی و طول غلاف در شاخه اصلی، بین رقم و نیترات مس از نظر تعداد غلاف در شاخه اصلی و طول غلاف در شاخه اصلی و بین تلقیح *تریکودرما* و سطوح مختلف نیترات مس از نظر طول غلاف در شاخه فرعی و اصلی برهم‌کنش کاملاً معنی‌داری مشاهده شد. برهم‌کنش سه عامل مورد بررسی در این آزمایش نیز بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و طول غلاف در شاخه اصلی معنی‌دار گردید.

برهم‌کنش رقم، *تریکودرما* و نیترات مس بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، طول غلاف در شاخه اصلی، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه

با توجه به شکل ۱– الف، پاسخ دو رقم مورد بررسی در سطح بدون آلودگی به نیترات مس تحت تیمار قارچ *تریکودرما* به‌گونه‌ای متفاوت بوده است. به‌طوری‌که در رقم هایولا ۴۰۱ در تیمار کاربرد *تریکودرما* کاهش ارتفاع مشاهده شد اما در رقم ساری‌گل این صفت افزایش یافت. در این پژوهش با افزایش غلظت نیترات مس، ارتفاع بوته در هر دو رقم تحت تیمار عدم کاربرد *T. atroviride* از روند کاهشی برخوردار بود. در حالی‌که روند تغییرات ارتفاع بوته در تیمار کاربرد*T. atroviride* نسبت به تیمار عدم کاربرد قارچ *تریکودرما* در سطوح پایین آلودگی به نیترات مس (صفر و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در رقم هایولا به‌صورت کاهشی و در غلظت بالای آلودگی به نیترات مس (۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) افزایشی بود اما از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نشد. همچنین، روند این تغییرات در

1- Potato Dextrose Agar

رقم ساری‌گل در تمامی سطوح نیترات مس به‌صورت افزایشی مشاهده شد (شکل ۱، الف). پژوهشی در این زمینه نشان داد آلودگی به کادمیم منجر به کاهش ارتفاع کلزا گردید که این کاهش با افزایش غلظت کادمیم در خاک افزایش یافت (Molla *et al*., 2012).

همچنین، در مطالعه‌ای دیگر در گیاه کلزا کاربرد لجن فاضلاب به‌دلیل تجمع فلزات سنگین باعث کاهش ارتفاع گیاه شد (Ahmad *et al*., 2011).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد قارچ *تریکودرما* و سطوح مختلف نیترات مس بر ویژگی‌های رشدی دو رقم کلزا

Table 2- ANOVA (mean squares) for the effect of *Trichoderma* and different levels of copper nitrate on the growth characteristics of two cultivars of rapeseed

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در غلاف Grain numbers in pod	طول غلاف در شاخه اصلی Length of pod in the main branches	تعداد شاخه فرعی Number of branches	ارتفاع بوته Plant height
رقم Cultivar (A)	1	2.134**	180.188**	4.02*	0.13ns	130.84ns
تریکودرما *Trichoderma* (B)	1	5.187**	58.521**	23.66**	11.50**	86.00ns
نیترات مس Copper nitrate (C)	1	0.307*	15.076*	29.57**	1.71*	505.85ns
A×B	3	0.067ns	6.021ns	16.52**	2.75*	2483.2ns
A×C	3	0.496**	29.854**	15.63**	0.60ns	102.50ns
B×C	3	0.469**	24.743**	21.40**	0.75ns	588.61*
A×B×C	3	0.313*	10.91*	20.16**	1.72*	692.63*
خطای آزمایش Error	32	0.096	3.479	0.675	0.432	186.25
ضریب تغییرات CV (%)	--	19.46	8.26	13.09	25.76	13.52

ns عدم‌معنی‌داری، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: Non-significant, *and**; Significant at 1% and 5% level of probability, respectively

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد قارچ *تریکودرما* و سطوح مختلف نیترات مس بر ویژگی‌های رشدی دو رقم کلزا

Continued table 2- ANOVA (mean squares) for the effect of *Trichoderma* and different levels of copper nitrate on the growth characteristics of two cultivars of rapeseed

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی df	تعداد غلاف در شاخه اصلی Pod number in main branches	طول غلاف در شاخه فرعی Length of pod in the branches	تعداد غلاف در شاخه فرعی Pod numbers in branches	وزن هزار دانه 1000 grain weight
رقم Cultivar (A)	1	48.00ns	3.23ns	133.33ns	0.010ns
تریکودرما *Trichoderma* (B)	1	102.08ns	3.91*	3605.33**	0.208ns
نیترات مس Copper nitrate (C)	1	156.02*	0.30ns	152.58**	1.805**
A×B	3	75.00ns	0.04ns	396.75**	0.156ns
A×C	3	145.05*	2.50ns	38.38ns	0.226ns
B×C	3	72.91ns	4.18**	141.5*	0.265ns
A×B×C	3	43.16ns	2.19ns	41.47ns	0.224ns
خطای آزمایش Error	32	44.79	0.932	32.77	0.173
ضریب تغییرات CV (%)	--	22.91	20.01	25.68	14.95

ns عدم‌معنی‌داری، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: Non-significant, *and**; Significant at 1% and 5% level of probability, respectively

شکل ۱- برهم‌کنش *تریکودرما* و نیترات مس بر (الف) ارتفاع بوته (ب) تعداد شاخه فرعی (ج) طول غلاف در شاخه اصلی (د) تعداد دانه در غلاف و (ن) عملکرد دانه

Figure 1– Interaction between of *T. atroviride* and copper nitrate on (a) plant height (b) number of branches (c) length of pod in the main branches (d) number of seed in pod and (n) grain yield

در هر شکل، حرف یا حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

In each figure, the same letter or letters show non-significant difference (P<0.05)

همانطور که در شکل ۱- ب نشان داده شد تعداد شاخه فرعی در تیمار کاربرد *T. atroviride* به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد *تریکودرما* واکنش نشان داد. در رقم هایولا ۴۰۱ در تمامی سطوح آلودگی به نیترات مس، افزایش تعداد شاخه فرعی در تیمار حضور *تریکودرما* نسبت به عدم حضور آن مشاهده شد. همچنین در رقم ساری‌گل، تعداد شاخه فرعی در تیمار کاربرد *T. atroviride* به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد *تریکودرما* با افزایش سطوح نیترات مس افزایش یافت (شکل ۱، ب). بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تیمارها، بیشترین تعداد شاخه فرعی در سطوح آلوده به نیترات مس، در هر دو رقم در تیمار کاربرد *تریکودرما* مشاهده شد. بالاترین تعداد شاخه فرعی در رقم ساری‌گل (۸۵ درصد افزایش نسبت به رقم هایولا ۴۰۱) نیز با کاربرد قارچ *تریکودرما* و سطح بدون آلودگی مشاهده شد.

همانطور که در شکل ۱- ج مشاهده می‌شود، روند تغییرات طول غلاف در شاخه اصلی در برابر سطوح مختلف نیترات مس در هر دو رقم مورد مطالعه در تیمار کاربرد *تریکودرما* نسبت به عدم کاربرد قارچ از یک روند افزایشی برخوردار بود. با توجه به شکل ۱- ج، حداکثر طول غلاف در شاخه اصلی (با میانگین ۱۵/۸ سانتی‌متر) در تیمار کاربرد *تریکودرما* و در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس مشاهده شد. با این وجود، این مقدار نسبت به رقم ساری‌گل حدود ۱/۳ برابر افزایش نشان داد.

در این پژوهش تعداد دانه در غلاف از ۱۷ تا ۲۴ و ۱۸ تا ۲۹ عدد (به‌ترتیب برای رقم هایولا ۴۰۱ و ساری‌گل) متغیر بود (شکل ۱، د). بر اساس مقایسه میانگین (شکل ۱، د) در رقم هایولا در تمامی سطوح نیترات مس، کاربرد *تریکودرما* موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف نسبت به عدم کاربرد قارچ شد. به‌طوری که این صفت در سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس از افزایش حدود ۱۵ و ۳۶ درصدی برخوردار بود. همچنین در رقم ساری‌گل در سطوح ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس، کاربرد *تریکودرما* به‌طور معنی‌داری (۲۳ درصد نسبت به عدم کاربرد *تریکودرما*) تعداد دانه در غلاف را افزایش داد (شکل ۱، د). نتایج این آزمایش نشان داد در سطوح صفر و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس، کاربرد *تریکودرما* در افزایش تعداد دانه در غلاف در رقم ساری‌گل نسبت به رقم هایولا ۴۰۱ واکنش بهتری نشان داد اما در سطوح بالاتر آلودگی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین دو رقم در زمان کاربرد *تریکودرما* مشاهده نشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده (شکل ۱، ن) در هر دو رقم مورد بررسی در تمامی سطوح آلودگی به نیترات مس، حضور *تریکودرما* موجب افزایش عملکرد دانه شد. به‌طوری‌که بهترین تیمار از لحاظ صفت عملکرد دانه در حضور *تریکودرما* در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس در رقم هایولا ۴۰۱ مشاهده شد که نسبت به عدم حضور *تریکودرما* به‌ترتیب از افزایش ۶۸ و ۸۸ درصدی برخوردار بودند. یکی از دلایل بهبود رشد و عملکرد گیاه در حضور قارچ *تریکودرما هارزیانوم* افزایش سطح ریشه و بهبود جذب عناصر معدنی قابل دسترس گیاه به‌ویژه در محدودیت مواد معدنی محیط خاک گزارش شده است (Bal and Altintas, 2008). در این زمینه، گزارشاتی مبنی بر بهبود جذب عناصر کم‌مصرف، گلدهی زودتر و عملکرد بیشتر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و برنج (*Oryza sativa*)با کاربرد گونه‌ی *سودوکاینجی* (Cuevas, 2006) و افزایش عملکرد گیاهانی همچون خیار، توت‌فرنگی، فلفل و پنبه با کاربرد گونه‌ی *هارزیانوم* ارائه شد (Bal and Altintas, 2008).

اثر ساده سطوح مختلف نیترات مس بر وزن هزار دانه

شکل ۲، وزن هزار دانه را در سطوح مختلف نیترات مس نشان می‌دهد. بر این اساس، بین سطوح مختلف نیترات مس اختلاف معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری که با افزایش سطوح آلودگی، وزن هزار دانه کاهش یافت. بیشترین وزن هزار دانه در دو تیمار شاهد و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس مشاهده شد. کاهش حدود ۲۳ و ۲۴ درصدی این صفت در دو تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس را نسبت به شاهد (شکل ۲) می‌توان به نقش منفی عنصر مس در غلظت‌های بالا به‌عنوان عنصر سنگین در جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به سلول‌های گیاه نسبت داد که سبب کاهش رشد و فتوسنتز گیاه شده است. در نتیجه در مرحله‌ی پر شدن دانه، شیره‌ی پرورده کمتری به دانه‌ها انتقال داده شده ودانه‌های کوچک با وزن کمتری تولید شد (Taghavi Ghasemkheyli *et al*., 2015).

برهم‌کنش قارچ و سطوح مختلف نیترات مس بر تعداد غلاف شاخه فرعی و طول غلاف در شاخه فرعی

بر اساس مقایسه میانگین در تمامی تیمارهای آلودگی به نیترات مس، تعداد غلاف در شاخه فرعی در تیمار کاربرد *تریکودرما* بیشتر از تیمار عدم کاربرد بود اما با افزایش غلظت مس در محیط چه در حضور *تریکودرما* و چه در عدم حضور آن این صفت کاهش یافت (شکل ۳، الف). بیشترین تعداد غلاف شاخه فرعی مربوط به تیمار حضور *تریکودرما* و سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس (افزایش حدود ۱/۳ برابری نسبت به عدم حضور *تریکودرما*) است که با سطح بدون آلودگی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشته است. در همین راستا، مطالعه‌ای نشان داد که همزیستی با ریزجانداران مفید خاکزی موجب کاهش اثرات زیانبار عناصر سنگین بر ویژگی‌های رشدی گیاه کلزا و افزایش تعداد غلاف گردید (Cao *et al*., 2008).

شکل ۲- اثر ساده نیترات مس بر وزن هزار دانه

Figure 2– The effect of different levels of copper nitrate on 1000 grain weight

حرف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

The same letter shows non-significant difference (P<0.05)

با توجه به نتایج به‌دست آمده همزیستی *تریکودرما* در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس نسبت به عدم حضور *تریکودرما* باعث افزایش ۱۰ و ۱۷ درصدی طول غلاف در شاخه فرعی شده است (شکل ۳، ب) این نتیجه نشان‌دهنده تأثیر مثبت این قارچ در بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه می‌باشد. اگرچه انتظار بر این بود که در سطوح صفر و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس، حضور *تریکودرما* موجب افزایش این صفت نسبت به تیمار عدم حضور قارچ گردد لذا افزایش تعداد غلاف در شاخه فرعی تحت تیمار *تریکودرما* در این سطوح آلودگی (شکل ۳، الف) می‌تواند دلیلی بر کاهش طول غلاف در سطوح صفر و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس باشد.

شکل ۳- اثر متقابل *تریکودرما* و نیترات مس بر (الف) تعداد غلاف در شاخه فرعی (ب) طول غلاف در شاخه فرعی

Figure 3– Interaction between of *T. atroviride* and copper nitrate on (a) number of pod in branches (b) length of pod in the branches

در هر شکل، حرف یا حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

In each figure, the same letter or letters shows non-significant difference (P<0.05)

بنابراین، به‌نظر می‌رسد که ریزجاندارانی همچون قارچ *تریکودرما* با افزایش قابلیت دسترسی عناصر، افزایش سطح تماس ریشه با خاک

و ظرفیت جذب مواد غذایی توسط گیاه موجب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه در مواجه با تنش فلزات سنگین می‌شود (Abouzina *et al*., 2013). کائو و همکاران بیان داشتند تلقیح گیاه خردل (*Brassica juncea*) با گونه‌ی *آتروویریدی* در خاک آلوده به کادمیم و نیکل تأثیری در بهبود رشد گیاه در خاک غیرآلوده نداشت اما سبب افزایش رشد گیاه در خاک آلوده شد (Cao *et al*., 2008). بال و آلتینتاس نیز بیان داشته‌اند حضور *تریکودرما هارزیانوم* موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه کاهو شد و دلیل آن را افزایش سطح تماس ریشه با خاک و بهبود جذب عناصر معدنی قابل‌دسترس گیاه به‌ویژه در محیط‌های دارای مواد معدنی محدود گزارش کردند (Bal and Altintas, 2008). همچنین در مطالعه ای در گیاه گوجه‌فرنگی و برنج استفاده از گونه‌ی *سودوکاینجی* در خاک، عناصر کم‌مصرف و پرمصرف قابل جذب بیشتری را در اختیار این گیاهان قرار داده و از این طریق موجب بهتر شدن ویژگی‌های رشدی آن‌ها می‌شود (Cuevas, 2006).

برهم‌کنش رقم و قارچ *تریکودرما* بر تعداد غلاف در شاخه فرعی

براساس یافته‌ها تعداد غلاف در شاخه فرعی، در هر دو رقم مورد بررسی در حضور قارچ *تریکودرما* نسبت به عدم حضور آن از میزان بالاتری برخوردار بود به‌طوری‌که تعداد غلاف در شاخه فرعی رقم هایولا ۴۰۱ در حضور *تریکودرما* حدود ۶۴ درصد بیشتر بود در حالی‌که در رقم ساری‌گل باعث افزایش حدود ۲/۵ برابری شد (شکل ۴).

شکل ٤- اثر متقابل رقم و قارچ *تریکودرما* بر تعداد غلاف در شاخه فرعی دو رقم کلزا
حرف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD است.

Figure 4– Interaction between of cultivar and *T. atroviride* on the number of pod in branches of two cultivars of Rapeseed

در هر شکل، حرف یا حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

In each figure, the same letter or letters shows non-significant difference ($P<0.05$)

همانطور که در شکل ۳- الف مشاهده می‌شود تعداد غلاف شاخه فرعی در گیاهان همزیست شده در تمامی سطوح آلودگی به نیترات مس افزایش یافت. همچنین، با توجه به اثر معنی‌داری *تریکودرما* بر ارقام مورد بررسی، رقم ساری‌گل تحت تیمار *تریکودرما* نسبت به رقم هایولا از بیشترین تعداد غلاف شاخه فرعی برخوردار بود (داده‌ها نشان داده نشد). لذا این موضوع می‌تواند دلیلی بر تأیید اثر مثبت این قارچ بر تعداد غلاف شاخه فرعی در رقم ساری‌گل نسبت به رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط آلودگی به نیترات مس باشد. در پژوهشی مشابه، افزایش تعداد غلاف گیاه کلزا در تلقیح با *تریکودرما* گزارش شد (Megawer and Mahfouz, 2010). در مطالعه‌ی دیگر در گیاه گوجه فرنگی حضور *تریکودرما* باعث بهبود صفات مورفولوژیکی مانند تعداد شاخه نسبت به گیاهان شاهد شد (Molla *et al*., 2012).

همچنین، افزایش رشد گیاهانی همچون لوبیا، خیار، ذرت و کاهو با کاربرد *تریکودرما* گزارش شده است که می‌تواند به‌دلیل تولید متابولیت‌های ثانویه مانند اکسین باشد که در پژوهشی دلیل اصلی بهبود صفات رشدی گیاه کلزا عنوان شده است (Mazhabi *et al*., 2011).

برهم‌کنش رقم و سطوح مختلف نیترات مس بر تعداد غلاف در شاخه اصلی

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش آلاینده نیترات مس در تعداد غلاف در شاخه اصلی در رقم ساری‌گل همواره بیش از رقم هایولا ۴۰۱ بود. به طوری‌که این صفت در سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰

میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس در رقم ساری‌گل نسبت به رقم هـایولا ۴۰۱ به ترتیب حدود ۲۹ و ۱۱ درصد افزایش نشان داد. تعداد غـلاف در شاخه اصلی در رقم هایولا ۴۰۱ با افزایش سطوح نیترات مـس از یک روند کاهشی برخوردار بود به‌طوریکه کمتـرین تعـداد غـلاف در شاخه اصلی در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر آلودگی به نیترات مس (با افت ۱۳ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد.

شکل ۵- برهم‌کنش رقم و نیترات مس بر تعداد غلاف در شاخه اصلی

Figure 5– Interaction between of cultivar and copper nitrate on the number of pod in main branches

در هر شکل، حرف یا حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

In each figure, the same letter or letters shows non-significant difference ($P<0.05$)

کاهش ویژگی‌های رشدی کلزا در اثر کاربرد فلـزات سـنگین در مقادیر بالا (سـمی) در پـژوهش‌هـای بسـیاری بیـان گردیـده اسـت (Przedpelska and Wierzbica, 2007; Ahmad *et al*., 2011; Ghani, 2010; Heshmatpure and Yousefi Rad, 2012) درحالی‌که محمود و همکاران بیان داشتند که پاسخ گونه‌هـا و ارقـام مختلف گیاه در برابر سمیت فلزات سنگین می‌توانـد بسـیار متفـاوت باشد (Mahmood *et al*., 2005). پژوهشی در این زمینه نشـان داد که کلزا به‌عنوان یک گیاه بیش‌اندوز فلزات سـنگین عمـل مـی‌کنـد. به‌طوری‌که با افزودن فلزات سنگینی همچون مس، کـادمیم، نیکـل، روی، سرب و کروم به محیط رشد گیاه هیچ کاهشی در ویژگی‌هـای رشدی آن مشاهده نگردید (Abouzina *et al*., 2013).

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های پژوهش حاضر، دو رقم کلزا پاسخ متفاوتی به همزیستی قارچ *تریکودرما آتروویریدی* در برابر افزایش غلظت نیترات مس در خاک نشان دادند. به‌طوری‌که افزایش تعداد شـاخه فرعـی و دانه در غلاف در رقم ساری‌گل نسـبت بـه رقـم هـایولا، در حضـور *تریکودرما* در تمامی سطوح آلودگی بـه نیتـرات مـس مشـاهده شـد. همچنین تعداد غلاف در شاخه فرعـی واکـنش مطلـوبی بـه حضـور تریکودرما نشان داد. همزیستی بـا *تریکودرمـا* در هـر دو رقـم مـورد بررسی باعث افزایش تعداد غلاف در شاخه فرعی شد. به‌گونه‌ای کـه در این پژوهش افزایش حدود ۱/۳ برابری تعداد غلاف شاخه فرعی در تیمار حضور *تریکودرما* و سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتـر نیتـرات مـس نسبت به عدم حضور *تریکودرما* مشاهده شد. این پژوهش نشان داد در هر دو رقم مورد بررسی در تمامی سطوح آلـودگی بـه نیتـرات مـس، حضور *تریکودرما* موجب افزایش عملکرد دانه شد. به‌طـوری‌کـه رقـم هایولا ۴۰۱ از لحاظ عملکرد دانه واکنش بهتری در همزیستی با قارچ نشان داد. در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات مس، عملکرد دانه در رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به رقم ساری‌گل تحت تیمار *تریکودرما* به‌ترتیب از افزایش ۳۵ و ۸۰ درصدی برخوردار بودند. هرچنـد وجـود آلاینده مس در خاک منجر به کاهش ویژگی‌های رشدی گردیـد. در این پژوهش وزن هزار دانه با افزایش غلظـت نیتـرات مـس کـاهش یافت. با این وجود، همزیستی قارچ مذکور در هر دو رقم کلزا توانست تا حدود زیادی اثر زیانبار سطوح بالای آلاینده مس در خاک را جبران نماید. این اثر در رقم ساری‌گل در برخی صفات همچون تعداد شـاخه فرعی، تعداد دانه در غلاف بهتر از رقم هایولا ۴۰۱ بود. درحـالی‌کـه حضور *تریکودرما* در بهبود صفاتی همچون طول غلاف شاخه اصلی و عملکرد دانه در رقم هایولا ۴۰۱ نسبت به رقم ساری‌گل نقش داشت. در مجموع به‌نظر مـی‌رسـد قـارچ *T. atroviride* در صـورت وجـود مقادیر بالای عنصر مس می‌تواند موجب بهبود کارایی تولید گیاه کلزا گردد. به‌طوری‌که در حضور آلاینده مس، عملکرد دانـه رقـم هـایولا

۴۰۱ واکنش بهتری با *T. atroviride* نسبت به رقم ساری گل نشان بیشتری است.
داد. با این وجود شناخت دقیق مکانیسم تأثیر آن نیازمند پژوهش‌های

References

1. Abouzina, H. F., Saber, M., Hoballah, E., El-Ashry, S., and Zaghloul, A. M. 2013. Yield attributes and oil safety in the hyperaccumulator canola plant grown in a bioremediated sewaged soil. Journal of Agricultural Science and Technology 3 (A): 1010-1016.
2. Aghel, H., and Zoghi, M. 2009. Evaluation of the main barriers for extension of rapeseed production in Khorasan province. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 505-514. (in Persian with English abstract).
3. Ahmad, K., Ejaz, A., Azam, M., Iqbal Khan, Z., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., Fardous, A., Gondal, S., Bayat, A. R., and Elahi Valeem, E. 2011. Lead, cadmium and chromium contents of canola irrigated with sewage water. Pakistan Journal of Botany 43 (2): 1403-1410.
4. Anand, P., Isar, J., Saran, S., and Saxena, R. K. 2006. Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. Bioresource Technology 97: 1018-1025.
5. Avis, T. J., Grave, V., Antoun, H., and Russe Tweddell, J. 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Soil Biology and Biochemistry 40: 1733-1740.
6. Bal, U., and Altintas, S. 2008. Effect of *Trichoderma harzianum* on lettuce in protected cultivation. Journal of Central European Agriculture 9 (1): 63-70.
7. Bennett, A. J., and Whipps, J. M. 2008. Beneficial microorganism survival on seed, roots and in rhizosphere soil following application to seed during drum priming. Biological Control 44: 349–361.
8. Cao, L., Jiang, M., Zeng, Z., Du, A., Tan, H., and Liu, Y. 2008. Trichoderma atroviride F6 improve phytoextraction efficiency of mustard [*Brassica juncea* (L.) Coss. Var. foliosa Bailey] in Cd, Ni contaminated soils. Chemosphere 71: 1769-1773.
9. Cuevas, C. 2006. Soil inoculation with *Trichoderma pseudokoningii* rifai enhances yield of rice. Philippine Journal of Science 135 (1): 31-37.
10. Estudio, Y., and Gestion, A. 2010. *Trichoderma* spp. and its potential in soil bioremediation. European Commision Publish.
11. Etesami, H., Alikhani, H.A., and Saleh Rastin, N. 2007. Growth chamber assessment of superior IAA producing r hizobial strains and the effect of Ag and tryptophan treatments on wheat growth indecies. Pajouhesh and Sazandegi 74: 16-23. (in Persian with English abstract).
12. Fathi, Gh., and Gholizade, E. 2010. Effects of drought stress during growth on seed and oil yields of rapeseed cultivars. Crop Physiology Journal 2 (8): 97-114. (In Persian).
13. Ghani, A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. World Applied Sciences Journal 8: 26-29.
14. Hashim, M. A., Mukhopadhyay, S., Narayan Sahu, J., and Sengupta, B. J. 2011. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. Journal of Environmental Management 92: 2355-2388.
15. Harender, R., and Sharma, S. D. 2009. Integration of soil solarization and chemical sterilization with beneficial microorganisms for the control of white root rot and growth of nursery apple. Scientia Horticulturae 119: 126–131.
16. Hegazi, A. A., and El-Kay, A. F. Y. 2010. Effect of road dust on vegetative characters and leaves heavy metal contents of *Zizyphus spina-christi* (L.) Wild, *Syzygium cumini* (L.) Skeels and *Olea europaea* L. seedlings. Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants 2 (3): 98-107.
17. Heshmatpure, N., and Yousefi Rad, M. 2012. The effect of PGPR (Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria) on phytoremediation of cadmiums by canola (*Brassica napus* L.) cultivars of Hyola 401. Annals of Biological Research 3 (12):5624-563.
18. Kaewchai, S., Soytong, K., and Hyde, K. D. 2009. Mycofungicides and fungal biofertilizers. Fungal Divers 25-50.
19. Kavamura, V., and Esposito, E. 2010. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. Biotechnology Advances 24: 61-69.
20. Khosravi, F., Savaghebi Firoozabadi, G.H., and Farahbakhsh, H. 2009. The effect of potassium chloride on cadmium uptake by canola and sunflower in a polluted soil. Journal of Water and Soil 23 (3): 28-35. (In Persian).
21. Mahmood, S., Hussain, A., Saeed, Z., and Athar, M. 2005. Germination and seedling growth of corn (*Zea may*s L.) under varying levels of copper and zinc. International Journal of Environment Science and Technology 2 (3): 269-274.
22. Mazhabi, M., Nemati, H., Rouhani, H., Tehranifar, A., Mahdikhani-Moghadam, E., and Kave, H. 2011. How may Trichoderma application affect vegetative and qualitative traits in tulip “darwin hybride” cultivar. Journal of Biological and Environmental Sciences 5 (15): 177-182.
23. Megawer, E. A., and Mahfouz, S. A. 2010. Response of canola (*Brassica napus* L.) to biofertilizers under Egyptian conditions in newly reclaimed soil. International Journal of Agriculture Science 2 (1): 12-17.

24. Molla, A. H., Haque, M., Haque, A., and Ilias, G. N. M. 2012. Trichoderma-enriched biofertilizer enhances production and nutritional quality of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) and minimizes NPK fertilizer use. Agricultural Research 1 (3): 265-272.
25. Moosavi, S. Gh., and Seghatoleslami, M. J. 2013. Phytoremediation: A review. Advance in Agriculture and Biology 1: 5-11.
26. Naeemi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Modares Sanavi, S. A. M., Sadat Nuri, S. A., and Jabari, H. 2008. Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Crop Production 1 (3): 83-98. (in Persian with English abstract).
27. Parsadoost, F., Bahreini Nejad, B., SafariSanjani, A. K., and Kaboli, M. M. 2007. Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankoh polluted soils. Pajouhesh and Sazandegi 75: 54-63. (in Persian).
28. Przedpelska, E., and Wierzbica, M. 2007. *Arabidopsis arenosa* (Brassicaceae) from a lead–zinc waste heap in southern Poland – a plant with high tolerance to heavy metals. Plant Soil 299: 43-53.
29. Sadat, A., Savaghebi, Gh., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., and Shirmardi, M. 2010. Effects of some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth Promoting Rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. Journal of Water and Soil 24 (1): 53-62. (in Persian with English abstract).
30. Sadhasivam, S., Savitha, S., and Swaminathan, K. 2007. Exploitation of Trichoderma harzianum mycelial waste for the removal of rhodamine 6G from aqueous solution. Journal of Environmental Management 85: 155–161.
31. Safahani Langerodi, A., Aynehband, A., Zand, E., Nour-mohammadi, Gh., Baghestani, M. A., and Kamkar, B. 2008. Evaluation of competitive ability in some canola (*Brassica napus*) cultivars with wild mustard (*Sinapis arvensis*) and relationship with canopy structure. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 15 (2): 86-98. (in Persian with English abstract).
32. Sun, Y. M., Horng, C. Y., Chang, F. L., Cheng, L. C., and Tian, W. X. 2010. Biosorption of lead, mercury and cadmium ions by Aspergillus tereuss immobilized in a natural matrix. Polish Journal of Microbiology 59 (1): 37-44.
33. Taghavi Ghasemkheyli, F., Pirdashti, H., Bahmanyar, M. A., and Tajick Ghanbary, M. A. 2015. The Effect of *Trichoderma harzianum* and cadmium on tolerance index and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Crop Ecophysiology 8 (4): 465-482. (in Persian with English abstract).
34. Vafadar, M., and Zare Maivan, H. 2006. The comparison of the role of some herbaceous plants in absorption of some heavy metals: Case study in Ramsar forest region. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13 (4): 142-150. (in Persian with English abstract).
35. Vankar, P. S., and Bajpai, D. 2008. Phyto-remediation of chrome-VI of tannery effluent by Trichoderma species. Desalination 222: 255-262.
36. Wang, M., and Zhou, Q. 2005. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copper acting on wheat Triticum aestivum. Ecotoxicology and Environmental Safety 60: 169-175.
37. Wang, B., Liu, L., Gao, Y., and Chen, J. 2009. Improved phytoremediation of oilseed rape (*Brassica napus*) by Trichoderma mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. Chemosphere 74: 1400-1403.
38. Yazdani, M., Pirdashti, H., Tajik, M. A., Bahmanyar, M. A. 2008. Effect of Trichoderma spp. and different organic manures on growth and development in soybean [*Glycine max* (L.) Merril.]. Electronical Journal of Crop Production 1 (3): 65-82. (in Persian with English abstract).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 74-86

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۸۶-۷۴

Symbiotic Effect of *Trichoderma atroviride* on Growth Characteristics and Yield of two Cultivars of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in a Contaminated Soil Treated with Copper Nitrate

E. TashakoriFard[1]- F. Taghavi Ghasemkheyli[2]- H. Pirdashti[3*]- M. A. Tajick Ghanbary[4]- M. A. Bahmanyar[5]

Received: 24-09-2014
Accepted: 06-04-2016

Introduction

Accumulation of heavy metals in agricultural soils can be a threat to crop production due to plant toxicity. In the recent years, hyperaccumulator plants are cultivated to cleaning up the soils which contaminated with pollutants especially heavy metals. However, the biomass of these plants is low and metal specific. Many studies have shown that microorganisms can be used to significantly reduce the toxicity of heavy metals. Therefore, the present study aimed to determine the role of *Trichoderma atroviride* on the growth characteristics of tow cultivars of rapeseed in different levels on copper.

Materials and Methods

In this study, a pot experiment was conducted in factorial arrangement based completely randomized design with three replicates. Treatment were *T. atroviride* fungi at two levels of inoculated and non-inoculated plants, four levels of copper nitrate including 0, 50, 100 and 150 mg l^{-1} and two cultivars of rapeseed consist of Hayola 401 and Sarigol. *Trichoderma atroviride* was prepared from Mycology Lab of Sari Agricultural Science and Natural Resource University. PDA medium (potato extract, dextrose and agar) was kept for a week at 25˚C to propagation of fungal strain. The used medium was previously sterilized in autoclave for 30 minutes. So, this fungus propagated in Wheat's bran for five days. Healthy and uniform seeds of rapeseeds were separated from rogues and infertile ones. Seeds disinfected in hypochlorite sodium 0.5% for five minute and then washed with distilled water three times. After preparing fungus spore suspension of 10^8 CFU per ml water, 50 g wheat' bran mixed to the soil of each pot. Twenty sterilized seeds sown in 2 cm of soil depth in 25×30 cm pot with 10 kg capacity. Copper nitrate was used to pollute treated soil. During this experiment did not used any pesticides and herbicides and all weed controlled manually. Some growth and yield related parameters such as plant height, number of secondary branches, pod number and length of primary and secondary branches, were determined. All statistical analysis were performed using SAS software (version 9.1) and mean comparisons were made by the least significant difference (LSD) test (P<0.05).

Results and Discussion

Results showed that increasing copper content in growth medium markedly decreased pod number in main branches in Hayola 401 while in Sarigol the maximum pod number was recorded at the 50 mg l^{-1} of copper nitrate. The presence of the *Trichoderma*, however, increased pod number in branches. Sarigol resulted more pod numbers in branches than Hayola 401 (2.5 times vs. 64%). Also, the maximum pod numbers in branches (about 1.3 fold as compared to the uninoculated control) were observed in *Trichoderma* inoculated plants which received 100 mg/L of copper nitrate. The maximum plant height in Hayola 401 and Sarigol (0 and 100 mg l^{-1} of copper nitrate, respectively) recorded when those plants inoculated with *Trichoderma*. The presence of the *Trichoderma* in the growth medium significantly improved the pod length of in main branches in Hayola 401

1- Ph.D. Student of Agronomy, University of Guilan
2- Ph.D. Student of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Member of Young Researchers Club in Islamic Azad University, Sari Branch
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
5- Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Author Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

rather than Sarigol.

Conclusions

Many researches showed that rapeseed is a hyperaccumulatore plant for heavy metals such as copper, cadmium, nickel, zinc and lead. On the other hand, many researchers confirmed that soil beneficial microorganisms such as *Trichoderma* spp. could improve the growth and yield attributes of plant especially in polluted soil. In conclusion, inoculation of rapeseed plants with *Trichoderma* could enhance the growth characteristics of rapeseed particularly under high levels of copper in the soil. Sarigol, however, respond better than Hayola 401 in terms of yield and yield components. Since, important aspect of bioremediation is inhibition of pollutants passes through a food chain, thus, coexistence of beneficial microorganisms that capable to transform contaminants into nontoxic products are very important.

Keywords: Contamination, Grain yield, Heavy metals, *Trichoderma*

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 87-102

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۰۲-۸۷

بررسی برهمکنش اکوتیپ و تاریخ کاشت در زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با استفاده از روش‌های مختلف پایداری تک متغیره

جلال قنبری[۱]- غلامرضا خواجویی‌نژاد[۲*]- قاسم محمدی‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی پایداری و سازگاری اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز بر مبنای اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت، اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز شامل سمنان، فارس، یزد، گلستان، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، اصفهان و کرمان در پنج تاریخ کاشت مختلف (۵ دی، ۲۰ دی، ۵ بهمن، ۲۰ بهمن و ۵ اسفند) مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد و در پایان فصل رشد عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. تجزیه واریانس مرکب حاکی از تفاوت معنی‌دار بین تاریخ‌های کاشت، اکوتیپ‌ها و اثر متقابل اکوتیپ در تاریخ کاشت بود. بیش از ۴۶ درصد از تغییرات در عملکرد دانه به اثر متقابل اکوتیپ در تاریخ کاشت اختصاص یافت؛ براین اساس بررسی پایداری و سازگاری بر اساس روش‌های ناپارامتری، رگرسیون ابرهارت و راسل و پارامترهای تک‌متغیره انجام شد. براساس روش‌های ناپارامتری (میانگین رتبه (R)، انحراف معیار رتبه (SDR) و نسبت شاخص عملکرد (YIR)) اکوتیپ‌های کرمان و خراسان شمالی به‌عنوان اکوتیپ‌های پایدار و بر مبنای پارامترهای واریانس محیطی (S^2_i) و ضریب تنوع ژنوتیپی (CV_i) اکوتیپ‌های خراسان رضوی و سمنان پایدار و اکوتیپ‌های کرمان و یزد ناپایدار شناخته شدند. براساس نتایج حاصل از روش ابرهارت و راسل و پارامترهای اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا، اکوتیپ‌های اصفهان و گلستان به‌عنوان اکوتیپ با پایداری عمومی متوسط، کرمان اکوتیپی با سازگاری خصوصی با تاریخ کاشت پنجم اسفندماه (محیط مساعد)، سمنان سازگار خصوصی با تاریخ کاشت پنجم دی‌ماه (محیط نامساعد) و خراسان شمالی حساس‌ترین اکوتیپ نسبت به تغییر در شرایط محیطی معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: اکوتیپ، پایداری، زیره سبز، سازگاری، همبستگی رتبه

مقدمه

زیره سبز[۴] یکی از قدیمی‌ترین و مشهورترین گیاهان معطر و ادویه‌ای جهان و مهمترین گیاه داروئی اهلی در ایران است (Kafi, 2002; Bettaieb *et al*., 2012). این گیاه در حال حاضر در ایران، در استان‌های خراسان، آذربایجان شرقی، یزد، سمنان، اصفهان، گلستان، فارس و کرمان کشت می‌گردد. از دانه‌های آن برای ایجاد طعم و بوی شاخص و خوشایند در غذا (اغلب در برنج، سیب‌زمینی، نان و پنیر) استفاده می‌شود (Kafi, 2002; Zaman and Abbasi, 2009). میوه آن خاصیت داروئی دارد و برای درمان دل‌درد، سوء هاضمه، اسهال، صرع و یرقان به‌کار می‌رود. زیره سبز علاوه بر مصارف دارویی و غذایی در صنایع بهداشتی و آرایشی نیز کاربرد دارد (Kafi, 2002).

با توجه به این که در کشور ایران از اکوتیپ‌های محلی و اصلاح نشده زیره سبز استفاده می‌شود و این توده ها از نظر کمی و کیفی بسیار متفاوت هستند، بنابراین در راستای تولید و معرفی ارقام جدید زیره سبز، علاوه بر میزان عملکرد دانه مطالعه و شناخت اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط و پایداری تولید نیز با توجه به تنوع شرایط آب و هوایی مناطق مختلف، حائز اهمیت زیادی است. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای پژوهشگران علوم اصلاح نباتات دارای اهمیت ویژه ای بوده و یکی از مسائل پیچیده برنامه‌های به نژادی برای تهیه ژنوتیپ پرمحصول و پایدار به‌شمار می‌رود (Yan *et al*., 2007). آگاهی از ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به به‌نژادگران کمک می‌کند تا

۱- دانشجوی دکتری زراعت، انجمن پژوهشگران جوان، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳- دانشیار اصلاح نباتات، پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(*- نویسنده مسئول: Email: Khajoei@uk.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.43232
4- Cumin (*Cuminum cyminum* L.)

بتوانند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب کنند (Roy, 2000). بر طبق نظر کروسا (Crossa, 1999) انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در یک برنامه اصلاحی به‌طور عمده بر پایه پتانسیل و پایداری عملکرد در طیف وسیعی از محیط‌هاست. ژنوتیپ‌هایی که عملکرد متوسط پایدار در تمام محیط‌ها نشان می‌دهند از پایداری بالایی برخوردارند، در حالی‌که، ژنوتیپ‌های با پتانسیل ژنتیکی پرمحصول در شرایط خاص و پتانسیل عملکرد ضعیف در شرایط غیر هدف به‌عنوان ارقام با سازگاری خصوصی شناخته می‌شوند (Lin and Binns, 1991).

با توجه به زمان‌بر بودن آزمایش‌های پایداری و سازگاری معمولاً برای کاهش طول دوره ارزیابی می‌توان از مدیریت‌های مختلف زراعی مانند تاریخ‌های متفاوت کاشت تا حدودی به آثار ثابت یا تصادفی سال و مکان دست یافت (Mohammadinejad and Rezai, 2005). تاریخ کاشت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل شناخته شده در مدیریت تولید تمام محصولات است، باتوجه به نقش تعیین‌کننده عوامل اقلیمی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی، تاریخ کاشت مناسب با انطباق دوره‌های بحرانی عملکرد و اجزای عملکرد با زمانی که منابع محیطی بیشتر در دسترس می‌باشند، می‌تواند منجر به حصول حداکثر عملکرد محصولات زراعی گردد. بنابراین تغییر در تاریخ کاشت به‌دلیل تغییر در پارامترهای آب و هوایی می‌تواند منجر به ایجاد محیط‌های رشدی متفاوت برای ارقام مختلف گیاهان زراعی باشد (Soleimani *et al*., 2011). دلاوگا و همکاران (de la Vega *et al*., 2002) نشان دادند که نسبت بالایی از کل تغییرات عملکرد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت است که این امر به شدت می‌تواند انتخاب برای سازگاری وسیع به تاریخ‌های متفاوت کاشت را پیچیده کند. در دیگر مطالعات نیز سهم قابل توجهی از تغییرات را به اثر تاریخ کاشت و اثر ژنوتیپ در تاریخ کاشت نسبت داده‌اند (de la Vega and Hall, 2002; Ullah *et al*., 2007).

بررسی پایداری/ عدم پایداری ژنوتیپ‌ها توسط یک‌سری از آزمایش‌های پایه‌ای قابل انجام است. روش‌های آماری برای تعیین نحوه واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط مختلف محیطی توسط بسیاری از محققان توسعه یافته است (Yates and Cochran, 1938; Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966). برخی از این روش‌های آماری شامل مدل‌های پارامتری تک متغیره، مانند شیب رگرسیون (فینلی و ویلکینسون) انحراف از رگرسیون (ابرهارت و راسل) و واریانس محیطی و ... می‌باشند. آماره‌های پایداری پارامتری به‌دست آمده از مدل رگرسیون خطی (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966) از نظر ریاضی ساده و از نظر بیولوژیکی قابل تفسیر هستند. روش رگرسیون توسط فینلی و ویلکینسون (Finlay and Wilkinson, 1963) پیشنهاد شد و توسط ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) بهبود یافت. بر این اساس، پایداری ژنوتیپ توسط شیب و انحراف از خط رگرسیون برای هر یک از ژنوتیپ‌ها تخمین زده می‌شود. این یک روش محبوب در تجزیه پایداری است و در بسیاری از محصولات زراعی کاربرد دارد.

ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell, 1966) علاوه بر میانگین عملکرد بالا، ضریب رگرسیون و انحراف از رگرسیون را معیار پایداری ارقام معرفی کردند. وسیلوسکا ایوانوا و نایدنوا (Vassilevska-Ivanova and Naidenova, 2006) از مدل پیشنهاد شده توسط ابرهارت و راسل جهت ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (شامل سه سال زراعی ۲۰۰۱-۱۹۹۹) و بررسی سازگاری و پایداری لاین‌های جهش یافته نخود فرنگی[1] استفاده کرده و این مدل را برای معرفی لاین‌های جهش یافته (مواد گیاهی اولیه) نخودفرنگی برای نیازهای خاص برنامه‌های اصلاحی، مناسب و قابل استفاده دانسته‌اند و استفاده از ضریب رگرسیون را جهت ارزیابی رفتار ژنوتیپ‌ها در اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط که مهم‌ترین ویژگی ژنوتیپ‌ها برای استفاده بهتر از منابع طبیعی است، مهم توصیف کردند. همچنین آناندراج و همکاران (Anandaraj *et al*., 2014) از این روش برای معرفی ارقام پایدار زردچوبه[2] در محیط‌های مختلف (۳۰ محیط متشکل از ۱۰ مکان و سه سال زراعی) استفاده کردند. پینتوس (Pinthus, 1973) پیشنهاد کرد از ضریب تبیین به‌جای میانگین مربعات انحراف از رگرسیون برای تخمین پایداری ژنوتیپ‌ها مختلف استفاده گردد.

ریک (Wricks, 1962) سهم هر ژنوتیپ را در تشکیل مجموع مربعات اثر متقابل در همه محیط‌های آزمایشی به‌عنوان مقیاس پایداری معرفی نمود. شوکلا (Shukla, 1972) واریانس پایداری را که شکل تغییر شکل یافته‌ای از معیار پایداری ریک است را ارائه کرد. زودای و بوسلند (Zewdie and Bosland, 2000) جهت ارزیابی اثر ژنوتیپ، محیط (سال ۱۹۹۶ در یک ایستگاه و سال ۱۹۹۷ در دو ایستگاه تحقیقاتی (سه محیط)) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از واریانس پایداری در فلفل دلمه‌ای[3]، ضمن گزارش پاسخ-های متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی مختلف، عنوان کردند که می‌توان از مطالعاتی این‌چنین امکان انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی را فراهم ساخت.

آماره‌های پایداری غیرپارامتری رتبه (Huhn, 1979) و نسبت شاخص عملکرد (Fox and Rosielle, 1982) روش‌های دیگری برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌های مختلف است که در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در گیاهان دیگر به‌کار رفته است (Kang, 1988; Ketata, 1988; Esmaeilzadeh Moghaddam *et al*., 2000). اسدی (Asadi, 2010) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در

1- Pea (*Pisum sativum* L.)
2- Turmeric (*Curcuma longa* L.)
3- Chile (*Capsicum annuum* L.)

محیط در توده‌های مختلف زیره سبز در استان کرمان، با استفاده از پارامترهای پایداری ابرهارت و راسل، ضریب تبیین، اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا و واریانس محیطی ژنوتیپ‌های پایدار را معرفی نمودند.

هدف اصلی از این بررسی درک اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت و بررسی واکنش ژنوتیپی زیره سبز به تاریخ های کاشت متفاوت با استفاده از پارامترهای مختلف پایداری تک متغیره بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی در این آزمایش متشکل از نه اکوتیپ زیره سبز شامل سمنان، فارس، یزد، گلستان، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، اصفهان و کرمان بود. این اکوتیپ‌ها از مناطق مختلف استان‌های مذکور که تولید کنندگان عمده زیره سبز در سطح کشور هستند جمع‌آوری شده و نمونه‌های مختلف هر استان به‌صورت بالک با یکدیگر مخلوط شدند. اکوتیپ‌های مختلف در تاریخ‌های کاشت ۵ دی، ۲۰ دی، ۵ بهمن، ۲۰ بهمن و ۵ اسفند کشت گردیدند.

آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان واقع در ۶ کیلومتری جنوب شرقی کرمان با طول جغرافیایی۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی با میانگین بارندگی سالانه ۱۵۰میلی‌متر و ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. میانگین بارندگی منطقه اجرای آزمایش و مجموع درجه حرارت تجمعی (GDD) محاسبه شده برای هر تاریخ کاشت در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک مزرعه مورد آزمایش شنی لوم با pH = ۷/۴ و EC= ۴/۴dS m^{-1} بود.

اکوتیپ‌های مختلف به‌صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت گردیدند. هر کرت شامل سه ردیف کاشت به طول دو متر، ابعاد هر کرت فرعی ۲ × ۱/۲ متر به مساحت ۲/۴ متر مربع و فاصله هر کرت فرعی از کرت فرعی مجاور ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر اعمال گردید. آماده‌سازی زمین توسط شخم نیمه عمیق، دو دیسک عمود برهم جهت خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح نهایی انجام گردید. جهت تأمین عناصر مورد نیاز گیاه به میزان ۵ کیلوگرم اوره و ۱۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (۶۰ کیلوگرم اوره و ۱۸۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار) به خاک اضافه گردید و سپس ردیف‌های کاشت به‌فاصله ۴۰ سانتی‌متر از هم آماده شدند. قبل از کاشت آبیاری انجام شد و بعد از رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه عملیات کاشت در هر تاریخ کاشت انجام شد.

بسته به میزان بارندگی آبیاری از کاشت تا جوانه زنی هر دو هفته یک‌بار و از جوانه زنی تا رسیدگی با توجه به نیاز آبی کم زیره سبز هر یک ماه یک‌بار انجام شد. عملیات تنک برای هر تاریخ کاشت دوبار و مبارزه با علف‌های هرز در سه نوبت به‌صورت وجین دستی انجام شد.

نمونه‌برداری و برداشت درنیمه اول خردادماه انجام شد. برای اندازه گیری عملکرد دانه از هر کرت به مساحت ۱/۲ مترمربع برداشت انجام شد و نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شدند. سپس بذور از کاه و کلش جدا و وزن گردید.

جدول ۱- تاریخ‌های سبز شدن و برداشت، درجه روز رشد محاسبه شده (از سبز شدن تا برداشت) و میزان بارندگی برای هر تاریخ کاشت

Table 1- Sowing, germination and harvesting dates, GDD calculated (from germination to harvest) and rainfall for each sowing date

تاریخ کاشت Sowing date	تاریخ سبز شدن Germination date	تاریخ برداشت Harvest date	∑GDD (از سبز شدن تا برداشت) From Germination to harvest	میزان بارندگی Rainfall (mm)
۵ دی ۱۳۹۰ 26th Dec. 2011	۱۸ بهمن ۱۳۹۰ 7th Feb.2012	۵ خرداد ۱۳۹۱ 27th May.2012	1152.7	88.1
۲۰ دی ۱۳۹۰ 10th Jan.2012	۲۵ بهمن ۱۳۹۰ 14th Feb.2012	۸ خرداد ۱۳۹۱ 30th May.2012	1182.2	87.9
۵ بهمن ۱۳۹۰ 25th Jan.2012	۴ اسفند ۱۳۹۰ 23rd Feb.2012	۱۰ خرداد ۱۳۹۱ 2nd June.2012	1193.1	83.2
۲۰ بهمن ۱۳۹۰ 9th Feb.2012	۱۲ اسفند ۱۳۹۰ 2nd Mar.2012	۱۲ خرداد ۱۳۹۱ 4th June.2012	1202.4	56.3
۵ اسفند ۱۳۹۰ 24th Feb.2012	۲۰ اسفند ۱۳۹۰ 10th Mar.2012	۱۵ خرداد ۱۳۹۱ 7th June.2012	1230.8	33.5

داده‌های حاصل از آزمایش جهت تعیین اثر اکوتیپ، تاریخ کاشت و اثر متقابل اکوتیپ در تاریخ کاشت از نظر آماری مورد تجزیه مرکب (Freeman and Dowker, 1973) و واریانس خطای آزمایش توسط آزمون بارتلت مورد آزمون قرار گرفت (Gomez and Gomez, 1984). جهت انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. آنالیزهای آماری مذکور توسط

نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد (SAS Institute, 2004). با توجه به اثر متقابل معنی‌دار مشاهده شده بین اکوتیپ در تاریخ کاشت پارامترهای پایداری پیشنهاد شده توسط ابرهارت و راسل (میانگین عملکرد، ضریب رگرسیون خطی (b_i) و انحراف از رگرسیون (S^2d_i)) براساس شاخص محیطی محاسبه گردید. آزمون معنی‌داری ضریب رگرسیون خطی و انحراف از رگرسیون نیز به‌ترتیب توسط آزمون‌های t و F انجام شد. همچنین جهت بررسی بیشتر اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از اکووالانس ریک (W_i) (Wricks, 1962)، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) (Shukla, 1972)، واریانس محیطی (S_i^2)، ضریب تغییرات ژنوتیپی (CV_i) و آماره‌های پایداری غیر پارامتری رتبه (R)، انحراف معیار رتبه (SDR) (Huhn, 1979) و نسبت شاخص عملکرد (YIR) (Fox and Rosielle, 1982) استفاده شد. جهت انجام و محاسبه پارامترهای پایداری از نرم‌افزارهای S116 و Excel استفاده گردید. همچنین جهت محاسبه همبستگی رتبه بین آماره‌های مختلف، ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.0 محاسبه گردید. بدین ترتیب که به پایدارترین ژنوتیپ براساس هر آماره، رتبه ۱ داده شد (Mohebodini *et al*., 2006; Roostaei *et al*., 2014).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تاریخ‌های کاشت، اکوتیپ‌ها و اثر متقابل اکوتیپ× تاریخ کاشت بود. بین اکوتیپ‌ها و تاریخ‌های مختلف کاشت تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید، اما درصد بالایی از مجموع مربعات (۴۶/۹٪) مربوط به اثر متقابل اکوتیپ× تاریخ کاشت بود. سهم منابع تغییرات اثر تاریخ کاشت و اکوتیپ تقریباً یکسان و به‌ترتیب ۲۶/۱۵ و ۲۶/۹۵ درصد بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه اکوتیپ‌های مورد بررسی زیره سبز در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 2- Combined analysis of variance for seed yield of studied cumin ecotypes in different sowing dates

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean square	٪ مجموع مربعات کل Total sum of squares percent
تاریخ کاشت Sowing date	4	752516.3	188129.06**	26.15
خطای کرت اصلی Main Plot error	10	81561.6	8156.16	
اکوتیپ Ecotype	8	775579	96947.25*	26.95
اکوتیپ × تاریخ کاشت Ecotype×Sowing date	32	1349698	42178.05**	46.9
خطای کل Total error	80	716475.6	8955.95	

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and * are significant at 1% and 5%, respectively

باتوجه به اختلاف بسیار معنی‌دار اثر متقابل اکوتیپ در تاریخ کاشت میانگین عملکرد اکوتیپ‌ها در هر تاریخ کاشت جهت تعیین رتبه اثرات محیطی بر عملکرد دانه استفاده شد (Finlay and Wilkinson, 1963) (جدول ۴). در بین اکوتیپ‌ها، اکوتیپ کرمان با عملکرد دانه ۷۹۷/۱ کیلوگرم در هکتار در پنج تاریخ کاشت بیشترین عملکرد دانه را نشان داد. در بین تاریخ های کاشت، تاریخ کاشت ۵ اسفندماه با عملکرد دانه ۷۵۸/۶ کیلوگرم در هکتار بهترین تاریخ کاشت بود. دامنه تغییرات عملکرد دانه از ۳۳۷/۷ کیلوگرم در هکتار برای اکوتیپ یزد در تاریخ کاشت ۵ دی‌ماه تا ۱۰۶۷ کیلوگرم در هکتار برای اکوتیپ کرمان در تاریخ کاشت ۵ اسفندماه بود (جدول ۴). از نظر رتبه اکوتیپ‌ها در تاریخ‌های کاشت، در تاریخ اول (تاریخ کاشت ۵ دی‌ماه) اکوتیپ سمنان، در تاریخ دوم (تاریخ کاشت ۲۰ دی‌ماه) اکوتیپ کرمان، در تاریخ سوم (تاریخ کاشت ۵ بهمن) اکوتیپ خراسان شمالی، در تاریخ چهارم (تاریخ کاشت ۲۰ بهمن) اکوتیپ یزد و در تاریخ پنجم (تاریخ کاشت ۵ اسفند) اکوتیپ کرمان حائز بالاترین رتبه بودند (جدول ۳).

آماره پایداری غیر پارامتری بر پایه رتبه توسط هان (Huhn, 1979) پیشنهاد شده است. براساس روش ناپارامتری رتبه بندی ژنوتیپ‌هایی که کمترین مقدار میانگین رتبه عملکرد (Rank) (R) و انحراف معیار (SDR) را داشته باشند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته می‌شوند (Kang, 1988; Ketata, 1988). کمترین میزان SDR مربوط به اکوتیپ‌های خراسان رضوی، فارس، کرمان، خراسان شمالی و خراسان جنوبی بود و کمترین میانگین رتبه مربوط به اکوتیپ‌های کرمان و خراسان شمالی بود. بکر و لئون (Becker and

Leon, 1988) عنوان کردند که یک ژنوتیپ وقتی پایدار شناخته می‌شود که رتبه آن در محیط‌های مختلف ثابت باشد، باتوجه به کمترین میزان میانگین رتبه، انحراف معیار پایین رتبه (ثبات رتبه بیشتر) و عملکرد بالای این دو اکوتیپ، می‌توان بر این اساس آن‌ها را دارای پایداری دانست (جدول ۳).

نسبت شاخص عملکرد (Fox and Rosielle, 1982) روش ناپارامتری دیگری است که نسبت میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در تمام محیط‌ها را به میانگین عملکرد کل به‌صورت درصد بیان می‌کند. بر اساس این پارامتر اکوتیپ‌های کرمان، خراسان شمالی، سمنان و یزد به‌ترتیب با بیشترین میزان شاخص در گروه اکوتیپ‌های پایدار قرار می‌گیرند و اکوتیپ فارس با کمترین شاخص (۸۰/۷٪) به‌عنوان اکوتیپ ناپایدار شناخته می‌شود. بنابراین اکوتیپ‌های کرمان و خراسان شمالی بر اساس آماره‌های فوق‌الذکر پایدارترین اکوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۳).

رازامیولونا و همکاران (Rasamivelona *et al*., 1995) گزارش کردند که تغییر در رتبه ژنوتیپ در محیط‌های متنوع سودمندی استفاده از میانگین عملکرد ژنوتیپ به‌عنوان راهی برای انتخاب رقم پایدار را کاهش می‌دهد. بنابراین باتوجه به وجود اثر متقابل تغییر در رتبه، جهت تعیین اکوتیپ‌های پایدار و سازگار از سایر پارامترهای پایداری نیز استفاده گردید.

جدول ۴ تجزیه واریانس عملکرد دانه اکوتیپ‌ها را براساس روش ابرهارت و راسل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد از بین منابع تغییر تاریخ کاشت، اکوتیپ، اکوتیپ در تاریخ کاشت، تاریخ کاشت خطی، اکوتیپ در تاریخ کاشت خطی و انحراف مرکب، تنها اثر اکوتیپ در تاریخ کاشت خطی از نظر آماری معنی‌دار نبود. معنی‌دار نشدن اثر متقابل اکوتیپ در تاریخ کاشت خطی نشان دهنده‌ی عدم تفاوت معنی‌دار اکوتیپ‌ها از نظر شیب خط رگرسیون و به‌عبارتی وجود پاسخ یکسان اکوتیپ‌ها به تاریخ‌های کاشت مختلف می‌باشد. مجموع مربعات ژنوتیپ در تاریخ کاشت خطی برای اکثر اکوتیپ‌ها معنی‌دار گردید که حاکی از این است که عملکرد این اکوتیپ‌ها در تاریخ‌های کاشت مختلف از رابطه خطی تبعیت می‌کند (جدول ۴).

براساس جدول پارامترهای پایداری برمبنای روش رگرسیون (جدول ۵) اکوتیپ سمنان دارای شیب خط منفی (۰/۱۰۴-) و اکوتیپ کرمان دارای بیشترین شیب خط رگرسیون (۲/۳۰۲) بودند. به‌منظور مطالعه واکنش اکوتیپ‌ها نمودار سازگاری آن‌ها بر اساس میانگین عملکرد دانه و ضرایب رگرسیون مربوط به هر اکوتیپ ترسیم گردید (شکل ۱).

تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌ها بر مبنای ضریب رگرسیون خطی در شکل ۱ نشان داده شده است. از بین اکوتیپ‌ها اصفهان، گلستان، فارس، خراسان شمالی و خراسان رضوی در یک گروه قرار گرفتند. اکوتیپ‌های مذکور شیب خط نزدیک به ۱ دارند که از این بین اکوتیپ خراسان شمالی با عملکرد بالاتر از میانگین دارای سازگاری عمومی مطلوب، گلستان با عملکرد نزدیک به میانگین دارای پایداری عمومی و سایر اکوتیپ‌ها با عملکرد پایین حائز سازگاری عمومی ضعیف می‌باشند.

با توجه به نتایج آزمون t برای فرض H_0: $b_i=1$، هیچکدام از اکوتیپ‌ها از نظر شیب خط رگرسیون اختلاف معنی‌داری با ۱ نشان ندادند، لذا از بین این اکوتیپ‌های سازگار انتظار می‌رود اکوتیپ‌های کرمان و سمنان به ترتیب با ضرایب b_i= ۲/۳۰۲ و b_i= -۰/۱۰۴ پاسخ بهتری نسبت به محیط‌های مساعد و نامساعد داشته باشند (جدول ۵).

شکل ۲ پراکنش اکوتیپ‌ها را براساس پارامتر دوم پایداری ابرهارت و راسل (S^2d_i) و میانگین عملکرد دانه نشان می‌دهد. تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌ها براساس روش وارد نشان داد که به سه گروه قابل تفکیک‌اند: در گروه اول فقط اکوتیپ خراسان شمالی قرار گرفت که دارای بالاترین مقدار انحراف از رگرسیون بود که بر این اساس ناپایدارترین اکوتیپ محسوب می‌شود. گروه دوم شامل اکوتیپ‌های کرمان، یزد، فارس و خراسان جنوبی است که S^2d_i حد واسط داشتند و در گروه سوم اکوتیپ‌های گلستان، سمنان، اصفهان و خراسان رضوی قرار گرفتند که بر این مبنا پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. باتوجه به اینکه در این گروه فقط اکوتیپ سمنان عملکرد بالاتر از میانگین داشت بنابراین دارای پایداری عمومی مطلوب می‌باشد. همچنین اکوتیپ گلستان با عملکرد نزدیک به میانگین دارای پایداری عمومی می‌باشد. اصفهان و خراسان رضوی نیز باتوجه به عملکرد کمتر از میانگین از پایداری عمومی ضعیف برخوردارند.

براساس پارامتر اول پایداری ابرهارت و راسل (شکل ۱) تنها اکوتیپ خراسان شمالی اکوتیپ پایدار شناخته شد که باتوجه به دارا بودن بالاترین میانگین انحراف از رگرسیون (S^2d_i) (پارامتر دوم پایداری ابرهارت و راسل) در بین اکوتیپ‌ها، نمی‌توان آن‌را به‌عنوان اکوتیپی با سازگاری عمومی مطلوب برشمرد. این اکوتیپ با b_i=۱/۱۹۴، S^2d_i = ۲۳۳۶۶/۵ و میانگین عملکرد ۷۲۹/۹ کیلوگرم در هکتار می‌تواند به عنوان حساس‌ترین اکوتیپ نسبت به تغییرات شرایط محیطی باشد.

جدول ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) زیره سبز و پایداری عملکرد دانه اکوتیپ‌های زیره سبز مبتنی بر روش‌های ناپارامتری

Table 3- Interaction effect of sowing date and ecotypes on cumin seed yield (kg ha^{-1}) and yield stability of cumin ecotypes based on non-parametric methods

اکوتیپ Ecotypes	تاریخ‌های کاشت (Sowing dates)					میانگین رتبه Rank mean (R)	انحراف معیار رتبه Standard deviation rank (SDR)	نسبت شاخص عملکرد Yield index ratio (YIR)
	۵ دی 26th Dec. 2011	۲۰ دی 10th Jan. 2012	۵ بهمن 25th Jan. 2012	۲۰ بهمن 9th Feb. 2012	۵ اسفند 24th Feb. 2012			
سمنان Semnan	639.3^{c-i}	747.3^{a-g}	561.9^{d-l}	721.5^{b-g}	591.8^{c-l}	4.2	3.27	101.3
فارس Fars	440.8^{ghi}	367.9^{hi}	518.0^{d-i}	525.0^{d-i}	747.2^{a-g}	7.8	1.64	80.7
یزد Yazd	337.7^{i}	619.9^{c-i}	784.1^{a-f}	730.5^{a-g}	775.2^{a-g}	4.2	3.11	100.8
گلستان Golestan	624.9^{c-i}	694.9^{b-h}	513.3^{d-i}	594.2^{c-l}	780.1^{a-g}	5.2	2.68	99.6
خراسان رضوی Khorasan-Razavi	462.6^{f-i}	602.4^{c-i}	670.7^{b-i}	615.7^{c-i}	608.1^{c-i}	6.2	1.48	91.9
خراسان شمالی Khorasan-Shomali	471.8^{e-l}	920.5^{abc}	812.0^{a-d}	717.6^{b-g}	727.3^{b-g}	3.6	2.30	113.3
خراسان جنوبی Khorasan-Jonoubi	627.1^{c-i}	461.2^{f-i}	587.3^{c-i}	651^{b-l}	720.0^{b-g}	5.4	2.30	94.6
اصفهان Isfahan	562.3^{d-i}	569.7^{d-i}	529.5^{d-i}	559.3^{d-i}	810^{a-e}	5.6	2.51	94.1
کرمان Kerman	557.2^{d-i}	979.2^{ab}	726.8^{b-g}	655.1^{b-l}	1067.4^{a}	2.8	1.79	123.8
میانگین Mean	524.8^{C}	662.5^{AB}	633.7^{B}	641.1^{B}	758.6^{A}			

داشتن حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ ٪ می‌باشد.

Similar letter indicated no significant difference according to HSD test at 5% probability level.

جدول ٤- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه اکوتیپ‌های زیره سبز بر اساس روش ابرهارت و راسل

Table 4- Combined analysis of variance for seed yield of cumin ecotypes based on Eberhart and Russell regression method

منابع تغییر	Source of variation	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	F
تاریخ کاشت	Sowing date (SD)	4	250833.8	62708.44	4.46**
تکرار در تاریخ کاشت	Replication (SD)	10	81561.58	8156.16	2.73*
اکوتیپ	Ecotype (E)	8	258523.9	32315.49	2.30*
اکوتیپ در تاریخ کاشت	E× SD	32	449905.3	14059.54	4.71**
تاریخ کاشت (خطی)	SD (linear)	1	250833.8	250833.8	-
اکوتیپ در تاریخ کاشت (خطی)	E× SD (linear)	8	121415.8	15176.97	1.25 ns
انحراف مرکب	Combined deviation	27	328488.03	12166.22	4.08**
سمنان	Semnan	3	25491.78	8497.26	2.85 ns
فارس	Fars	3	42726.43	14242.14	4.77**
یزد	Yazd	3	51290.38	17096.79	5.73**
گلستان	Golestan	3	26209.5	8736.50	2.93*
خراسان رضوی	Khorasan-Razavi	3	13947.07	4649.02	1.56 ns
خراسان شمالی	Khrasan-Jonoubi	3	70099.56	23366.52	7.83**
خراسان جنوبی	Khorasan-Shomali	3	34471.39	11490.46	3.85*
اصفهان	Isfahan	3	23033.72	7677.91	2.57 ns
کرمان	Kerman	3	41218.21	13739.4	4.60**
اشتباه مرکب	Combined error	80	238825.2	2985.30	-

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

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

شکل ۱- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین عملکرد دانه و ضریب رگرسیون خطی (پارامتر اول) ابرهارت و راسل. (خط عمودی از نقطه میانگین عملکرد دانه می‌گذرد).

Figure 1- Scatter plot of seed yield mean and linear regression coefficient (first parameter) of Eberhart and Russell. (Vertical line shows the seed yield mean)

جدول ۵- پارامترهای پایداری بر مبنای روش رگرسیون ابرهارت و راسل در اکوتیپ‌های زیره سبز

Table 5- Stability parameters based on Eberhart and Russell regression method in ecotypes of cumin

اکوتیپ Ecotypes	میانگین عملکرد† Yield mean	ضریب رگرسیون†† Regression coefficient	عرض از مبدا Intercept	مجموع مربعات رگرسیون خطی Sum of squares of regression deviation	انحراف از رگرسیون خطی Linear regression deviation	ضریب تبیین Coefficient of determination
سمنان Semnan	652.4^{bc}	-0.104^{ns}	0.04	299.3	8497.26*	1.2
فارس Fars	519.8^{d}	1.173^{ns}	2.69	38325.3	14242.14**	47.3
یزد Yazd	648.8^{bc}	1.791^{ns}	5.23	89385.9	17096.79**	63.5
گلستان Golestan	641.5^{bc}	0.729^{ns}	1.69	14798.6	8736.5*	36.1
خراسان رضوی Khorasan-Razavi	591.9^{cd}	0.597^{ns}	2.13	99199.0	4649.02	41.6
خراسان شمالی Khorasan-Shomali	729.9^{ab}	1.194^{ns}	1.7	39722.1	23366.52**	36.2
خراسان جنوبی Khorasan-Jonoubi	609.3^{cd}	0.284^{ns}	0.2	2250.3	11490.46*	6.1
اصفهان Isfahan	606.2^{cd}	1.035^{ns}	3.89	29840.4	7677.9	56.4
کرمان Kerman	797.1^{a}	2.302^{ns}	10.75	147710.3	13739.4**	78.2

† داشتن حرف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ ٪ می‌باشد.

†† نتیجه آزمون t برای فرض H_0:b_i=1 در سطح احتمال ۵ درصد

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

†Similar letter indicated no significant difference according to HSD test at 5% probability level.

†† Result of t test for the hypothesis H_0: b_i = 1, at 5% probability level.

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

شکل ۲- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین عملکرد دانه و واریانس انحراف از رگرسیون (پارامتر دوم ابرهارت و راسل). (خط عمودی از نقطه میانگین عملکرد دانه می‌گذرد)

Figure 2- Scatter plot of seed yield mean and regression deviation variance (second parameter of Eberhart and Russell). (Vertical line shows the seed yield mean)

جهت بررسی دقیق‌تر پایداری و سازگاری اکوتیپ‌ها براساس روش رگرسیونی نمودار پراکنش براساس ضریب رگرسیون خطی و انحراف از رگرسیون بر اساس روش پیشنهاد شده توسط هاف و جیدل (Haufe and Geidel, 1978) ترسیم گردید. نمودار پیشنهاد شده در این روش دارای چهار منطقه می‌باشد که در شکل ۳ توسط خطوط منقطع نشان داده شده است. منطقه ۱ منطقه پایداری بالا و منطقه ۲ منطقه‌ای با پایداری پایین می‌باشد. مناطق ۳ و ۴ نیز به‌ترتیب دارای سازگاری به محیطهای نامساعد و مساعد می‌باشند. بر این اساس اکوتیپ‌های اصفهان و گلستان دارای پایداری بالا، اکوتیپ خراسان شمالی ناپایدار، اکوتیپ‌های کرمان و یزد دارای سازگاری خصوصی با محیطهای مساعد و اکوتیپ‌های خراسان جنوبی و سمنان سازگار خصوصی با محیطهای نامساعدند. باتوجه به عملکرد نزدیک به میانگین اکوتیپ‌های گلستان و اصفهان نمی‌توان آن‌ها را با پایداری عمومی مطلوب دانست بلکه دارای پایداری عمومی متوسط اند.

پینتوس (Pinthus, 1973) پیشنهاد کرد از ضریب تبیین به‌جای میانگین مربعات انحراف از رگرسیون برای تخمین پایداری ژنوتیپ‌ها مختلف استفاده گردد. بر اساس ضریب تبیین پینتوس (r_i^2) اکوتیپ کرمان با بیشترین ضریب تبیین (r_i^2=۷۸/۲٪) به‌عنوان اکوتیپ پایدار و اکوتیپ‌های سمنان و خراسان جنوبی (به‌ترتیب با ضرایب تبیین ۱/۲ و ۶/۱ درصد) که در تجزیه خوشه‌ای در یک گروه نیز قرار گرفتند، به‌عنوان ناپایدارترین اکوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۵).

ژنوتیپ‌هایی که ضریب اکووالانس (W_i) و واریانس پایداری (σ_i^2) کمتر و در نتیجه سهم کمتری از مجموع مربعات اثر متقابل را داشته باشند براساس پارامترهای اکووالانس ریک و واریانس پایداری شوکلا پایدارند. تجزیه خوشه‌ای بر مبنای این دو پارامتر (شکل‌های ۳ و ۴) نشان داد که اکوتیپ‌های خراسان رضوی، اصفهان و گلستان با کمترین مقادیر پایدارترین اکوتیپ‌ها بودند و در یک گروه قرار گرفتند. که از این بین تنها اکوتیپ گلستان با عملکرد بسیار نزدیک به میانگین دارای پایداری عمومی بود. اکوتیپ کرمان با بالاترین مقادیر اکووالانس و واریانس پایداری و با توجه به عملکرد بالا دارای سازگاری خصوصی با محیطهای مساعد شناسایی گردید (شکل‌های ۳ و ۴).

براساس واریانس محیطی (S_{xi}^2) و ضریب تنوع (CV_i) اکوتیپ‌های خراسان رضوی (با S_i^2=۶۴۴۷/۷ و CV_i = ۱۲/۳۱) و سمنان (با S_i^2=۵۹۶۶/۷ و CV_i = ۱۳/۰۵) با کمترین مقادیر دارای بالاترین پایداری بودند و بر اساس نتایج حاصله از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد در یک گروه قرار گرفتند. اکوتیپ کرمان بر اساس پارامتر واریانس محیطی با بیشترین مقدار (S_i^2=۴۷۲۳۲/۱) ناپایدارترین اکوتیپ شاخته شد که بر مبنای تجزیه خوشه‌ای با اکوتیپ یزد در یک گروه قرار گرفت. تجزیه خوشه‌ای برای CV_i نشان داد که اکوتیپ‌های یزد، فارس و کرمان با بیشترین ضرایب تنوع به ترتیب ۲۸/۹، ۲۷/۴ و ۲۷/۳ ناپایدارترین اکوتیپ‌ها بوده و در یگ گروه قرار گرفتند (جدول ۶).

شکل ۳- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس ضریب رگرسیون خطی و واریانس انحراف از رگرسیون
Figure 3- Scatter plot of regression deviation variance and linear regression coefficient

جدول ٦- سایر آماره‌های پایداری مورد استفاده جهت بررسی اثر متقابل اکوتیپ × تاریخ کاشت در زیره سبز

Table 6- Other stability statistics used to investigate the effect of ecotype × sowing date in cumin

اکوتیپ Ecotypes	اکووالانس ریک Wricke's ecovalence (W_i)	واریانس پایداری شوکلا Shukla's stability variance (σ^2_i)	واریانس محیطی Environmental variance (S^2_i)	ضریب تنوع Coefficient of variation (CV_i)
سمنان Semnan	59438.3	17096.7	6447.7	31.12
فارس Fars	43557.2	11992	20262.9	27.39
یزد Yazd	68722.2	20080.8	35169.1	28.9
گلستان Golestan	28261.3	7075.5	10252.1	15.78
خراسان رضوی Khorasan-Razavi	18482.7	3932.4	5966.7	13.05
خراسان شمالی Khorasan-Shomali	71146.6	20860	27455.6	22.7
خراسان جنوبی Khorasan-Jonoubi	48753.7	13662.3	9180.5	15.72
اصفهان Isfahan	23067.3	5406	13218.5	18.97
کرمان Kerman	88474.5	26429.7	47232.1	27.26

شکل ٤- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین عملکرد دانه و واریانس پایداری شوکلا (خط عمودی از نقطه میانگین عملکرد دانه می‌گذرد).

Figure 4- Scatter plot of Shukla's stability variance and seed yield mean (vertical line shows the seed yield mean).

شکل ۵- پراکنش اکوتیپ‌ها براساس میانگین عملکرد دانه و اکووالانس ریک (خط عمودی از نقطه میانگین عملکرد دانه می‌گذرد).
Figure 5- Scatter plot of Wricke's ecovalence and seed yield mean (vertical line shows the seed yield mean).

اثر متقابل معنی‌دار اکوتیپ در تاریخ کاشت بیانگر پاسخ متفاوت اکوتیپ‌ها به تغییر در شرایط محیطی بود. نسبت بالایی از تغییرات در عملکرد دانه مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت بود که این مسئله سودمندی میانگین عملکرد اکوتیپ‌ها را به‌عنوان یک پارامتر برای اندازه‌گیری پایداری عملکرد کاهش می‌دهد (Anandaraj *et al.*, 2014). بنابراین با توجه به درصد بالای مجموع مربعات اثر متقابل (۴۶/۹٪) و مشاهده اثر متقابل تغییر در رتبه استفاده از پارامترهای میانگین عملکرد اکوتیپ‌ها جهت معرفی اکوتیپ‌های پایدار چندان قابل استناد نمی‌تواند باشد. باتوجه به جدول همبستگی رتبه اسپیرمن (جدول ۷) و عدم ارتباط بین این آماره‌ها با سایر روش‌ها نیز تأییدی بر این مطلب است. از این روش‌ها در مطالعات مختلف برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و معرفی ژنوتیپ‌های پایدار در گیاهان مختلف استفاده شده است (Kang, 1988; Ketata, 1988; Esmaeilzadeh Moghaddam *et al.*, 2000). در نهایت براساس روش‌های غیر پارامتریک اکوتیپ‌های کرمان و خراسان شمالی پایدارترین اکوتیپ‌ها شناخته شدند، که براساس واریانس محیطی و ضریب تنوع ژنوتیپی ناپایدار بودند. جدول ضرایب همبستگی رتبه اکوتیپ‌ها بین این آماره‌ها (جدول ۷) نشان می‌دهد که بین آماره‌های غیر پارامتریک با S_i^2 و CV_i همبستگی منفی و غیر معنی‌داری وجود دارد که عدم ارتباط بین آن‌ها را تأیید می‌کند. براساس S_{xi}^2 و CV_i خراسان رضوی و سمنان پایدار شناخته شدند و اکوتیپ‌های کرمان و یزد ناپایدارترین بودند (جدول ۶). اسدی (Asadi, 2010) از واریانس محیطی جهت بررسی پایداری در اکوتیپ‌های زیره سبز استفاده کرده و این روش را را جهت گزینش مناسب ندانستند. نجفی میرک (Najafi Mirak, 2011) از روش های فوق در ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در اقلیم سرد ایران استفاده کردند.

براساس روش رگرسیون (b_i و S^2d_i) گلستان به‌عنوان اکوتیپ با پایداری عمومی، کرمان سازگار خصوصی با محیط‌های مساعد (تاریخ کاشت ۵ اسفند)، سمنان و خراسان جنوبی سازگار خصوصی با محیط‌های نامساعد (تاریخ کاشت ۵ دی) و اکوتیپ خراسان شمالی ناپایدارترین اکوتیپ شناخته شدند. با توجه به ارتباط بسیار قوی که بین رتبه اکوتیپ‌ها براساس پارامترهای اکووالانس و واریانس پایداری (۱/۰۰۰**) (جدول ۷) وجود داشت نتایج هردو پارامتر کاملاً یکسان بود که بر این اساس اکوتیپ گلستان پایدار عمومی و اکوتیپ کرمان سازگار خصوصی با محیط‌های مساعد بودند. در مجموع روش‌های رگرسیون و اکووالانس و واریانس پایداری نیز نتایج تقریبا مشابهی نشان دادند. زودای و بوسلند (Zewdie and Bosland, 2000) جهت ارزیابی اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط با استفاده از واریانس پایداری در فلفل دلمه‌ای، این آماره را برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی مناسب توصیف کردند.

وسیلوسکا ایوانوا و نایدنوا (Vassilevska-Ivanova and Naidenova, 2006) از روش ابرهارت و راسل جهت بررسی سازگاری و پایداری لاین‌های جهش یافته (مواد اولیه گیاهی) نخود فرنگی استفاده کرده و این مدل را مناسب و قابل استفاده دانسته‌اند. همچنین آناندراج و همکاران (Anandaraj *et al.*, 2014) از این روش برای معرفی ارقام پایدار زردچوبه در محیط‌های مختلف استفاده کردند. اسدی (Asadi, 2010) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در توده‌های مختلف زیره سبز در استان کرمان، با استفاده از

پارامترهای پایداری ابرهارت و راسل اکوتیپ صدرا و با استفاده از اکووالانس ریک، واریانس پایداری شوکلا اکوتیپ‌های صدرا، نائین و کلاته را پایدار معرفی نمودند. در دیگر منابع نیز از این پارامترها جهت معرفی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده شده است (Esmaeilzadeh Moghaddam *et al*., 2000; Najafi Mirak, 2011).

جدول ۷ ضرایب همبستگی رتبه اسپیرمن را بین آماره‌های مختلف پایداری و عملکرد دانه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، آماره‌های R و YIR با دیگر آماره‌ها همبستگی رتبه منفی نشان دادند. ضریب تبیین r_i^2 و SDR نیز با سایر آماره‌ها همبستگی نشان نداد و همبستگی r_i^2 با S_i^2 و CV_i نیز معنی‌دار و منفی بود، همبستگی منفی بین r_i^2 و S_i^2 در گیاه ذرت منفی و معنی‌دار و در جو منفی و غیر معنی‌دار گزارش شده است (Becker and Leon, 1988). نتایج فوق نشان دهنده‌ی این است که نتایج حاصله از این پارامترها (R، YIR، SDR و r_i^2) با هیچکدام از پارامترهای مورد استفاده در این بررسی در یک راستا نیست.

ضریب رگرسیون (b_i) با آماره‌های W_i و σ_i^2 همبستگی مثبت و متوسط (r_s=۰/۵۶۷) و با سایر آماره‌ها در این بررسی همبستگی ناچیزی نشان داد. نتایج مشابه در مطالعه بکر و لئون (Becker and Leon, 1988) گزارش شده است. همبستگی انحراف از رگرسیون (S^2d_i) با آماره‌های W_i، σ_i^2، S_i^2 و CV_i مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بود. روستائی و همکاران (Roostaei *et al*., 2014) در گندم و بکر و لئون (Becker and Leon, 1988) در سه گیاه ذرت، جو و یولاف ضریب همبستگی رتبه را بین انحراف از رگرسیون (S^2d_i) با آماره‌های W_i و σ_i^2 و مثبت و بسیار معنی‌دار گزارش کردند. همبستگی بین S^2d_i و S_i^2 فقط در گیاه یولاف مثبت و معنی‌دار گزارش شده است (Becker and Leon, 1988). ضریب همبستگی بین پارامترهای W_i و σ_i^2 بسیار بالا و معنی‌دار بود (r_s= ۱**). این دو پارامتر نتایج دقیقاً یکسانی را نشان داند که تأییدی بر این مطلب می‌باشد. نتایج مشابه در عدس گزارش شده است (Mohebodini *et al*., 2006). همچنین میان دو آماره S_i^2 و CV_i نیز همبستگی بالا و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده گردید (r_s= ۰/۹۰۰**). این ضریب در عدس نیز ۰/۹ گزارش شده است (Mohebodini *et al*., 2006).

جدول ۷- ضرایب همبستگی رتبه اسپیرمن بین آماره‌های پایداری مختلف مورد استفاده

Table 7- Spearman's rank correlations among the different statistics parameters

	R	SDR	YIR	b_i	S^2d_i	r_i^2	W_i	σ_i^2	S_i^2
SDR	-0.433	1							
YIR	1.0**	-0.433	1						
b_i	-0.617	0.2	-0.617	1					
S^2d_i	-0.417	0.067	-0.417	0.05	1				
r_i^2	0.05	0.283	0.05	0.00	-0.25	1			
W_i	-0.85**	0.233	-0.85**	0.567	0.750*	-0.2	1		
σ_i^2	-0.85**	0.233	-0.85**	0.567	0.750*	-0.2	1.0**	1	
S_i^2	-0.483	0.033	-0.483	0.083	0.767*	-0.733*	0.70*	0.700*	1
CV	-0.1	-0.083	-0.1	-0.133	0.750*	-0.767*	0.433	0.433	0.90**

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

* and ** Significant at 5% and 1% respectively.

نتیجه‌گیری

باتوجه به اثر مثبت و بسیار معنی‌دار تاریخ‌های کاشت بر عملکرد و همچنین پاسخ متفاوت اکوتیپ‌ها به تغییر در تاریخ کاشت (به‌ترتیب ۲۶/۱۵ و ۴۶/۹ درصد از مجموع مربعات کل) بنابراین می‌توان انتظار داشت که از تاریخ‌های متفاوت کاشت تاحدی می‌توان به‌عنوان محیط‌های متفاوت جهت انجام مطالعات سازگاری و پایداری عملکرد بهره جست.

نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های غیر پارامتری R، SDR، YIR و r_i^2 در این مطالعه جهت معرفی اکوتیپ‌های پایدار نمی‌تواند مناسب باشد. براساس پارامترهای S_i^2 و CV_i اکوتیپ‌های خراسان رضوی و سمنان پایدار و اکوتیپ‌های کرمان و یزد ناپایدار شناخته شدند. بر اثر عدم وجود ارتباط قوی بین b_i، S^2d_i (جدول ۸) معرفی اکوتیپی با پایدار عمومی مطلوب با استفاده از روش رگرسیون در این مطالعه مقدور نبود؛ اما اکوتیپ‌های اصفهان و گلستان دارای پایداری عمومی متوسط شناخته شدند و اکوتیپ‌های کرمان و سمنان به‌ترتیب واجد سازگاری خصوصی با محیط‌های مساعد و نامساعد بودند. نتایج حاصله از روش‌های ریک و شوکلا نیز مشابه با روش رگرسیونی بود. به‌طور کلی اکوتیپ‌های اصفهان و گلستان دارای پایداری عمومی متوسط، کرمان واجد سازگاری خصوصی با محیط‌های مساعد (تاریخ کاشت ۵ اسفندماه)، سمنان سازگار خصوصی با محیط‌های نامساعد (تاریخ کاشت ۵ دی‌ماه)، و خراسان شمالی حساس‌ترین اکوتیپ نسبت

به تغییر در شرایط محیطی معرفی می‌شوند.

References

1. Anandaraj, M. D., Prasath, K., Kandiannan, T., John Zachariah, V., Srinivasan, A. K. Jha, B. K., Singh, A. K., Singh, V. P., Pandey, S. P., Singh, N., Shoba, J. C., Jana K., Kumar R., and Uma Maheswari, K. 2014. Genotype by environment interaction effects on yield and curcumin in turmeric (*Curcuma longa* L.). Industrial Crops and Products 53: 358-364.
2. Asadi, Z. 2010. Evaluation of genotype×environment interaction in different cumin ecotypes at Kerman. MSc thesis, Graduate University of Advance Technology, Kerman, Iran. 132 pp.
3. Becker, H. C., and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. Plant Breeding 101:1-23.
4. Bettaieb, R. I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., and Marzouk, B. 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products 36:238-245.
5. Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. Advances in Agronomy 44:55-85.
6. de la Vega, A. J., and Hall, A. J. 2002. Effect of planting date, genotype, and their interaction on sunflower yield. II. Components of oil yield. Crop Science 42:1202-1210.
7. de la Vega, A. J., Hall, A. J., and Kroonenberg, P. M. 2002. Investigating the physiological bases of predictable and unpredictable genotype by environment interactions using three-model pattern analysis. Field Crops Research 78:165-183.
8. Eberhart, S. A., and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6:36-40.
9. Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Zakizadeh, M., Akbari Moghaddam, H., Abedini Esfahlani, M., Sayahfar, M., Nikzad, A.R., Tabib Ghaffari, S.M., and Aeineh, A. L. 2000. Study of grain yield stability and genotype – environment interaction in 20 bread wheat lines in warm and dry areas of south of Iran. Electronic Journal of Crop Production 3(3): 179-200. (in Persian with English abstract)
10. Finlay, K. W., and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Australian Journal of Agriculture Research 14:742-754.
11. Fox, D. N., and Rosielle, A. 1982. Reducing the influence of environmental main effects of plant breeding environments. Euphytica 31:645-656.
12. Freeman, G. H., and Dowker, B. D. 1973. Statistical methods for the analysis of genotype-environments. Heredity 33:339-354.
13. Gomez, K. A., and Gomez, A. A. 1984. Statistical procedures for agricultural research, second ed. Wiley, New York.
14. Haufe, W., and Geidel, H. 1978. Zur Beurteilung der Ertragssicherheit von Sorten und Zuchtstämmen. I. Definitionen, Stabilitätsparameter und deren Interpretationsmöglichkeiten. Zeitschrift fur Pflanzenzüchtung 80: 24-37.
15. Huhn, M. 1979. Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. I. Vorschlag einiger auf Ranginformationnen beruhenden stabilitatsparameter. EDV in Medizin Und Biologie 10:112-117.
16. Kafi, M. 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*): Production Technology and Processing. Mashhad: Ferdowsi University Press, pp 195.
17. Kang M.S. 1988. A rank-sum method for selecting high yielding, stable corn genotypes. Cereal Research Communication, 16:113-115.
18. Ketata, H. 1988. Genotype environment interaction, ICARDA, Proceeding of Biometrical technique for Cereal Breeders 16-32 pp.
19. Lin, C. S., and Binns, M. R. 1991. Assessment of a method for cultivar selection based on regional trial data. Theoretical and applied genetics 82: 505-509.
20. Mohammadinejad, G., and Rezai, A. M. 2005. Analysis of Genotype × Environment Interaction and Study of Oat (*Avena sativa* L.) Genotypes Pattern. JWSS - Isfahan University of Technology 9 (2):77-89.
21. Mohebodini, M., Dehghani, H., and Sabaghpour, S. H. 2006. Stability of performance in lentil (Lens culinaris Medik) genotypes in Iran. Euphytica 149:343-352.
22. Najafi Mirak, T. 2011. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes in cold agro-climatic zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 13(2): 380-394. (in Persian with English abstract).
23. Rasamivelona, A., Gravois, K. A., and Dilday, R. H. 1995. Heritability and genotype_environment interactions for straithead in rice. Crop Science 35:1365-1368.
24. Pinthus, J. M. 1973. Estimate of genotype value: a proposed method. Euphytica 22:121-123.
25. Roostaei, M., Mohammadi, R., and Amri, A. 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. The crop journal 2:154-163.
26. Roy, D. 2000. Plant breeding analysis and exploitation of variation. Alpha Science International, Ltd. U. K.
27. SAS Institute. 2004. Base SAS 9.1 procedures guide. Cary (NC): SAS Institute Inc.

28. Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29:237-245.
29. Soleimani, B., Khosh-Khui, M., and Ramezani, S. 2011. Planting date effects on growth, seed yield essential oil content and chemical composition of ajowan. Journal of Applied Biological Sciences 5 (3): 7-11.
30. Ullah, I., Ayub, M., Khan, M. R., Ashraf, M., Mirza, M. Y., and Yousef, M. 2007. Graphical analysis of multi-environment trial (MET) data in sunflower (*Helianthus annuus* L.) through clustering and GGE biplot technique. Pakistan Journal of Botany 39:1639-1646.
31. Vassilevska-Ivanova, R., and Naidenova, N. 2006. Assessment of the stability and adaptability of waxbloom and waxless pea (*Pisum sativum* L.) mutant lines. Scientia Horticulturae 109:15-20.
32. Wricks, G. 1962. Ube Eien method Zut Erfussung Der Okologischen streubreite in feldversuchen. Z. Pflanzenzuecht 47:92-96.
33. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., and Cornelius P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Science 47:643-655.
34. Yates, F., and Cochran, W. G. 1938. The analysis of groups of experiments. The Journal of Agricultural Science 28:556-580.
35. Zaman, U., and Abbasi, A. 2009. Isolation, purification and characterization of a nonspecific lipid transfer protein from Cuminum cyminum. Phytochemistry 70:979-987.
36. Zewdie, Y., and Bosland, P. W. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in Capsicum annuum L. Euphytica 111:185-190.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 87-102

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۰۲-۸۷

Study of Ecotype and Sowing Date Interaction in Cumin (*Cuminum cyminum* L.) using Different Univariate Stability Parameters

J. Ghanbari[1]- Gh. R. Khajoei-nejad[2*]- Gh. Mohammadi-nejad[3]

Received: 10-01-2015
Accepted: 06-04-2016

Introduction

Cumin is one of the most important medicinal plants in Iran and today, it is in the second level of popularity between spices in the world after black pepper. Cumin is an aromatic plant used as flavoring and seasoning agent in foods. Cumin seeds have been found to possess significant biological and have been used for treatment of toothache, dyspepsia, diarrhoea, epilepsy and jaundice. Knowledge of GEI is advantageous to have a cultivar that gives consistently high yield in a broad range of environments and to increase efficiency of breeding program and selection of best genotypes. A genotype that has stable trait expression across environments contributes little to GEI and its performance should be more predictable from the main several statistical methods have been proposed for stability analysis, with the aim of explaining the information contained in the GEI. Regression technique was proposed by Finlay and Wilkinson (1963) and was improved by Eberhart and Russell (1966). Generally, genotype stability was estimated by the slope of and deviation from the regression line for each of the genotypes. This is a popular method in stability analysis and has been applied in many crops. Non-parametric methods (rank mean (R), standard deviation rank (SDR) and yield index ratio (YIR)), environmental variance (S_i^2) and genotypic variation coefficient (CV_i) Wricke's ecovalence and Shukla's stability variance (Shukla, 1972) have been used to determine genotype-by-environment interaction in many studies. This study was aimed to evaluate the ecotype × sowing date interaction in cumin and to evaluation of genotypic response of cumin to different sowing dates using univariate stability parameters.

Materials and Methods

In order to study of ecotype × sowing date interaction, different cumin ecotypes: Semnan, Fars, Yazd, Golestan, Khorasan-Razavi, Khorasan-Shomali, Khorasan-Jonoubi, Isfahan and Kerman in 5 different sowing dates (26th December, 10th January, 25th January, 9th February and 24th February) were studied. The experiment was conducted during growing season of 2011-2012 in Agricultural Research field of Shahid Bahonar University of Kerman, Iran; and grain yield was measured in the end of the growing season. Combined ANOVA, Bartlett test and mean comparison (Duncan's multiple range test) was performed using SAS 9.1 software. Considering the significant interaction between ecotypes and sowing dates, non-parametric methods (rank mean (R), standard deviation rank (SDR) and yield index ratio (YIR)), and different methods of univariate stability parameters include: environmental variance (S^2_i), genotypic variation coefficient (CV_i), Wricke's ecovalence, Shukla's stability variance, and Regression technique (Eberhart and Russell parameters) was applied to study Ecotype × Sowing date interaction. Calculation of different stability parameters were done by S116 and Excel softwares. In order to investigate the relationship between stability statistics, the Spearman's rank correlation coefficient was calculated by using SPSS 17.0 software.

Results and Discussion

Combined ANOVA revealed that significant differences among sowing dates, ecotypes and ecotype by sowing date interaction. More than 46 percent of variation in yield was devoted to the ecotype by sowing date interaction; on this basis, stability and adaptability studies were performed based on non-parametric methods,

1- Ph.D Student of Agronomy, Young Researcher Society, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
2- Associate Professor of Agronomy, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
3- Associate Professor of Plant Breeding, Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: Khajoei@uk.ac.ir)

Eberhart and Russell regression method and univariate parameters. Based on non-parametric methods (rank mean (R), standard deviation rank (SDR) and yield index ratio (YIR)) Kerman and Khorasan-Shomali were identified as stable ecotypes, and based on environmental variance (S^2_i) and genotypic variation coefficient (CV_i) parameters Khorasan-Razavi and Semnan ecotypes were diagnosed as stable while Kerman and Yazd ecotypes were categorized as unstable ecotypes. According to the results from Eberhart and Russell, Wricke's ecovalence and Shukla's stability variance parameters Isfahan and Golestan ecotypes were categorized as relatively stable ecotypes. Kerman ecotype showed specific adaptability to 24th February sowing date (favorable environment) while Semnan had specific adaptability reaction to 26th December sowing date (unfavorable environment). Khorasan-Shomali showed highest sensitivity reaction to different environments (sowing dates). According to the Spearman correlation the regression coefficient (b_i) showed moderate correlation coefficient with W_i and σ^2_i statistics (r_s = 0.567) and with other statistics in this study showed little correlation. Similar results in the study of Becker and Leon (1988) have been reported. Correlation between the deviation from regression (S^2d_i) with W_i, σ^2_i, S^2_i and CV_i statistics was positive and significant at 5% probability level. YIR and R statistics showed negative rank correlation and coefficient of determination (r^2_i) and SDR don't show any significant correlation coefficient with other parametric statistics. Therefore, in this study, the results of these statistics did not match with parametric methods to introduce stable ecotypes.

Conclusions

Isfahan and Golestan ecotypes were categorized as relatively stable ecotypes. Kerman and Semnan ecotype showed specific adaptability reaction to 24th February sowing date (favorable environment) and 26th December sowing date (unfavorable environment) respectively. Khorasan-Shomali showed highest sensitivity reaction to different sowing dates.

Keywords: Adaptability, Cumin, Ecotype, Rank correlation, Stability

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 103-112

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۱۲-۱۰۳

بررسی خصوصیات مورفولوژیکی و کیفیت علوفه تاج‌خروس زراعی (*Amaranthus hypochondriacus* L.) تحت اثر برخی پیش‌تیمارهای بذری

سمیرا مالکی خضرلو[1*] - مهدی تاجبخش[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی برخی خصوصیات مورفولوژیکی و کیفیت علوفه تاج‌خروس زراعی تحت اثر برخی پیش‌تیمارهای بذری، آزمایشی بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام شد. تیمارها شامل پیش‌تیمار بذری کود کبوتری (یک در ده)، و نیاز تغلیظ شده ۶۸/۳۹ ٪ (سه در هزار)، کود نانو کلات سوپر میکرو (سه در هزار)، آب مغناطیسی، همیوپاتی ۱۲x و شاهد بودند. بذرها به مدت ۸ ساعت در تیمارهای ذکر شده غوطه‌ور شدند و پس از رساندن به رطوبت اولیه جهت کشت به مزرعه منتقل شدند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه و کیفیت علوفه بودند. برداشت در مرحله گلدهی از مساحت یک متر مربع هر واحد آزمایشی انجام شد. نتایج نشان دادند، اثر پیش‌تیمار بر کلیه صفات غیر از ارتفاع بوته، قطر ساقه و درصد خاکستر معنی‌دار شد. با توجه به مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد برگ (۳۹۵ عدد در مترمربع) و تعداد شاخه فرعی (۲۰۳/۳ عدد در مترمربع) در پیش‌تیمار آب مغناطیسی به‌دست آمد. در صفات معرف کیفیت علوفه، بیشترین پروتئین (۲۵/۴٪)، کربوهیدرات قابل حل در آب (۱۱/۸٪)، ماده خشک قابل هضم (۵۱/۵٪) در کودکبوتری، بیشترین فیبر محلول در شوینده خنثی (۵۹/۷٪)، اسیدی (۴۶/۰۳٪) و بیشترین فیبر خام (۲۶/۶٪) در شاهد به‌دست آمد. درمجموع پیش‌تیمارهای کود کبوتری و آب مغناطیسی بر خصوصیات مورفولوژیک و کیفیت علوفه تاثیر بیشتری در مقایسه با سایر پیش‌تیمارها داشتند.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، پیش‌تیمار، تاج خروس زراعی، کود کبوتری

مقدمه

تاج‌خروس (*Amaranthus*) گیاهی پهن برگ است که در بسیاری از مناطق دنیا، همانند ایران به‌عنوان یک گیاه زراعی جدید مطرح است. ریشه تاج‌خروس از نوع راست، و ارتفاع ساقه بسته به گونه می‌تواند بین ۹۰ تا ۲۸۰ سانتی‌متر باشد. ساقه تاج‌خروس دارای گره‌های فراوانی است که از هر گره ساقه‌های فرعی متعددی که خود شامل برگ و گل‌آذین مستقلی است، خارج می‌شود. گونه‌های تاج‌خروس را می‌توان در چهار گروه زراعی، وحشی و علف هرز، به‌زراعی و الگوی رشد، و جمعیت شناسی و مکان‌یابی رشد گونه‌ها تقسیم نمود. بررسی‌ها نشان داده که کیفیت تغذیه‌ای تاج‌خروس از غلات و محصولات علوفه‌ای معمول بیشتر است (Ansari, 2013). لذا آگاهی از مواد غذایی موجود در گیاهان که در دسترس حیوانات چرا کننده قرار می‌گیرند کمک موثری در استفاده به‌موقع از آن‌ها، پیش‌بینی کمبودهای مواد غذایی و همچنین ارزیابی احتیاجات مکمل تغذیه‌ای خواهد بود. کیفیت علوفه بیانگر ارزش غذایی و مقدار انرژی است که در دسترس دام قرار می‌گیرد. هرچه علوفه مصرفی خوش‌خوراک‌تر و کیفیت آن بهتر باشد، میزان مصرف آن توسط دام افزایش می‌یابد (Pinkerton, 1996). وقتی پارامترهای کیفی علوفه با هم در نظر گرفته می‌شوند، تاج خروس در ردیف علوفه‌ای با کیفیت خوب تا عالی قرار می‌گیرد (Sleug *et al.*, 2007). پیش‌تیمار بذر روشی است که به‌واسطه آن بذور پیش از قرار گرفتن در بستر خود و مواجه با شرایط اکولوژیکی محیط، به لحاظ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به دست می‌آورند. این امر می‌تواند سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی متعددی در بذر پیش‌تیمار شده و گیاه حاصل از آن گردد. افزایش سرعت جوانه‌زنی جهت استقرار سریع‌تر و مناسب‌تر اهمیت زیادی در بهبود استقرار و عملکرد گیاهان زراعی دارد (Murugu *et al.*, 2003; Murugu *et al.*, 2004). امروزه وارد کردن تدریجی کودهای دامی در برنامه تغذیه گیاهان زراعی به کشاورزان توصیه می‌شود. این موضوع به کشاورز

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: s.maleki_kh@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.43478

اجازه می‌دهد که کودهای دامی قابل دسترس خود را با هزینه کمتر و به منظور بهبود محتوای عناصر غذایی خاک، تامین نیاز گیاه و حاصلخیزی خاک استفاده و میزان تولید محصول را افزایش دهد. تعادل غذایی که در کودهای دامی وجود دارد، باعث تولید گیاهانی می‌شود که از سلامتی بیشتری برخوردارند (Sharma and Sharma, 2014). کودهای دامی که حاوی اکثر عناصر مورد نیاز گیاهان هستند، جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند، زیرا کود دامی علاوه بر وجود عناصر پرمصرف، به مقدار کمتری دارای عناصر ریز مغذی بوده و خاک را در دراز مدت در جهت تعادل پیش خواهد برد (Malakuti *et al*., 2004). در این ارتباط فناوری نانو به‌عنوان علم پیشتاز در رفع مشکلات و مسائل کشاورزی به خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته به اثبات رسانده است. نانو کودها به‌صورت کامل جذب گیاه شده و به‌خوبی نیازها و کمبودهای غذایی را رفع می کند (Kuchaki and Khajehoseini, 2004). در نتایج پژوهش محققان (Sajedi and Ardakani, 2008) بر روی ذرت علوفه‌ای در استان مرکزی اعلام کردند که کودهای عناصر کم‌مصرف بیشتر در فعالیت‌های متابولیکی تاثیرگذار بوده و به‌طور غیرمستقیم با افزایش سرعت رشد گیاه، سطح جذب، دوام برگ و فتوسنتز، باعث افزایش وزن خشک گیاه شده و روی سایر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد تاثیر کمی داشته است. قرار گرفتن آب در معرض میدان مغناطیسی بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مانند کشش سطحی، قابلیت حل نمک‌ها، ضریب شکست نور و اسیدیته آن را تغییر می‌دهد (Castro Palacio *et al*., 2007). تحریک گیاه با استفاده از میدان مغناطیسی به‌عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد گیاه، افزایش سرعت جوانه‌زنی، درصد سبز شدن و کاهش مصرف بذر را در پی داشت (Aladjadjian *et al*., 2007). تحقیقات نشان داد بذرهای خیار سبز بهترین پاسخ را به آب مغناطیسی نشان دادند و حدود ۸۶ درصد افزایش تولید مشاهده شد (Samadyar *et al*., 2014). محققان عنوان نمودند آب مغناطیسی باعث افزایش عملکرد گیاه کرفس و نخود گردید (Grewel and Maheshwari, 2009) همچنین تعداد جوانه‌زنی بذرهای ذرت شیرین در آب مغناطیسی نسبت به شاهد بیشتر بود (Jian-lin, 2011). همیوپاتی[1] روشی است که در آن از محلول‌های بسیار رقیق شده، جهت اثرگذاری بر اندام‌های زنده بهره برده می‌شود. مفهوم همیوپاتی درمان مشابه با مشابه است که برای اولین بار در سال ۱۸۰۷ در خدمت طب درمانی منتشر شد. در بررسی تاثیر همیوپاتیک آرسنیک و سولفور بر رشد نعناع مشاهده شد تیمار همیوپاتی سولفوریک موجب افزایش وزن خشک ریشه و ساقه گردید (Bonato *et al*., 2009). همیوپاتی در کنترل آفات و بیماری‌ها، افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی، سمیت زدایی گیاهان از فلزات نظیر آلومینیوم و مس و افزایش رشد به‌کار رفته است. مواد همیوپاتیک فسفر موجب افزایش رشد ریشه چغندرقند شده است (Bonato *et al*., 2003).[2] و نیاز تغلیظ شده ۶۸/۳۹ ترکیب جدیدی است که تحت عنوان محرک رشد معرفی می‌شود. در رابطه با تاثیر و نیاز تغلیظ شده بر عملکرد و خصوصیات رشدی گیاهان تحقیقات مدون و علمی انجام نشده است، و نیاز به انجام تحقیقات بیشتر در رابطه با این محرک رشد وجود دارد. در این تحقیق برخی صفات مورفولوژی و کیفیت علوفه‌ی گیاه تاج خروس زراعی (*Amaranthus hypochondriacus* L.) تحت اثر تیمارهای پیش از کاشت بذری مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به کیفیت مطلوب علوفه گیاه تاج خروس و جدید بودن کشت آن در ایران، بررسی پیش‌تیمارهای بذری آلی و شیمیایی بر خصوصیات مورفولوژیکی و کیفیت آن با توجه به کمبود تولید و کاهش کیفیت علوفه در کشور در سال‌های اخیر می‌تواند گامی مثبت در جهت معرفی این گیاه به منبع تامین علوفه کشور باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پیش‌تیمارهای بذری کود کبوتری، و نیاز تغلیظ شده ٪۶۸/۳۹، نانو کلات سوپر میکرو کامل، آب مغناطیسی و همیوپاتی بر خصوصیات مورفولوژی و کیفیت علوفه گیاه تاج خروس زراعی، آزمایشی بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (پردیس نازلو) در سال ۱۳۹۳ انجام شد. این منطقه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ ثانیه در ارتفاعی برابر با ۱۳۲۰ متر از سطح دریا واقع شده است. براساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروترمیک این منطقه جز مناطق آب و هوایی سرد و خشک می‌باشد. میانگین حداکثر و حداقل دمای سالیانه به‌ترتیب ۱۶ و ۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

تیمارها شامل: کود کبوتری (یک در ۱۰)، ونیاز تغلیظ شده ٪۶۸/۳۹ (سه در هزار)، کود نانو کلات سوپر میکرو کامل (سه در هزار)، آب مغناطیسی، همیوپاتی ۱۲x (معرف دفعات رقیق سازی ماده با نسبت ۱ به ۹ واحد آب است) بودند. برای تهیه محلول کود کبوتری، مخلوط کود و آب به نسبت ۱ به ۱۰ به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. سپس از دو لایه پارچه نازک گذرانده شد. آب مغناطیس با عبور آب معمولی از میدان مغناطیسی دستگاه مغناطیسی مدل BSI12انجام شد. نانو کلات سوپر میکرو کامل (مولیبدن=٪۰/۱، نیتروژن=۵، مس=۰/۶۵، منیزیم=۶، پتاسیم=۲، منگنز=۰/۷، روی=۸،

1- Homeopathy

2- Condensed vanyaz

آهن=۴/۵، فسفر=۳، کلسیم=۶، بر=۰/۶۵) با نسبت ذکر شده با آب تهیه شد.

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table1- Physical and chemical properties of soil in experiment site

عمق Depth (Cm)	بافت خاک Soil Text	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته گل اشباع pH	رس (%) Clay	سیلت (%) Silt	شن (%) Sand	کربن آلی (%) O.C	نیتروژن کل N(Ppm)	فسفر (Ppm) P_2O_5	پتاسیم (Ppm) K_2O
0-30	Loam	1.1	8.8	26	35	39	0.6	0.06	10.4	250

و نیاز تغلیظ شده ۶۸/۳۹ درصد ترکیب تولیدی جدیدی است تحت عنوان محرک رشد (ملاس چغندرقند تغلیظ شده، با بریکس ۸۰٪ رقیق‌سازی شدهدر کارخانه پاکدیس ارومیه) به نسبت سه در هزار با آب آماده شد. بذرها به مدت ۸ ساعت در تیمارهای ذکر شده غوطه‌ور شدند، سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به رطوبت اولیه رسانده شدند و جهت کشت به مزرعه منتقل شدند. آماده‌سازی زمین در ابتدای خرداد ماه و به‌صورت جوی و پشته انجام شد. بذور در عمق ۲-۱ سانتی‌متر خاک قرار گرفتند. مهمترین عملیات داشت شامل مبارزه با علف‌های هرز بود که با ادوات دستی انجام شد. بعد از جوانه زنی بذور، عملیات تنک در مرحله ۸-۶ برگی انجام شد تا تراکم مطلوب بوته (۱۴۰۰۰۰ بوته در هکتار) حاصل شود. صفات مورد بررسی در این تحقیق شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه و کیفیت علوفه بودند. برداشت در مرحله گلدهی گیاه و از مساحتی معادل یک مترمربع از هر واحد آزمایشی انجام شد. جهت اندازه‌گیری کیفیت علوفه، نمونه‌ها خشک و پودر شدند و از تکنولوژی طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) استفاده شد. اندازه‌گیری صفات کیفی درصد پروتئین خام، فیبر محلول در شوینده خنثی، فیبر محلول در شوینده اسیدی، درصد کربوهیدرات محلول درآب، درصد ماده خشک قابل هضم، درصد خاکستر کل، درصد فیبرخام در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع براساس روش ارائه شده توسط جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2003) انجام شد. تجزیه آماری طرح با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرتیمار بر ارتفاع بوته و قطرساقه غیرمعنی‌دار، بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. اعمال تیمارهای پیش از کاشت منجر به افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه گردید، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. بیشترین تعداد برگ در پیش‌تیمار آب مغناطیس (۳۹۵ برگ در مترمربع)، سپس کود کبوتری (۳۶۲/۳) و کمترین آن (۲۴۷/۵ برگ در مترمربع) در شاهد مشاهده شد. در صفت شاخه فرعی، بیشترین تعداد (۲۰۳/۳ در مترمربع) مربوط به پیش تیمار آب مغناطیس و کمترین آن (۱۳۵ در مترمربع) مربوط به شاهد بود. سایر پیش‌تیمارها از نظر آماری در یک سطح قرار داشتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده اعمال تیمارهای پیش از کاشت بذری منجر به افزایش خصوصیات مورفولوژیکی گیاه تاج‌خروس نسبت به شاهدگردیدند. اثر افزایشی پیش تیمار آب مغناطیسی در مقایسه با سایر پیش‌تیمارها معنی‌دارتر بود. تحقیقات نشان داده آب مغناطیسی بهتر از آب معمولی توسط غشای بذر جذب می‌شود و به قسمت‌های درونی بذر راه پیدا می‌کند و علاوه بر جذب بهتر فرایندهای متابولیکی منجر به جوانه زنی می‌شود (Castrol Palacio *et al*., 2006) که این پدیده را به افزایش قابلیت حل نمک و کاهش کشش سطحی در آب مغناطیس نسبت می‌دهد. محققان (Murugu *et al*., 2004) گزارش کردند اعمال پیش‌تیمارهای بذری سبب بروز تظاهرات زیستی و فیزیولوژیکی در بذر شده و تسریع جوانه‌زنی را در پی داشت. بذور پرایم شده پس از قرار گرفتن در بستر خود سریع‌تر جوانه زده و در پی این امر استقرار در گیاهان حاصل از این بذور سریع‌تر و بهتر و در عین حال یکنواخت‌تر انجام می‌پذیرد. در واقع چنین گیاهانی در مقایسه با گیاهان بدون پیش تیمار در طی زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش داده و با جذب مطلوب‌تر آب و مواد غذایی و تولید بخش‌های زیستی و اکولوژیکی موقعیت ویژه‌ای به گیاهان حاصل از بذور پرایم شده می‌دهد (Murugo *et al*., 2004). تحقیقات صورت گرفته در خصوص مصرف آب مغناطیسی در کشاورزی نشان داده است، استفاده از میدان مغناطیسی موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، افزایش درصد سبز شدن و افزایش عملکرد گیاه می‌گردد.

گزارش شده (Maheshwari and Grewal, 2009) استفاده از آب مغناطیس می‌تواند به افزایش بهره‌وری آب در گیاهان زراعی کمک کند به‌طوریکه تاثیر تیمار آب مغناطیس بر رشد گیاه کرفس (*Apium graveolens*) قابل توجه بود. این تیمار تاثیر معنی‌دار فقط بر یکی از گونه‌های نخود نداشت (Maheshwari and Grewal, 2009)

کیفیت علوفه

تأثیر پیش‌تیمار بذور بر تمام صفات کیفی علوفه غیر از درصد خاکستر معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر تیمار بر پروتئین خام، فیبر محلول در شوینده اسیدی، کربوهیدرات قابل حل در آب و ماده خشک قابل هضم در سطح احتمال یک درصد و بر فیبر محلول در شوینده خنثی و فیبر خام در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. در صفت پروتئین خام بیشترین درصد مربوط به پیش‌تیمار کود کبوتری با ۲۵/۴۳ درصد و کمترین درصد متعلق به شاهد با ۱۹/۰۱ بود. سایر پیش‌تیمارها از نظر آماری در یک سطح قرار داشتند. بیشترین درصد فیبر محلول در شوینده خنثی در شاهد با ۵۹/۷۴ و کمترین آن در پیش‌تیمار آب مغناطیس (۴۴/۸۴) و کود کبوتری (۴۵/۴۱) به‌دست آمد. بیشترین درصد فیبر محلول در شوینده اسیدی در شاهد (۴۶/۰۳) و کمترین آن در پیش‌تیمار کبوتری (۴۰/۹۰)، آب مغناطیس (۴۱/۰۱) و همیوپاتی (۴۱/۴۴) به‌دست آمد. در صفت کربوهیدرات قابل حل در آب بیش‌ترین درصد در پیش‌تیمار کود کبوتری (۱۱/۸۹)، سپس آب مغناطیس (۱۱/۵۴) و کمترین درصد آن در شاهد (۹/۸۷) به‌دست آمد. بیشترین درصد ماده خشک قابل هضم در پیش‌تیمار کود کبوتری (۵۱/۵۳) و آب مغناطیس (۵۰/۷۷) و کمترین آن در شاهد (۴۳/۳۰) حاصل شد (جدول ۳). درصد قابلیت هضم یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده کیفیت علوفه می‌باشد. میزان پروتئین خام موجود در علوفه نیز به‌طور معنی‌دار با هضم‌پذیری مرتبط می‌باشد. نیتروژن جزء عوامل تاثیرگذار بر صفات فوق می‌باشد. کودهای دامی و مرغی دارای مقادیر فراوانی از نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشند، که این باعث حصول حداکثر عملکرد می‌شود (Malakuti *et al*., 2004). کاربرد کودهای حاوی نیتروژن باعث تحریک تشکیل اسیدآمینه شده و میزان رشد رویشی، سطح برگ و میزان پروتئین بالا رفته و ذخیره کربوهیدرات‌ها افزایش می‌یابد. همچنین هضم پذیری علوفه رابطه مستقیمی با ویژگی‌های دیواره سلولی دارد. چون محتویات دیواره سلولی گیاهی را می‌توان تا صد درصد هضم‌پذیر دانست، حتی با زیاد شدن سن گیاه و یا رشد تغییری در هضم‌پذیری آن به‌وجود نمی‌آید، درصورتی‌که ساختار شیمیایی دیواره سلولی با رشد گیاه تغییر می‌نماید و با بالا رفتن سن گیاه محتویات فیبر کل گیاه افزایش یافته و در نتیجه از میزان هضم‌پذیری گیاه کاسته می‌شود (Arzani *et al*., 2006; Arzani *et al*., 2004).

جدول۲- تجزیه واریانس و میانگین مربعات صفات تاج خروس تحت اثر پیش تیمارهای بذری

Table 2- Analysis of variance of Amaranth seed priming treatment application

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد برگ Leaf number	تعداد شاخه فرعی Su shrub	قطر ساقه Steam diameter	پروتئین خام Crud protein	فیبر محلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	فیبر محلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	کربوهیدرات قابل حل در آب Water soluble carbohydrate	ماده خشک قابل هضم Digestible dry matter	خاکستر Ash	فیبر خام Crud fiber
Replication	تکرار	2	702^{ns}	150^{ns}	184.72^{ns}	16.72^{ns}	0.176^{ns}	0.69^{ns}	8.15^{ns}	1.08^{ns}	1.621^{ns}	6.150^{ns}	3.04^{ns}
Treatment	تیمار	5	166^{ns}	9299^{**}	2224.73^{*}	16.32^{ns}	15.174^{*}	93.51^{*}	13.62^{*}	2.47^{**}	28.80^{**}	0.924^{ns}	9.13^{*}
Error	خطا	17	483	412	523.05	6.92	3.134	25.02	2.56	0.45	5.861	3.066	2.89
CV	ضریب تغییرات		13.96	6.34	13.43	10.27	8.07	10.10	3.73	6.24	5.03	14.55	6.98

*و** به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵درصد و ۱درصد می‌باشد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار

* and **: Significant at 5% and 1% probability level, respectively, and ns: Not significant

جدول۳- مقایسه میانگین صفات تاج خروس تحت اثر پیش‌تیمارهای بذری

Table 3-Mean comparison of Amaranth seed priming treatment application

پیش تیمار Treatment	تعداد برگ Leaf number (number in m^2)	تعداد شاخه Sub shrub (number in m^2)	پروتئین خام Crud protein (%)	فیبر محلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (%)	فیبر محلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (%)	کربوهیدرات قابل حل در آب Water soluble carbohydrates (%)	ماده خشک قابل هضم Digestible dry matter (%)	فیبر خام Crude fiber (%)
شاهد Control	247.5d	135.0b	19.01b	59.74a	46.03a	9.87b	43.30b	26.67a
کود کبوتری Pigeon manure	362.3ab	190.0ab	25.43a	45.41b	40.90b	11.89a	51.53a	21.70ab
ونیاز تغلیظ شده Condensed vanyaz	340.0bc	161.6ab	21.45ab	50.09ab	44.69ab	9.99b	46.02ab	24.81ab
نانو کلات سوپر میکرو Super micro nano chelate	300.0dc	145.0ab	20.69ab	46.25ab	42.91ab	10.04ab	49.33ab	25.63ab
آب مغناطیس Magnetic Water	395.0a	203.3a	23.48ab	44.84b	41.01b	11.54ab	50.77a	24.68b
همیوپاتی6x Homeopathy 6x	275d	186.6ab	21.50ab	50.76ab	41.44b	11.35ab	47.53ab	23.63ab

در هر ستون و عامل آزمایشی میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند

Means in each column followed by the similar letters(s) are not significant different at 5% probability level, using Duncan's Test

خاکستر، لیگنین، فیبر و سلولز جز عوامل کاهنده کیفیت علوفه و پروتئین خام و ارزش کالری جز عوامل افزایش‌دهنده کیفیت علوفه معرفی شده‌اند (Unyal *et al.*, 2005). افزایش درصد ماده خشک و درصد پروتئین باعث خوش‌خوراکی گیاه برای دام و افزایش عمل جذب می‌شود. در حالی‌که افزایش درصد فیبر باعث حجیم شدن علوفه و کاهش سهم مواد مغذی، قابلیت هضم و خوش خوراکی علوفه می‌شود. در نهایت افزایش الیاف خام باعث کاهش پروتئین و کاهش ارزش غذایی گیاهان می‌شود. با توجه به طبقه‌بندی گونه‌های مرتعی از لحاظ مقادیر شاخص‌های کیفیت علوفه (Arzani *et al.*, 2013) گونه زراعی تاج خروس از نظر درصد پروتئین خام در درجه کیفی خیلی مطلوب و از نظر ماده خشک قابل هضم در درجه کیفی مطلوب قرار دارد. بنابراین برای بهبود محصول تولیدی از لحاظ کمی و کیفی استفاده از بذر غنی شده با عناصر، علاوه بر جوانه‌زنی و رشد بهتر، باعث تولیدات محصول بیشتر و با کیفیت بالاتر می‌شود (Arzani *et al.*, 2013). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این بررسی، استفاده از پیش‌تیمارهای بذری آلی منجر به افزایش کمیت و کیفیت علوفه گیاه تاج خروس گردید. بنابراین تیمار کردن بذور قبل از کشت در مزرعه و با استفاده از کودهای آلی تولید شده در مزرعه، باعث صرفه‌جویی در هزینه مربوط به تهیه کود شده و از نظر اقتصادی میزان درآمد نسبت به هزینه صرف شده بیشتر بوده و برای کشاورز مقرون به‌صرفه می‌باشد.

شکل۱-تاثیر پیش تیمار بذری بر فیبر محلول در شوینده خنثی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 1- Effect of seed priming on neutral detergent fiber

شکل۲- تاثیر پیش‌تیمار بذری بر پروتئین خام براساس آزمون دانکن دز سطح احتمال پنج درصد

Figure 2- Effect of seed priming on crude protein

شکل ۳- تأثیر پیش‌تیمار بذری بر کربوهیدرات قابل حل درآب براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure3-Effect of seed priming on water soluble carbohydrate

شکل٤- تأثیر پیش‌تیمار بذری بر فیبر محلول در شوینده اسیدی براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 4-Effect of seed priming on acid detergent fiber

پیش‌تیمار کبوتری بر صفت درصد خاکستر بیشترین اثر افزایشی را داشت اما این اثر از نظر آماری غیر معنی‌دار بود. بیشترین درصد فیبر خام در شاهد با ۲۶/۶۷ درصد و کمترین آن در پیش‌تیمار آب مغناطیس با ۲۱/۷۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۳).

شکل٦- تاثیر پیش‌تیمار بذری بر ماده خشک قابل هضم براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 6-Effect of seed priming on crude fiber

شکل٥- تاثیر پیش‌تیمار بذری بر فیبر خام علوفه براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد

Figure 5-Effect of seed priming on digestible dry matter

References

1. Aladjadjiyan. A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. Journal of Central European Agriculture 8: 369-380.
2. Ansari Ardaly, S., Agha Alikhani, M., and Rozbahan, U. 2013.Effects of plant density and nitrogen rate on seed yield and forage quality of grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). Msc Thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian with English abstract).
3. Arzani, H., Motamedi (Torkan), J., Jafari, M., Farahpoor, M and Zare Chahoki, M. A. 2013. Classification of forage quality index in highland rangelands of Taleghan. Iranian Journal of Range and Desert Research 20 (2): 250-271. (in Persian with English abstract).
4. Arzani, H., Basiri, M., Khatibi, F. and Ghorbani, G. 2006. Nutritive Value of some Zeros Montatin rangland species. Small Ruminant Research 40:139-148.
5. Arzani, H., Kaboli, S.H., Nikkhah, A. and Jalili, A. 2004. An Introduction of most important of indices for Determination of Nutritive value of range plant. Iranian Journal Natural Resourse 57 (2): 777-787. (in Persian with English abstract).
6. Bonato, C. M., Proena, G. T, and Reis, B. 2009. Homeopathic drugs Arsenicum album and sulphur affect the growth and essential oil content in mint (*menthe arvensis* L.). Acta Scientiarum Agronomy. 31:101-105.
7. Bonato, C. M. and Silva, P. S. 2003. Effect of the homeopathic solution sulfur on the growth and productivity of radish. Acta Scientiarum. Agronomy 25:259-263.
8. Castro Palacio, J. C., Morejon, L. P., Velazquez Abud, L., and Govea, A. P. 2007. Stimulation of *Pinustropicalis* M. seeds by magnetically treated water. International Agrophysics 21: 173-177.
9. Grewal, H., and Maheshwari, B, L. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. Agricultural Water Management. Volume 96. Issue 8: 1229-1236.
10. Jafari, A. V., Connolly Frolich, A and Walsh, E. K. 2003. Estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. Irish Journal of Agricultural and Food Research 42: 293-299.
11. Jian-lin, W. 2011. Effect of Magnetic Field and Magnetized Water on Germination of Super-sweet Corn Seeds. Journal of Anhui Agricultural Sciences 230036
12. Kuchaki, A and Khajehoseini, M. 2004. New agriculture. Jahade-e-Daneshghahi Mashhad Press 704 Pp. (in Persian).
13. Malakuti, M. J., Baybordi, S and Tabatabayi, J. 2004. Optimize use of fertilizer. Olum Keshavarzi Press. 338 Pp. (in Persian).
14. Malakuti, M. J., Khugar, Z and Khademi, Z. 2004. New methodsin nutrition (set of article) .Sana Press. Tehran. (in Persian).
15. Maheshwari, B. L. and Grewal, H. S. 2009. Effect on vegetable crop yield and water productivity. Agriculture Water Management 96:1229-1236.
16. Murugu, F. S., Chiduza, C., yamugafata, P. N., Clark, L. J., Whalley, W. R and Finch-Savage, W. 2004. Effects of on-farm seed priming on consecutive daily sowing occasions on the emergence and growth of maize in semi-arid Zembabwe. Field Crops Research, Available online, 7 April.

17. Murugu, F. S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J., and Whalley, W. R. 2003. Effects of seed priming, aggregate size and matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). Soil and Tillage Research 74: 161-168.
18. Pinkerton, B. 1996. Forage quality. Clemson, SC: Crop and soil Environment Science department, collage of Agriculture, forest, and life science, Clemson University. 998 Pp.
19. Sajedi, N., Ardakani, M. R. 2008. Effect of Different levels of nitrogen, iron and zinc on physiological indices and forage yield of maize (*Zea mays* L.) in Markazi prov. Journal of Iranian Field Crop Research. 6 (1): 99-109. (in Persian with English abstract).
20. Samadyar, H., Shirmohamadi, K., Tagizad, F and Kadkhoda, Z. 2014. The Influence of electronic filter water (water magnets) on alkaloids hyoscine seeds and some morphological traits in two species of datura. Quarterly Plant and Ecosystem 10 (40): 58-72. (in Persian with English abstract).
21. Sharma, A and Sharma, J. J. 2004. Influence of organic and inorganic source of nutrient on tomato (*Lycopersicon esculentum*) under high hill dry temperature condition. Indian Journal of Agriculture Science 74:465-467.
22. Sleugh, B. B., Moore, K. J., Brummer, E. C., Knapp, A. D., Russelland, J., and Gibson, L. 2001. Forage value of various amaranth species at different harvest dates. Crop Sciences 41: 466-472.
23. Unyal, S. K., Awasthil, A., and Rawat, G. S. 2005. Biomass availability and forage quality of eurotia ceratoides may in the rangelands of changthang, eastern jadakh. Current Science 89:201-207.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 103-112

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۱۲-۱۰۳

Study of Morphological Characteristics and Forage Quality of *Amaranthus hypochondriacus* L. under some Seed Priming

S. Maleki khezerlu[1*]- M. Tajbakhsh[2]

Received: 19-08-2015
Accepted: 06-04-2016

Introduction

Amaranthus (*Amaranthus hypochondriacus* L.) is a broad-leaved plant that was considered as new plant in many world countries such as Iran. Studies have showed that nutritional quality of amaranthus are higher than cereals and forage crops. Using treatments before planting will result in high germination rate, fast and appropriate establishment, and play important role on agronomic yield of crops. Study of seed organic pretreatment for morphological characteristics and quality according to forage desirable quality of amaranthus, as new plant in Iran, production deficit and forage qualitative reducing in this country on recent years, can be positive step to introduce this plant as forage security source.

Materials and Methods

To study the means of morphological characteristics and forage quality of amaranthus under seed pretreatment, a trial was arranged as randomized completely block design with six treatments and three replications in research field of agricultural college of Urmia university. Treatments were including seed priming of pigeon manure (10%), concentrated vaniaze (68.39%) (three in thousand) super macro plus nano chelate fertilizer (three in thousand), magnet water, Homeopathy 12x and control. The seeds were soaked in the listed treatments for 8 hours, therefore those were brought to the initial moisture content for 24 hours at 25 ˚C and transfered to field for planting. Ground preparation was concluded in the beginning of June as furrow-ridge. Seed were placed in 1-2 cm soil depth. Evaluated traits in current study were including plant height, secondary bough number, stem diagonal and forage quality. Harvest was at flowering stage in one square meter of each experimental unit. Samples were dried and milled. Therefore, near-infrared spectroscopy (NIR) technology was used for forage quality measurement.

Results and Discussion

Results of analysis variance indicated that treatment effects on plant height and diagonal stem were not significant, but was significant for leaf number and secondary bough number. Using priming led to plant height and stem diagonal increasing, but were statistically not significant. The highest leaf number was related to magnetic water pretreatment (395 leaves in square meter), then pigeon manure (362.3 leaves in square meter). The highest secondary bough was related to magnet water pretreatment. After primed seed establishment in soil, the seeds were germinated more monotonous, faster and better than no-treatment. Actually, plants derived from primed seeds were developed root systems on the shortest time as compared with seeds without pretreatment because of desirable suction of nutrition material and water, and ecological and biological sections production. Treatment effect was significant for all traits except to ash percent. The most crud protein percent and soluble carbohydrate and digestibility dry matter was related to pretreatment of pigeon manure respectively 25.4%, 11.8% and 51.5%. The highest percentage of soluble fiber on neutral detergents and soluble fiber on acidic detergent, and crude fiber were obtained for control respectively by 59.7%, 43/03% and 26/6%. Crude protein value of forage was significantly related to digestibility percent that is one of the most important factors determining forage quality. Increasing crude fiber will result in reduction of protein and nutrition value of crops. Amaranthus was placed on desirable qualitative degree for crude protein percentage and digestibility according to grass species categories for indicators values of forage quality.

Conclusions

According to forage desirable quality of amaranthus, as new plant in Iran, production deficit and forage qualitative reducing in Iran, seed enrichment with desired elements led to better germination and growth, high production and quality of crop. According to obtained results in current study, using organic seed pretreatment

1- Ph.D. Student of Agronomy, Urmia University, Urmia, Iran
2- Professor of Agronomy, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: s.maleki_kh@yahoo.com)

led to qualitative and quantitative enhancement of amaranthus forage. Therefore, seeds treatment before planting using organic fertilizers produced in the field will lead to fertilizer preparation related the cost saving, and income value will be economically more than the cost and cost-effective for farmers.

Keywords: Amaranthus, Magnetic water, Pigeon manure, Primin

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 113-123

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۲۳-۱۱۳

بررسی اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Protulaca oleracea* L.)

حامد جوادی[1*]- پرویز رضوانی‌مقدم[2]- محمد جواد ثقه‌الاسلامی[3]- غلامرضا موسوی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه آزمایشی در سال زراعی۹۱-۱۳۹۰ در بیرجند به‌صورت کرت‌های خُردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. چهار سطح تاریخ‌کاشت (۱۵فروردین، ۳۰فروردین، ۱۵اردیبهشت و ۳۰اردیبهشت) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه سطح تراکم (۵/۵، ۸/۳ و ۱۶/۶بوته در مترمربع) به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. نتایج نشان‌داد که تأخیر در کاشت، باعث کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه، عملکرد دانه و عملکرد علوفه تَر گردید. اثر تراکم بر تمامی صفات موردمطالعه (به‌استثناء وزن ۱۰۰۰دانه) معنی‌دار بود و افزایش آن باعث کاهش تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول و افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، عملکرد علوفه تَر و عملکرد علوفه خشک گردید. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد علوفه خشک معنی‌دار بود. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد دانه می‌توان از تاریخ کاشت ۱۵فروردین و تراکم ۱۶/۶ بوته بر مترمربع استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: خرفه، شاخص برداشت، عملکرد دانه، عملکرد علوفه

مقدمه

خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گیاهی یک‌ساله و چهارکربنه از خانواده Portulacaceae است که به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی مقاوم می‌باشد (Kafi and Rahimi, 2010; Rahimi and Kafi, 2010a; Rahimi and Kafi, 2010b; Rahimi *et al*, 2010; Rahimi *et al*, 2011). این گیاه بومی ایران بوده و سابقه کشت آن به‌بیش از ۲۰۰۰سال بر می‌گردد (Asadi *et al*, 2007). خرفه از لحاظ گستردگی، هشتمین گیاه متداول در دنیا می‌باشد (Pirian and Piri, 2014). این گیاه در مناطق جنوبی کشور به‌عنوان یک سبزی مهم مورد کشت‌وکار قرار می‌گیرد. خرفه در بسیاری از کشورهای دنیا برای اهداف گوناگون از جمله تغذیه انسان، صنایع تبدیلی و دارویی کاربرد دارد. از نظر خواص دارویی، این گیاه مدر، ضد کمبود ویتامین‌ث، معالج سرفه‌های مقاوم، تصفیه‌کننده خون، تب‌بُر، مفید در ترمیم سوختگی‌ها، شُل‌کننده عضلات، ضد تشنج، ضد التهاب، کاهش‌دهنده خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، رفع تشنگی می باشد. در اندام‌های مختلف این گیاه مواد معدنی متعددی از جمله آهن، مس، منگنز، پتاسیم، کلسیم و فسفر وجود دارد. هم چنین این گیاه دارای مواد لعابی، پکتین، پروتئین، کربوهیدرات، اسیدهای چرب به ویژه اسیدهای چرب اُمگا-۳ و اُمگا- ۶، مواد آنتی‌اکسیدانت و ویتامین‌هایی از جمله ویتامین A، C، E می‌باشد (Aynanlvfr *et al*, 2014; Asadi *et al*, 2007; Ghorbanli and Kiapour, 2012; Kafi and Rahimi, 2010; Soltaninejhad *et al*, 2013).

تعیین تاریخ کاشت مطلوب برای یک گیاه زراعی از عوامل مهم جهت رسیدن به حداکثر عملکرد در گیاهان می‌باشد. در کاشت خیلی‌زود، پایین بودن دمای خاک و صدمات ناشی از یخبندان موجب استقرار ضعیف گیاهان در بهار می‌گردد. تأخیر زیاد در کاشت نیز به‌علت کوتاه شدن دوره رشد گیاه و احتمال برخورد زمان گل‌دهی با درجه‌حرارت‌های بالا اثرات نامطلوبی بر رشدونمو گیاهان می‌گذارد. Javadi, 2008 در بررسی چهار تاریخ کاشت (یک فروردین، ۱۵فروردین ،یک اردیبهشت و ۱۵اردیبهشت) در خصوص گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) دریافت که تأخیر در کاشت باعث کاهش عملکرد دانه شد. Seghatoleslami and Ahmadi Bonakdar, 2010 در بررسی اثر چهار تاریخ کاشت (۹اسفند، ۲۹اسفند، ۲۰فروردین و ۹اردیبهشت) بر عملکرد گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum gracum* L.) گزارش کردند که تأخیر در

۱- استادیار دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور
۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۳ و ۴- دانشیار گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h_javadi@pnu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.44444

کاشت سبب کاهش تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰۰دانه، بیوماس کل، شاخص برداشت و عملکرد دانه شد، اما تأثیری بر تعداد دانه در غلاف نداشت. Kalirad, 2012 در بررسی اثر پنج تاریخ کاشت (۱۵بهمن، ۲۵بهمن، پنج، ۱۵ و ۲۵اسفند) بر عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گزارش کرد که در تاریخ کاشت پنج اسفند بیش‌ترین عملکرد دانه حاصل شد.

تعیین تراکم مطلوب در کاشت گیاه نیز یکی دیگر از فاکتورهای بِه‌زراعی در افزایش عملکرد به‌شمار می‌آید. در تراکم‌های پایین به‌دلیل عدم استفاده مناسب از عوامل محیطی و نهاده‌های تولید، عملکرد قابل‌قبولی به‌دست نمی‌آید و در تراکم‌های بالا به‌دلیل افزایش رقابت بین بوته‌ها عملکرد کاهش می‌یابد. Singh *et al*, 2005 در مقایسه اثر دو فاصله ردیف ۲۲/۵ و ۳۰سانتی‌متر روی شنبلیله نشان‌دادند که در فاصله ردیف کمتر، عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته و تعداد غلاف در بوته افزایش می‌یابد. Sharma, 2000 نیز نشان‌داد که کاهش فاصله ردیف از ۶۰ به۳۰سانتی‌متر سبب افزایش عملکرد دانه و وزن ۱۰۰۰دانه شنبلیله شد. Yadav *et al*, 2000 نیز نشان‌دادند که فاصله ردیف ۳۰سانتی‌متر در مقایسه با ۴۵سانتی‌متر سبب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه شد. Elgendy *et al*, 2001 اثر فواصل بین ردیف شامل ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۰سانتی‌متر را بر گیاه ریحان معمولی (*Ocimum basilicum* L.) بررسی نمودند و گزارش کردند که افزایش فضای گیاه باعث زیادشدن تعداد شاخه‌ها، برگ‌ها و ماده خشک گیاه گردید. Tadayyon *et al*, 2014 در بررسی اثر سه تراکم بوته شامل ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ بوته در مترمربع بر عملکرد کتان (*Linum usitatissimum* L.) گزارش نمودند که با افزایش تراکم بوته، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه و شاخص برداشت افزایش یافت، اما تراکم بوته تعداد بذر در کپسول و وزن ۱۰۰۰دانه را تحت تأثیر قرار نداد.

با توجه به سازگاری خرفه به شرایط آب‌وهوایی منطقه خراسان جنوبی و نظر به‌این‌که تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نگرفته، این پژوهش با هدف تعیین تاریخ کاشت و تراکم مناسب خرفه در منطقه بیرجند انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند با مختصات جغرافیایی ۳۲درجه و ۵۲دقیقه عرض شمالی و ۵۹درجه و ۱۳دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰متر از سطح دریا به‌اجرا درآمد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک می‌باشد. میانگین ۱۵ساله بارندگی این منطقه ۱۷۶میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲درجه سانتی‌گراد است. بر اساس نتایج تجزیه خاک، منطقه موردنظر دارای بافت لوم رسی شنی، هدایت‌الکتریکی ۲/۷۴میلی‌موس بر سانتی‌متر و اسیدیته ۸/۳۸ بود. این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خُردشده در قالب بلوک کامل تصادفی با چهار تاریخ کاشت (۱۵فروردین، ۳۰فروردین، ۱۵اردیبهشت و ۳۰اردیبهشت) به‌عنوان کرت اصلی و تراکم بوته (۵/۵، ۸/۳ و ۱۶/۶بوته در مترمربع) به‌عنوان کرت فرعی در سه تکرار اجرا گردید. هر کرت فرعی شامل شش‌خط کاشت به‌طول شش‌متر بود که در دو طرف پشته‌های عریض ۰/۸متری (فاصله بین ردیف ۴۰سانتی‌متر و فاصله بین بوته برای تراکم‌های موردمطالعه به‌ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۴۵سانتی‌متر) کشت شد. فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۸متر، بین کرت‌های اصلی ۱/۶متر و بین تکرارها ۲متر در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین در نیمه دوم اسفند انجام گرفت و عملیات کاشت در تاریخ‌های تعیین شده با دست و به‌صورت ردیفی و هیرم‌کاری انجام شد. قبل از کاشت، بذور خرفه (*Portulaca oleracea* L.) به‌وسیله قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به‌میزان ۲در هزار ضدعفونی گردید. جهت دست‌یابی به تراکم‌های موردنظر، ابتدا بذور با تراکم بالا کشت شد، سپس با عمل تُنُک‌کردن در دو مرحله شش و هشت برگی، تراکم موردنظر حاصل شد. در این آزمایش براساس تجزیه خاک، ۱۰۰کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و ۱۰۰کیلوگرم در هکتار سولفات‌پتاسیم قبل از کاشت استفاده شد. هم‌چنین کود اوره به‌میزان ۳۰۰کیلوگرم در هکتار در سه مرحله (یک‌سوم قبل از کاشت و در اوایل بهار، یک‌سوم پس از چین اول و یک‌سوم پس از چین دوم) در اختیار گیاه قرار گرفت. عملیات مبارزه با علف‌های‌هرز طی سه نوبت با دست انجام پذیرفت. در طول فصل رشد آفت و بیماری خاصی مشاهده نگردید.

به‌منظور تعیین اجزاء عملکرد پنج بوته به‌طور تصادفی از هر چین انتخاب و اجزاء عملکرد شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن ۱۰۰۰دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت محاسبه شدند. عملکرد علوفه تَر پس از جداسازی دانه و توزین اندام‌های هوایی محاسبه شد سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰درجه سانتی‌گراد و به‌مدت ۷۲ساعت خشک شدند و پس از توزین آن‌ها عملکرد علوفه خشک به‌دست آمد. جهت تعیین عملکرد دانه پس از حذف ردیف‌های کناری و ۰/۵متر ابتدا و انتهای هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (زردشدن ۷۰درصد کپسول‌ها) برداشت صورت پذیرفت. بوته‌ها پس از برداشت به‌مدت چند روز در هوای آزاد قرار گرفته سپس اقدام به تکاندن آن‌ها و جمع‌آوری و توزین دانه‌ها شده و عملکرد دانه محاسبه شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان‌داد که اثر تاریخ کاشت بر تعداد کپسول در بوته در سطح یک‌درصد و بر تعداد دانه در کپسول در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول۱). مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته از تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین) با میانگین ۳۲۹/۶ حاصل شد و سایر تاریخ کاشت‌ها پس از آن در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۲). هم‌چنین بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول از تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین) با میانگین ۳۹/۴ و تاریخ کاشت دوم (۳۰فروردین) با میانگین ۳۶/۲ به‌طور مشترک حاصل شد و کمترین تعداد دانه در کپسول متعلق به تاریخ کاشت چهارم (۳۰اردیبهشت) با میانگین ۲۶/۱ بود (جدول۲). تأخیر در زمان کاشت از یک طرف باعث کوتاه‌شدن طول دوره رشد گیاه شده و از سوی دیگر، مراحل نموی حساس از جمله گل‌دهی با گرما روبرو می‌شود. این امر سبب عدم باروری کامل گل‌ها و در نتیجه کاهش تعداد گل و دانه در هر بوته می‌گردد. کاهش تعداد کپسول در بوته و کاهش تعداد دانه در کپسول در این آزمایش مؤید این امر می‌باشد. Ganjali and Fanaei, 2010 در آزمایش تأثیر تاریخ کاشت بر روی سیاه‌دانه نشان‌داد که تعداد کپسول در بوته در تاریخ کاشت ۱۵اسفند و ۲۹اسفند بیشتر از تاریخ کاشت ۱۵فروردین بود. Rassam *et al*, 2006 در آنیسون (*Pimpinella anisum* L.)، Farhadi *et al*, 2012 در کرچک (*Ricinus communis* L.)، Javadi, 2008 در سیاه‌دانه، Singh *et al*, 2005 و Gowda *et al*, 2006 در شنبلیله (*Trigonella foenum gracum* L.) نیز کاهش تعداد واحد زایشی در بوته را به‌دلیل تأخیر در کاشت گزارش کردند. Korla and Saini, 2003 افزایش تعداد غلاف در بوته شنبلیله را با تأخیر در کاشت از شش دسامبر (۱۵شهریور) تا شش اکتبر (۱۴مهر) و کاهش آن را با تأخیر بیشتر در زمان کاشت گزارش کرده‌اند.

اثر تراکم کاشت بر تعداد کپسول در بوته در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۱). در بین تراکم‌های مختلف کاشت، بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته متعلق به تراکم ۵/۵ بوته در مترمربع بود و با افزایش تراکم، از تعداد کپسول در بوته کاسته شد (جدول۳). کاهش تعداد کپسول در بوته در تراکم‌های بالا را می‌توان به وجود فضای کم برای رشد بوته‌ها نسبت داد، زیرا با افزایش تراکم بوته در اثر افزایش رقابت بین بوته‌ای، سهم هر گیاه در استفاده از نور، فضا، عناصر غذایی و سایر منابع کاهش یافته و بنابراین پتانسیل تولید کپسول در بوته کاهش می‌یابد. Dorry, 2006 کاهش تعداد سنبله در بوته اسفرزه (*Plantago ovata*)، Norozpour and Rezvani، Moghaddam, 2006، Ghosh *et al*, 1981 و Kizil and Toner, 2005 کاهش تعداد کپسول در بوته سیاه‌دانه و Kochaki *et al*, 2007 نیز کاهش تعداد چتر در بوته رازیانه (*Foeniculum vulgare*) را با افزایش تراکم بوته گزارش کردند. با وجود این Sabagh Nekonam and Razmjoo, 2007 گزارش کردند که افزایش تراکم از ۸۰ به ۱۶۰بوته در متر مربع تأثیر معنی‌داری بر تعداد سنبله در بوته اسفرزه نداشت. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار نبود (جدول۱).

اثر تراکم کاشت بر تعداد دانه در کپسول در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۱). بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول متعلق به تراکم ۵/۵بوته در مترمربع بود و با افزایش تراکم، از تعداد دانه در کپسول کاسته شد (جدول۳). کاهش تعداد دانه در کپسول در تراکم‌های بالا را می‌توان به گرده‌افشانی ضعیف و عقیم‌شدن گل‌ها به‌دلیل سایه‌اندازی در مرحله گل‌دهی نسبت داد که باعث شده تعداد گل‌های تلقیح شده کاهش یابد. از طرفی دیگر، در تراکم‌های بالا به‌دلیل رقابت در جهت نور و جذب مواد غذایی گیاه انرژی و توان فتوسنتزی بیشتری صرف رشد رویشی نموده و کاهش عرضه مواد فتوسنتزی به سمت مقصدهای فیزیولوژیکی موجود در کپسول باعث سقط جنین و کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌گردد. Norozpour and Rezvani، Moghaddam, 2006، Ghosh *et al*, 1981 و Kizil and Toner, 2005 در سیاه‌دانه گزارش کردند که افزایش تراکم تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول نداشت. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر تعداد دانه در کپسول معنی‌دار نبود (جدول ۱).

اثر تاریخ کاشت بر وزن ۱۰۰۰دانه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین وزن ۱۰۰۰دانه از تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین) با میانگین ۰/۳۷گرم حاصل شد و با تأخیر در کاشت از وزن ۱۰۰۰دانه کاسته شد (جدول۲). وزن ۱۰۰۰دانه صفتی است که کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد (Dorry, 2006; Mc Neil, 1991; Sabagh Nekonam and Razmjoo, 2007). اما در این مطالعه تأخیر در کاشت باعث کاهش وزن ۱۰۰۰دانه گردید. وزن ۱۰۰۰دانه به شرایط اقلیمی بعد از گل‌دهی تا رسیدگی (دوره پُرشدن دانه) بستگی دارد. افزایش درجه‌حرارت بیش از حد مطلوب سبب کوتاه شدن دوره پُرشدن دانه و در نتیجه وزن ۱۰۰۰دانه شد. کوتاه شدن دوره مؤثر پُرشدن دانه در کلزا (*Brassica napus* L.) با تأخیر در کاشت توسط Berglund and Mckay, 2002 گزارش شده است. از طرفی در شرایط گرم‌تَر، میزان تنفس غلاف‌ها و مصرف شیره پرورده افزایش یافته و نهایتاً درصد دانه‌های سبک و پوک افزایش می‌یابد. Farhadi *et al*, 2012 در مطالعه شش تاریخ کاشت در کرچک گزارش کردند که تأخیر در کاشت سبب کاهش وزن ۱۰۰۰دانه گردید. Sheoran *et al*, 1999 در مقایسه اثر سه تاریخ کاشت ۱۶نوامبر (۲۵آبان) ، یک و ۱۶دسامبر (۱۰ و ۲۵آذر) روی شنبلیله نشان‌دادند که تاریخ کاشت اول دسامبر (۱۰آذر) بیش‌ترین

وزن ۱۰۰۰دانه را دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس و میانگین مربعات اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه

Table 1- Analysis of variance (mean square) of the effect of sowing date and plant density on yield and its components of common purslane (*Protulaca oleracea* L).

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Df	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن ۱۰۰۰دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield
بلوک Replication	2	568.5 $^{n.s}$	202.02 $^{n.s}$	0.0001 $^{n.s}$	1898112.6 **	54248766.1 **	44.1 $^{n.s}$	2909036199.01 **	38647722.4 **
تاریخ کاشت Sowing date (A)	3	41078.4 **	290.1 *	0.005 **	707339.4 *	11772882.4 $^{n.s}$	48.5 $^{n.s}$	1248399894.4 *	7938806.5 $^{n.s}$
خطای اول Error a	6	4943.5	62.1	0.0001	140240.1	3217268.6	13.6	178772080.9	2630479.1
تراکم بوته Plant density (B)	2	53567.5 **	2441.7 **	0.0001 $^{n.s}$	11383305.3 **	120501802.7 **	98.8 **	7708143390.6 **	60149447.02 **
تاریخ کاشت × تراکم بوته Interaction (A×B)	6	3969.4 $^{n.s}$	46.9 $^{n.s}$	0.001 $^{n.s}$	170585.5 $^{n.s}$	7962317.1 *	26 $^{n.s}$	202286747.05 $^{n.s}$	5083040.3 **
خطای دوم Error b	16	1836.9	44.1	0.0001	177609.4	23651207.7	12	104647051.9	1637977.4
ضریب تغییرات CV (%)		18.4	19.6	4.9	26.4	22	15.3	19.9	23.9

**، * و $^{n.s}$ به‌ترتیب به مفهوم معنی‌دار در سطح یک‌درصد، پنج‌درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

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

اثر تراکم و اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر وزن ۱۰۰۰دانه معنی‌دار نبود (جدول۱). همان‌گونه که اشاره شد، وزن ۱۰۰۰دانه از اجزایی است که بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده است. Sabah Nekonam and Razmjoo,2007، Mc Neil, 1991 و Dorry, 2006 در اسفرزه، Kochaki *et al*, 2007 در رازیانه، Seghatoleslami and Ahmadi Bonakdar, 2010 و Yadav *et al*, 2000 در شنبلیله، Norozpoure and Rezvani Moghaddam, 2006، Ghosh *et al*, 1981 در سیاه‌دانه نیز گزارش نمودند، وزن ۱۰۰۰دانه تحت تأثیر تراکم قرار نگرفت. این در حالی‌است که Sharma, 2000 افزایش وزن ۱۰۰۰دانه را در تراکم‌های بیشتر گزارش کرده است.

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول۱). بیش‌ترین عملکرد دانه از تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین) با میانگین ۱۹۲۷کیلوگرم در هکتار حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تاریخ کاشت دوم (۳۰فروردین) با میانگین ۱۷۱۱کیلوگرم در هکتار نداشت (جدول۲). دو تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰اردیبهشت به‌ترتیب با میانگین ۱۲۸۷ و ۱۴۶۱کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار داشته و کمترین عملکرد دانه را به‌خود اختصاص دادند (جدول۲). در تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین)، با توجه به مساعدبودن شرایط محیطی به‌ویژه نور و درجه‌حرارت و بیشتر بودن طول دوره رشد، گیاه از این شرایط بهتر استفاده نموده و تولید مواد فتوسنتزی را افزایش داده و نهایتاً با افزایش زیست‌توده باعث افزایش عملکرد دانه گردیده است. از طرف دیگر عملکرد دانه متأثر از اجزای عملکرد بوده و تغییر در هر جزء، باعث ایجاد تغییر در کل عملکرد دانه می‌گردد. تعداد کپسول در بوته یکی از اجزای مهم تشکیل‌دهنده عملکرد دانه است. با توجه به‌این‌که کپسول در برگیرنده دانه است و نزدیک‌ترین منبع به دانه محسوب می‌گردد و فتوسنتز آن‌ها در زمان سبزبودن نقش مهمی در پُرکردن دانه‌ها دارد. لذا بالاتربودن عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های زودتر می‌تواند به‌دلیل افزایش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن ۱۰۰۰دانه باشد. مطالعات انجام شده توسط Javadi, 2008 در سیاه‌دانه، Galavi *et al*, 2008، Norozpour and Rezvani Moghadam, 2006، Mosavi *et al*, 2012 در اسفرزه، Seghtoleslami and Ahmadi Bonakdar, 2010، Maletic and Jevdjovic, 2007، Bhattacharya *et al*, 2006 در شنبلیله نیز نشان‌داده که تأخیر در کاشت سبب کاهش عملکرد دانه شد.

اثر تراکم بر عملکرد دانه در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش تراکم از ۵/۵ به ۱۶/۶بوته در مترمربع باعث افزایش عملکرد دانه شد (جدول۳). افزایش عملکرد دانه در تراکم‌های بیشتر در آزمایش‌های Singh *et al*, 2005، Gowda *et al*, 2006، Yadav *et al*, 2000، Seghtoleslami and Ahmadi Bonakdar, 2010 در شنبلیله، Norozpour and Rezvani Moghaddam, 2006، Ghosh *et al*, 1981 و Kizil and Toner,

2005 در سیاه‌دانه نیز مشاهده شده است. از آنجاکه عملکرد دانه نتیجه فعالیت یک جامعه گیاهی در طول فصل رشد و نمو استفاده از عوامل محیطی است (Bhattacharya *et al*, 2006) تراکم کم سبب تولید مواد فتوسنتزی کمتر و کاهش عملکرد دانه شده است. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۱).

عملکرد بیولوژیک

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۱). با وجود کاهش عملکرد بیولوژیک با تأخیر در کاشت، میزان این کاهش معنی‌دار نبود (جدول۲). کوتاه شدن دوره رشد رویشی از دلایل مهم کاهش عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی در تاریخ کاشت‌های تأخیری است. این موضوع توسط Khajehpour, 2005 در گلرنگ، Akbarinia *et al*, 2006 در رازیانه و سیاه‌دانه و Javadi, 2008 در سیاه‌دانه نیز گزارش شده است.

اثر تراکم کاشت بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک از تراکم ۱۶/۶بوته در متر مربع حاصل شد و پس از آن تراکم ۸/۳ و ۵/۵ بوته در مترمربع در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). داشتن سطح برگ بیشتر و جذب مؤثرتَر نور خورشید، فتوسنتز بالاتر و استفاده بهتر از عوامل محیطی دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در تراکم‌های بالا نسبت به سایر تراکم‌ها بود. Sabagh Nekonam and Razmjoo, 2007 در اسفرزه، Norozpour and Rezvani Moghadam, 2006 در سیاه‌دانه نیز افزایش عملکرد بیولوژیک را با افزایش تراکم بوته در واحد سطح گزارش کردند.

اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد بیولوژیک در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک از تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین) و تراکم ۱۶/۶بوته در مترمربع با میانگین ۱۳۶۰۰کیلوگرم در هکتار حاصل شد و کمترین آن متعلق به تراکم ۵/۵ بوته در مترمربع در تمامی تاریخ کاشت‌های موردمطالعه بود (جدول ۴). در تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین)، با توجه به مساعدبودن شرایط محیطی به‌ویژه نور و درجه‌حرارت و بیشتربودن طول دوره رشد، گیاه از این شرایط بهتر استفاده نموده و تولید مواد فتوسنتزی را افزایش داده هم‌چنین در تراکم‌های بالا به‌دلیل جذب مؤثرتَر نور خورشید از طریق افزایش سطح برگ، میزان فتوسنتز افزایش یافته و نهایتاً با افزایش زیست‌توده باعث افزایش عملکرد دانه گردیده است.

شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱). با این‌وجود بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین ۲۵/۷درصد از تاریخ کاشت دوم (۳۰فروردین) حاصل شد و کمترین آن متعلق به تاریخ کاشت سوم (۱۵اردیبهشت) بود. اثر تراکم بر شاخص برداشت در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۱). بیش‌ترین شاخص برداشت از تراکم ۱۶/۶بوته در متر مربع با میانگین ۲۵/۹۲درصد حاصل شد و کمترین آن به‌طور مشترک متعلق به تراکم ۵/۵ و ۸/۳بوته در مترمربع بود (جدول ۳). احتمالاً شاخص سطح برگ بالا و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر باعث انتقال مناسب‌تَر مواد فتوسنتزی به دانه و افزایش شاخص برداشت گردیده است. اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱).

عملکرد علوفه تَر و خشک

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد علوفه تَر در سطح پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین عملکرد علوفه تَر از تاریخ کاشت اول (۱۵ فروردین) با میانگین ۶۷۲۷۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن از تاریخ کاشت چهارم (۳۰ اردیبهشت) با میانگین ۳۹۳۷۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بین تاریخ کاشت دوم (۳۰ فروردین) و تاریخ کاشت سوم (۱۵ اردیبهشت) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت(جدول ۲). در تاریخ کاشت اول (۱۵ فروردین) طولانی شدن دوره رشد رویشی منجر به اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر و استفاده مناسب‌تر از عوامل محیطی گردیده و این امر باعث شد عملکرد علوفه تَر افزایش یابد.

اثر تراکم کاشت بر عملکرد علوفه تَر در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول۱). افزایش تراکم از ۵/۵ به ۱۶/۶بوته در مترمربع عملکرد علوفه تَر را افزایش داد (جدول۲). اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد علوفه تَر معنی‌دار نبود (جدول ۱).

اثر تاریخ کاشت بر عملکرد علوفه خشک معنی‌دار نبود (جدول ۱). با وجود کاهش عملکرد علوفه خشک با تأخیر در کاشت، میزان این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۲). اثر تراکم و اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد علوفه خشک در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش تراکم از ۵/۵ به ۱۶/۶بوته در مترمربع، عملکرد علوفه خشک را افزایش داد (جدول ۲). نتایج اثر متقابل دو تیمار موردبررسی نشان‌داد که بیش‌ترین عملکرد علوفه خشک از تاریخ کاشت اول (۱۵فروردین) و تراکم ۱۶/۶بوته بر مترمربع با میانگین ۱۰۲۹۰کیلوگرم در هکتار حاصل شد و کمترین آن به تاریخ کاشت ۳۰فروردین و تراکم ۵/۵ بوته بر متر مربع با میانگین ۲۵۲۹کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۴). در تاریخ کاشت اول (۱۵ فروردین)، با توجه به مساعدبودن شرایط محیطی به‌ویژه نور و درجه‌حرارت و بیشتر بودن طول دوره رشد، تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافت. هم‌چنین در تراکم‌های بالا به‌دلیل جذب مؤثرتر نور خورشید از طریق افزایش سطح برگ، میزان فتوسنتز افزایش یافته و نهایتاً باعث افزایش عملکرد علوفه خشک گردیده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و عملکرد علوفه خرفه

Table 2- Mean comparison of the effect of sowing date on seed yield and its components and forage yield of common purslane (*Protulaca oleracea* L).

تاریخ کاشت Sowing date	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن ۱۰۰۰دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Grain Yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد علوفه تر Fresh forage Yield (kg ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage Yield (kg ha^{-1})
۱۵ فروردین 4 April	329.6 a	39.4 a	0.37 a	1927 a	8653 a	21.3 ab	67270 a	6930 a
۳۰ فروردین 21 April	226.5 b	36.2 a	0.34 b	1711 ab	6833 ab	25.7 a	51220 b	5229 ab
۱۵ اردیبهشت 5 May	192.1 b	34 ab	0.32 c	1287 b	6259 b	20.5 b	46950 b	4973 ab
۳۰ اردیبهشت 20 May	181.5 b	26.1 b	0.32 c	1461 b	6216 b	23.06 ab	39370 c	4604 b

میانگین های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on Duncan multiple range test ($p \leq 0.05$).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه

Table 3- Mean comparison of the effect of plant density on yield and its components of common purslane (*Protulaca oleracea* L).

تراکم (بوته در مترمربع) Plant density (Plant m^{-2})	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن ۱۰۰۰دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Grain Yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد علوفه تر Fresh forage Yield (kg ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage Yield (kg ha^{-1})
5.5	305.3 a	49.8 a	0.34 a	881.8 b	4594 b	20.45 b	28920 c	3600 b
8.3	217.9 b	29.7 b	0.34 a	1202 b	5793 b	21.67 b	45910 b	4688 b
16.6	174.1 c	22.3 c	0.34 a	2706 a	10580 a	25.92 a	78770 a	7972 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

Means with the same letters are not significantly different based on Duncan multiple range test ($p \leq 0.05$).

جدول٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد علوفه خشک در گیاه خرفه

Table 4- Mean comparison of sowing date and plant density interaction effect on biological yield and dry forage yield of common purslane (*Protulaca oleracea* L)

تاریخ کاشت × تراکم بوته Sowing date × Plant density		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg ha^{-1})
۱۵ فروردین	5.5	4656 f	3747 def
4 April	8.3	7702 cde	6141 bcd
	16.6	13600 a	10290 a
۳۰ فروردین	5.5	3432 f	2529 f
21 April	8.3	6123 def	4683 def
	16.6	10940 b	8153 ab
۱۵ اردیبهشت	5.5	4027 f	3358 ef
5 May	8.3	4864 ef	3995 def
	16.6	9886 bc	7565 bc
۳۰ اردیبهشت	5.5	6262 def	4767 def
20 May	8.3	4482 f	3544 ef
	16.6	7904 cd	5500 cde

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

Means with the same letter are not significantly different based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

با توجه به مساعد بودن شرایط اقلیمی منطقه خراسان جنوبی از لحاظ وجود ساعات آفتابی بالا در روز و طول دوره رشد مناسب برای کاشت خرفه، این گیاه در تاریخ کاشت زودتر با تولید سه چین از عملکرد دانه و علوفه مناسب‌تری نسبت به سایر تاریخ کاشت‌ها برخوردار بود. هم‌چنین تراکم‌های بالا به‌دلیل جذب مؤثرتر نور از کارایی بالاتری بهره‌مند بودند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد دانه و علوفه می‌توان از تاریخ کاشت ۱۵فرودین و تراکم ۱۶/۶بوته بر متر مربع در منطقه بیرجند استفاده نمود.

References

1. Aynanlvfr, M., Omidi, H., and Pazky, A. R. 2014. Morphological changes, agricultural and oil content Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Effect of water and fertilizer, bio/chemical nitrogen. Herb Quarterly 12 (4): 170-184. (in Persian with English abstract).
2. Asadi, A. R., Hassandaught, M. R., and Dashti, F. 2007. Comparison of fatty acids, oxalic acid, and mineral varieties of seeds and leaves of purslane Iranian foreign examples. Journal of Food Science 3 (3): 49-54. (in Persian with English abstract).
3. Asgharipoor, M. and Rezvanimoghadam, P. 2007. Effects of planting date and different values of the quantity and quality of *Plantago ovata*. Journal of Food Science and Technology 19(2): 93-103. (In Persian with English Abstract).
4. Akbarinia, A., Khosravi, M., Rezaei, M., Sharifi, A., and Ashurabad, E. 2006. Comparison of spring and autumn sowing fennel, ajowan, anise, nigella irrigated and rainfed conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 21 (3): 319-324.
5. Bhattacharya, M., Chatterjee, R., Pan, S., Sharangi, A. B., Pariari, A., and Chattopadhyay, P. K. 2006. Growth and yield of different cultivars of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.) as influenced by dates of sowing. Orissa Journal of Horticulture 34 (1): 69-71.
6. Berglund, D. R., and Mckay, K. 2002. Canola production. University of Dakota. A- 686 (Revised): 1-33.
7. Dorry, M.A. 2006. Effects of seed rate and planting dates on seed yield and yield components of Plantago ovata in dry farming. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22 (3): 262-269.
8. Elgendy, S. A., Hosni, A. M., Ahmed, S. S., Omer, E. A. and Reham, M.S. 2001. Variation in herbage yield and oil composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) var." Grande verde" grown organically in a newly in reclaimed land in Egypt. Arab Universities Journal of Agriculture Science 9(2): 915-33.
9. Farhadi, N., Souri, M. K., and Omidbaigi, R. 2012. Effect of sowing date on yield, yield components and oil percentage of castor bean. Journal of Crop Production 5 (1): 89-104. (in Persian with English abstract).
10. Ghorbanli, M. and Kiapour, A. 2012. Copper-induced changes on pigments and activity of non-enzimatic and

enzymatic defence systems in *Portulaca oleracea* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28 (2): 235-247. (in Persian with English abstract).
11. Galavi, M., Ramroudi, M., Mansouri, S. 2008. Effect of sowing dates on yield, yield components and quality of isabgol (*Plantago ovata*) in sistan region. Pajouhesh and Sazandegi 20(4): 135-140. (in Persian with English abstract).
12. Ganjali, H., and Fanaei, H. 2010. Effects of sowing date and plant density on yield and yield components of *Nigella sativa*. Report on Research Project, University of Zahedan, 98 pages. (in Persian).
13. Ghosh, D., Roy, K., and Malic, S. C. 1981. Effect of fertilizers and spacing on yield and other characters of black cumin (*Nigella sativa* L.). Indian Agriculture Journal 25: 191-197.
14. Gowda, M. C., Halesh, D. P., and Farooqi, A. A. 2006. Effect of dates of sowing and spacing on growth of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). Biomedicine 1 (2): 141-146.
15. Javadi, H. 2008. Effect of sowing date and nitrogen on yield and yield components of *Nigella Sativa L.* Iranian Journal of Field Crops Research 6 (1): 59- 66. (in Persian with English abstract).
16. Kalirad, A. 2012. Effect of cultivating date on qualitative and quantitative traits of *Cuminum cyminum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28(1): 103-108. (In Persian with English Abstract).
17. Kafi, M., and Rahimi, Z. 2010. Effect of Salinity on Germination Characteristics of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (4): 615-621. (in Persian with English abstract).
18. Kochaki, A. R., Nasirmohalati, M., and Azizi, G. 2007. Effects of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components *Foeniculum vulgare*. Iranian Journal of Field Crops Research 4 (1): 131- 140. (in Persian with English abstract).
19. Korla, B. N., and Saini, A. 2003. Effect of dates of sowing and cutting on seed yield of fenugreek. Haryana Journal of Horticultural Sciences 32 (1/2): 120-122.
20. Khajehpour, M. R. 2005. Industrial Plants. Jehad University Press, Isfahan, 546 p. (in Persian).
21. Kizil, S., and Toner, O. 2005. Effect of row spacing on seed yield, yield components, fatty oil and essential oil of *Nigella sativa* L. Crop Research (Hisar) 30 (1): 107-112.
22. Mosavi, G. R., Segatoleslami, M. J., and Pooyan, M. 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (4): 681-699. (in Persian with English abstract).
23. Maletic, R., and Jevdjovic, R. 2007. Sowing date- the factor of yield and quality of fenugreek seed (*Trigonella foenum gracum* L.). Journal of Agricultural Sciences, Belgrade 52 (1): 1-8.
24. McNeil, D. L. 1991. Changes in yield Components of *Plantago ovata* Forsk in northern Western Australia in response to sowing date and sowing rate. Tropical Agriculture 68: 191-195.
25. Norozpour, Gh., and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effects of different irrigation and plant density on yield and yield components of *Nigella Sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research 3 (2): 305- 315. (in Persian with English abstract).
26. Pirian, K., and Piri, Kh. 2014. Callus induction in hairy roots of *Portulaca oleracea* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (2): 231-238. (in Persian with English abstract).
27. Rahimi, Z., and Kafi, M. 2010 a. Effects of salinity and silicon application on biomass accumulation, sodium and potassium content of leaves and roots of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Journal of Water and Soil 24 (2): 367-374. (in Persian with English abstract).
28. Rahimi, Z., and Kafi, M. 2010 b. Estimating cardinal temperatures and effect of different levels of temperature on germination indices of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Journal of Plant Protection 24 (1): 80-86. (in Persian with English abstract).
29. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khozaie, H. R. 2010. Effect of salinity and silicon on yield and yield components of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8 (3): 481-488. (in Persian with English abstract).
30. Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A., and Khazaie, H. R. 2011. Effect of salinity and silicon on some morphophysiologic characters of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 359- 374. (in Persian with English abstract).
31. Rassam, Gh. A., Nadaf, M., and Sefedkon, F. 2006. Effect of planting date and plant density on yield and yield components Anise (*Pimpinella anisum*) Pajouhesh and Sazandegi 20 (2): 127- 133.
32. Soltaninejhad, F., Fallah, S., and Heidari, M. 2013. Effect of different sources and rates of nitrogen fertilizer on the growth and biomass production of purslane (*Portulaca oleracea*). Journal of Crop Produaction 6 (3): 125-143. (in Persian with English abstract).
33. Seghatoleslami, M. J., and Ahmadi Bonakdar, Kh. 2010. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26 (2): 274- 265. (in Persian with English abstract).
34. Sharma, S. K., 2000. Response of nitrogen and spacing on fenugreek seed production. Horticultural Journal 13 (2): 39-42.

35. Singh, S., Buttar, G. S., Singh, S. P., and Brar, D. S. 2005. Effect of different dates of sowing and row spacings on yield of fenugreek (*Trigonella foenum gracum*). Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences 27 (4): 629-630.
36. Sheoran, R. S., Pannu, R. K., and Sharma, H.C. 1999. Influence of sowing time and phsphorus fertilization on yield attributes and yield of fenugreek: (*Trigonella foenum gracum* L.) genotypes. Indian Journal of Arecanut Spices and Medicinal Plants 1 (1): 15-18.
37. Sabagh Nekonam, M., and Razmjoo, K. H. 2007. Effect of plant density on yield, yield components and effective medicine ingredients of blond psyllium (*Plantago ovata* Forsk) Accession. International Journal of Agriculture and Biology 9 (4): 606-609. (in Persian with English abstract).
38. Tadayyon, A., Torabian, S., and Tadayon, M. R. 2014. Effect of plant density on morphological and agronomical traits of four varieties of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (4): 621-633.
39. Yadav, J. S., Jagdev, S., Virender, K., and Yadav, B. D. 2000. Effect of sowing time, spacing and seed rate on seed yield of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.) on light textured soil. Haryana Agricultural University Journal of Research 30 (3/4): 107-111.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 113-123

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۲۳-۱۱۳

Effect of Sowing Date and Plant Density on Yield and Yield Components of Common Purslane (*Protulaca Oleracea* L.)

H. Javadi[1]* - P. Rezvani Moghaddam[2]- M. J. Seghatoleslami[3]- Gh. R. Mosavi[4]

Received: 15-02-2015
Accepted: 15-09-2015

Introduction

Purslane (*Portulaca oleracea* L.) is one-year and C_4 plant of the family Portulacaceae. Purslane is a drought- and salt-tolerant plant, which contains high amounts of beneficial omega-3 fatty acids and antioxidant vitamins. Make it a prime candidate to form edible landscape in areas with dry conditions and salty soils, which are often present together where land is irrigated. Purslane seeds provide nutritional value, and have beneficial health effect on body specially in preventing cardiovascular, cancer and hypertension (high blood pressure) diseases, because it contains omega-3 and omega-6 fatty acids and other nutrients such as antioxidants, tocopherols and dietary fibre.

Materials and Methods

This study was conducted in the 2011 growing season at Agricultural Research Station of Islamic Azad University, Birjand (Latitude: 32°53'N; Longitude: 59°13'E and Elevation above sea level: 1480 m), Iran. Climate in this area is semi-dry to dry (annual rainfall is about 176 mm, maximum and minimum temperature are 39.1 and -17 degrees centigrade, respectively). The soil of the field was Sandy clay loam with pH 8.38 and with an EC of 2.74 m. mohs.cm^{-1}. In this study, the effect of four sowing dates (4 April, 21 April, 5 May and 20 May) and three plant densities (5.5, 8.3 and 16.6 plants m^{-2}) were investigated as main plot and sub plot, respectively in a split plot design based on randomized complete blocks with 3 replications. Each plot was 2.4m×6m with six planting rows. The space between rows, plots and replications was 0.4, 0.8 and 2 m, respectively. The field had been left fallow in the previous year. Sowing was done manually and was wet planting. Irrigation was employed with an interval of 4 days immediately after planting for uniform emergence until establishment of seedlings and after that continued weekly. To achieve the desired density, the seed was planted with high density, then the operation in two stages six and eight-leaf thinning, the density was obtained. According to the results of soil test, 100 kg/ha Triple superphosphate and 100 kg/ha soleplate potassium was applied to the soil before final disking. Nitrogen fertilizer was applied 300 kg/ha (as 1/3 at sowing, 1/3 at first harvest and 1/3 at second harvest) in the form of urea. Weed control was done manually in three stages. There was no specific pests and diseases during the growing season. In this study, we evaluated traits such as number of capsules per plant, number of seeds per capsule, 1000 seed weight, seed yield, biological yield, harvest index and forage yield. All statistical calculations were carried out by MSTATC software and the means of the studied traits were compared by Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that delay in sowing date, reduced the number of capsules per plant, number of seeds per capsule, 1000 seed weight, grain yield and forage yield. For each 15-day delay in planting, seed yield reduced by 12.6%, 49.7% and 31.8% respectively. In planting 15 April, optimum environmental conditions such as light, temperature and longer growing period, resulted in hgher plant photosynthetic and thus biomass and grain yield increased. Effects of plant density on all measured traits (with the exception of 1000 seed weight) were significant. Increasing plant density decreased all measured traits with exception of number of capsules per plant and number of seeds per capsule. The planting density of 16.6 plants m^{-2} compared to 8.3 and 5.5 plants m^{-2}, reduced the grain yield 55.6 and 67.4 % respectively. In the low densities, due to low leaf area, photosynthetic rate and biomass decreased and the seed yield was low. Interaction between sowing date and plant density on biological yield and dry matter yield were significant. Highest biological yield was of sowing date 15 April and plant density 16.6 plants m^{-2} and the lowest, in plant density of 5.5 plants m^{-2} in all sowing dates studied. Highest

1- Assistant Professor, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
2- Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3, 4- Associate Professor of Department of Agronomy, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: h_javadi@pnu.ac.ir)

dry matter yield obtained from sowing date 15 April and plant density of 16.6 plants m^{-2} and the lowest, was for sowing date 21 April and plant density of 5.5 plants m^{-2}.

Conclusions

Sowing date of 4 April and plant density of 16.6 plant m^{-2} can be recommended to obtain high seed and biomass yield of purslane.

Keywords: *Protulaca oleracea* L., Seed yield, Forage yield, Harvest index

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 124-135

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۳۵-۱۲۴

بهبود رشد و عملکرد گندم با استفاده از کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش رطوبتی

ندا وهبی[۱]- یحیی امام[۲*]- هادی پیرسته انوشه[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۸

چکیده

هرچند تاثیر مفید کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش خشکی به‌طورکلی پذیرفته شده است، لیکن، انجام پژوهش‌های کاربردی با هدف مقایسه انواع تنظیم‌کننده‌ها برای بهینه کردن مصرف آن‌ها ضرورت دارد. به‌منظور بررسی اثر سه تنظیم‌کننده رشد کلرمکوات‌کلراید، سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم روشن تحت شرایط متفاوت تنش رطوبتی (دامنه‌ای از شدت‌های ملایم تا شدید خشکی) پژوهشی در دو شرایط کنترل‌شده و مزرعه در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای به ترتیب به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و آزمایش کرت‌های یک بار خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش رطوبتی و افزایش شدت آن سطح برگ پرچم، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را کاهش داد، لیکن کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود همه اجزای عملکرد دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید. با این وجود، تاثیر کلرمکوات‌کلراید از سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بیشتر بود، به‌طوری‌که محلول‌پاشی این سه تنظیم‌کننده با افزایش عملکرد دانه به ترتیب به‌مقدار ۲۰/۷، ۱۳/۸ و ۷/۲۴ درصد در آزمایش گلخانه‌ای و به مقدار ۱۸/۳، ۱۲/۲ و ۸/۱ درصد در آزمایش مزرعه‌ای همراه بود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که گرچه تنش رطوبتی عملکرد دانه گندم را کاهش داد، لیکن تنظیم کننده‌های رشد توانستند بخشی از این افت عملکرد را جبران کنند. به‌علاوه، محلول پاشی کلرمکوات‌کلراید قابلیت بررسی بیشتری را به عنوان رهیافتی برای افزایش تولید در شرایط محدودیت رطوبت داراست.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، عملکرد دانه، کندکننده رشد

مقدمه

گیاهان زراعی اغلب در دوره‌ای از زندگی خود با کمبود آب مواجه می‌شوند. کمبود آب در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد و پیش‌بینی می‌شود که با تغییرات سریع در اقلیم جهانی، خشکی در مناطق نیمه‌خشک و معتدل افزایش یابد. پاسخ گیاهان زراعی به تنش خشکی شامل سازوکارهای پیچیده‌ای است که تغییرات مولکولی، متابولیسمی، فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک را در برمی‌گیرد (Hopkins and Huner, 2004). تنش خشکی با تسریع مراحل نموی و کوتاه کردن طول دوره پرشدن دانه باعث کاهش تعداد و وزن تک دانه شده که در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Gooding *et al*., 2003).

پرهزینه بودن کارهای اصلاحی، وجود ارقام متنوع که برای هر منطقه و شرایط آب و هوایی فرق می‌کند، دخالت ژن‌های متعدد و اثر افزایشی آنها در پاسخ به تنش خشکی باعث می‌شود که اصلاح ارقام مناسب برای مناطق خشک به کندی انجام شود (Evans, 1993). بنابراین، استفاده از روش‌های جایگزین نظیر کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، با هدف بهبود عملکرد در چنین شرایطی توجیه‌پذیر خواهد بود. در طی دهه‌های گذشته افزایش عملکرد گیاهان از طریق کشت ارقام پرمحصول، عملیات به‌زراعی مانند کوددهی مناسب و کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها بدست می‌آمد؛ لیکن، به‌نظر می‌رسد در آینده این افزایش عملکرد از راه تنظیم رشد و نمو گیاه از طریق استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد خواهد بود. در اوایل دهه ۱۹۰۰، این جمله که: «بدون مواد رشد گیاهی، رشدی وجود ندارد» معروف شد (Arteca, 1995). امروزه به‌طورکلی پذیرفته شده است که مواد رشد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۲- استاد، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: Yaemam@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.47584

گیاهی در سراسر زندگی گیاهان یک نقش تنظیم‌کنندگی بـه عهـده دارند. مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی برای تعدیل رشد گیاهان زراعی و تغییر نسبت تسهیم مواد پرورده به‌کار می‌رونـد (Arteca, 1995). از این مواد تنظیم‌کننده رشد می‌توان به کلرمکوات کلراید، سالیسـیلیک اسید و جاسمونیک اسید اشاره کرد.

تاثیر تنظیم‌کنندگی رشد کلرمکوات کلراید (سایکوسل) نخسـتین بار در دهه ۱۹۶۰، در طیف وسیعی از گیاهان نشان داده شد و هـدف اولیه از کاربرد کلرمکوات کلراید در گیاهان زراعی افزایش تحمل بـه خوابیـدگی سـاقه بـود (Emam and Niknejad, 2011). نتـایج پژوهش‌های بعدی نشان داد که کاربرد کلرمکـوات کلرایـد حتـی در غیاب خوابیدگی هم باعث افزایش عملکرد دانه مـی‌شـود (Ma and Smith, 1992). کلرمکوات کلراید با اختلال در ابتدای مسیر بیوسنتز جیبرلیک اسید مانع از فعالیت آنزیم انت کائورون سنتتاز[1] شده و ارتفاع بوته‌ها را کاهش مـی‌دهـد و بـه همـین علـت بـه آن تنظـیم‌کننـده ضـدجیبرلینی اطـلاق مـی‌شـود (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان، یک تنظیم‌کننده‌ی رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی که به‌وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود تقریبا در تمامی گیاهان وجـود دارد و در غلظـت‌هـای کـم بـر بسـیاری از فرایندهای فیزیولوژیک تـاثیر مـی‌گـذارد (Arteca, 1995). کـاربرد خارجی سالیسیلیک اسید باعث افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی ماننـد خشـکی (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012a; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b) و شوری (Shakirova et al., 2003; Pakar *et al*., 2014) می‌شود. سالیسیلیک اسـید در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری قرار دارند نقش حفاظتی دارد (Sakhabutdinova *et al*., 2003). جاسمونات‌ها از نظر بیوسنتزی، از اسیدلینولئیک طی یک سری واکنش‌هـا سـاخته می‌شوند. این ترکیبات در بسیاری از گونه‌های گیاهی برای مقابله بـا تنش اسمزی وجود دارند (Arteca, 1995). گزارش شده اسـت کـه جاسمونیک اسید با تغییر در پروتئین، محتوای مالون دآلدهید و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها نقش حفاظتی خود را در برابر تنش خشکی اعمال می کند (Yun-xia *et al*., 2010).

در سال ۲۰۱۴ میلادی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در جهان بالغ بر ۷۲۹/۰۱ میلیون تن در سطحی برابر با ۲۲۰/۴۱ میلیون هکتار بود (Fao, 2014). در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳میزان تولید گندم در ایران ۱۱/۵ میلیون تن در سطحی برابر با ۵/۷ میلیون هکتار بـود (Anonymous, 2015). امروزه نیمی از سطح زیر کشت گندم کشور، با تنش خشکی مواجه است. استان فارس نیز با تولید ۱۰/۲ درصـد از گندم کشور، پس از اسـتان خوزسـتان در جایگـاه دوم تولیدکننـدگان گندم کشور قرار دارد (Anonymous, 2015)، که در سال‌های اخیـر با کاهش میزان نزولات، مزارع تولید گندم در معرض تـنش خشـکی قرار دارند. به همین منظور، در پژوهش حاضر نقش سه تنظیم‌کننـده رشد مذکور در افزایش تولیـد گنـدم در شـرایط تـنش خشـکی در دو محیط کنترل شده و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی بـا چهار تکرار، طی سال ۱۳۹۱ در گلخانه دانشکده کشـاورزی دانشـگاه شیراز اجرا شد. تیمارها شـامل رژیـم آبیـاری در چهـار سـطح ۱۰۰٪ (شاهد)، ۸۰٪ (تنش ملایم)، ۶۰٪ (تنش متوسط) و ۴۰٪ (تنش شدید) ظرفیت مزرعه و کاربرد نوع تنظیم‌کننده رشـد در چهـار سـطح عـدم کاربرد ماده تنظیم‌کننده رشد (به عنوان شاهد)، کلرمکوات کلراید (۱۹ میلی مولار)، سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و جاسمونیک اسید (۰/۱ میلی‌مولار) بود. دمای میانگین روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۲۸ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ۶۰ درصد بود. بوته‌هـای گندم روزانه در معرض ۱۲ ساعت روشنایی به صورت ترکیبی از لامپ فلورسنت و مهتابی با شدت ۴۲۰ میکرواینشتین برمترمربـع در ثانیـه بودند.

گلدان‌های پنج لیتری با نسبت ۲:۱:۱ از خاک مزرعه، کود برگ و ماسه بادی پر شد. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر گندم رقم روشن کاشـته شد و پس از تنک کردن به ۶ بوته در هر گلدان رسید. تنظیم‌کننـده-های رشد و تنش رطوبتی به‌صورت همزمان در شروع مرحله زایشـی (برجستگی دوگانه) اعمال شد. در این مرحله بوته‌های گندم با محلول تنظـیم‌کننـده‌هـای رشـد کلرمکـوات کلرایـد و سالیسـیلیک اسـید و جاسمونیک اسید به‌صورت کاربرد شاخساره‌ای در اوایـل صـبح تیمـار شدند. محلول کلرمکوات کلراید با آب معمولی، محلـول سالیسـیلیک اسید با آب گرم و اتانول و محلول جاسمونیک اسید با اتانول تهیه شد. در زمان محلول‌پاشی سطح گلدان‌ها با پلاستیک پلی‌اتـیلن پوشـانده شد تا از جذب خاکی جلوگیری شود. عمل محلول‌پاشی با محلول‌پاش دستی و با فشار ثابت به‌صورت یکنواخت انجام شد و تـا آنجـا ادامـه یافت که قطرات محلول بر روی برگ‌های گندم قابل مشاهده باشـد. مقدار رطوبت در حد ظرفیت مزرعه برای خاک گلـدان‌هـا بـا کمـک دستگاه صفحه فشاری، ۲۵ درصد وزنی محاسبه شد. برداشت پس از رسیدگی کامل و به‌صورت کف‌بر بـرای هـر گلـدان صـورت گرفـت. صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل سطح بـرگ (در اوایـل خمیری شدن دانه) طول سنبله، سـطح بـرگ پـرچم، تعـداد دانـه در سنبله، عملکرد ماده خشک بوته‌ها (بیولوژیک) و عملکرد دانه بود.

آزمایش مزرعه‌ای

1- Ent-kaurene synthase

جهت بررسی بهتر نتایج در شرایط طبیعی، این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای نیز طی سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه در ۱۲ کیلومتری شمال غربی شیراز با عرض جغرافیایی'۴۶°۵۲ شرقی، طول جغرافیایی'۷ °۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای آزمایشی شامل تنش رطوبتی به صورت مقادیر متفاوت از حجم آب آبیاری در سه سطح آبیاری در حد ۱۰۰٪ (شاهد)، ۶۶ درصد (تنش رطوبتی متوسط) و ۳۳ درصد (تنش رطوبتی شدید) ظرفیت مزرعه در کرت‌های اصلی و کاربرد نوع تنظیم‌کننده رشد در چهار سطح عدم کاربرد ماده تنظیم‌کننده رشد (شاهد)، کلرمکوات کلراید (۱۹ میلی‌مولار) ، سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و جاسمونیک اسید (۰/۱میلی‌مولار) در کرت‌های فرعی بود که به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم خاک زراعی با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک عمود برهم بود. پس از آماده‌سازی کرت‌ها، بذرها در چهار خط سه متری در هر کرت کشت شد. فاصله بین ردیف و روی ردیف به به ترتیب برابر با ۲۰ و ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵متر و فاصله بین هر یک از تکرارها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی (سطوح تنش) نیز برای اطمینان از عدم تداخل تیمارها، فاصله ۱/۵ متری در نظر گرفته شد. قبل از کاشت ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک سوم کود نیتروژن مورد نیاز) مصرف شد. مابقی کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله طویل شدن ساقه‌ها و گلدهی به‌کار برده شد. کاشت با تراکم ۲۵۰ بوته در متر مربع با دست و به صورت ردیفی در تاریخ ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۱ صورت گرفت. بلافاصله پس از کاشت آبیاری انجام شد. سیستم آبیاری مزرعه به‌صورت قطره‌ای (تیپ) بود.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک در مزرعه مورد مطالعه (باجگاه، فارس)

Table 1- The results of soil analysis in the experimental field (Badjgah, Fars)

Texture	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	N (%)	OC (%)	pH	EC (dS m^{-1})
Clay loam	391	12.5	0.14	1.06	7.65	0.97

تنظیم‌کننده‌های رشد کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در در اواخر اسفند مرحله برجستگی دوگانه (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001) با استفاده از سمپاش دستی با فشار ثابت در اولین ساعت صبح به طور یکنواخت بر روی بوته‌ها پاشیده شد به‌صورتی که قطرات محلول بر روی برگ‌های گندم قابل مشاهده بود. تنش رطوبتی از مرحله گلدهی اعمال شد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر بار آبیاری از درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. برای انجام این کار ۲۴ ساعت قبل از هر آبیاری از سطح خاک، عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری با آگر نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها در آون در دمای ۱۰۵ °C به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و سپس میزان رطوبت وزنی آن‌ها تعیین گردید. آب مورد نیاز برای آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد موردنظر از ظرفیت مزرعه محاسبه شد. کنترل حجم ورودی آب به کمک کنتور صورت گرفت. میزان بارندگی و آبیاری در آزمایش مزرعه‌ای در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- میزان بارندگی و آبیاری (میلی‌متر) در آزمایش مزرعه‌ای

Table 2- Amount of rainfall and irrigation (mm) in experimental field

Stress level سطح تنش	Rainfall بارندگی	Irrigation آبیاری	Sum مجموع
Control شاهد	440	204	645
Moderate متوسط	440	136	576
Severe شدید	440	68	508

اندازه‌گیری سطح برگ در هنگام اوایل خمیری‌شدن دانه از یک بوته گندم با استفاده از دستگاه مساحت سنج (مدل Delta T MK2, England) به عمل آمد. برداشت مزرعه در تاریخ ۱۲ تیرماه ۱۳۹۲ به‌صورت کف‌بر کردن بوته‌ها از سطح خاک با دست صورت گرفت. بیست بوته از وسط هر کرت به‌صورت تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب و پس از انتقال به گلخانه طول سنبله و تعداد دانه در سنبله برای آن‌ها محاسبه و میانگین بیست بوته به‌عنوان داده آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. برداشت برای اندازه‌گیری عملکرد به‌صورت یک مترمربع در وسط هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای با استفاده از کوادرات صورت گرفت. نمونه‌های برداشت شده به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۴±۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. وزن کل نمونه‌ها به‌عنوان عملکرد بیولوژیک و وزن دانه‌های جدا شده

به‌عنوان عملکرد دانه درنظر گرفته شد. در هر دو آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد یا برآورد خطای استاندارد صورت گرفت.

نتایج و بحث

در آزمایش گلخانه‌ای طول سنبله تحت تاثیر معنی‌دار تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد قرار گرفت (جدول ۳). در آزمایش مزرعه‌ای اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر طول سنبله معنی‌دار بود (جدول ۴). در شرایط گلخانه طول سنبله به مقدار ۲۲/۲ درصد در شرایط تنش رطوبتی شدید نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۵). تنش رطوبتی می‌تواند از طریق کوتاه کردن دوره نمو و همچنین افزایش سرعت نمو سنبله موجب کاهش طول سنبله گردد (Emam and Niknejad, 2011). خشکی همچنین از طریق تاثیر مستقیم منفی بر مریستم انتهایی، که تشکیل‌دهنده سنبله است، می‌تواند سبب کاهش طول سنبله شود (Gooding *et al*., 2003). در شرایط مزرعه تنش رطوبتی اثری بر طول سنبله نداشت. عدم تاثیرگذاری تنش رطوبتی بر طول سنبله به دلیل آن است که آغازش اجزای سنبله در مراحل پیش از گلدهی تعیین می‌شود (Yun-xia *et al*., 2010). این درحالی است که تنش رطوبتی در پژوهش حاضر از گلدهی به بعد اعمال شده بود.

تنظیم‌کننده‌های رشد طول سنبله را در شرایط تنش و عدم تنش در هر دو آزمایش افزایش دادند. تاثیر سالیسیلیک اسید و کلرمکوات کلراید بدون تفاوت معنی‌دار، بیشتر از جاسمونیک اسید بود (جدول های ۵ و ۶). سالیسیلیک اسید و کلرمکوات کلراید به‌ترتیب طول سنبله را به‌میزان ۶/۷ و ۴/۵ سانتی‌متر در شرایط گلخانه افزایش دادند. در شرایط مزرعه نیز استفاده از تنظیم کننده‌های رشد سبب افزایش طول سنبله شد. نتایج بدست آمده با نتایج دیگر پژوهش‌گران (Amin *et al*., 2008; Shekoofa and Emam, 2008; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012a) همسو است. در یک مطالعه دیگر نیز افزایش طول سنبله گندم را با مصرف کلرمکوات کلراید و سالیسیلیک اسید در دو پژوهش مزرعه‌ای و گلخانه‌ای گزارش شده است (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b).

نتایج تجزیه واریانس آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که سطح برگ پرچم تحت تاثیر معنی‌دار رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد قرار گرفت (جدول ۳). در مزرعه سطح برگ پرچم تحت تاثیر تنش رطوبتی قرار نگرفت اما اثر تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین سطح برگ پرچم در آزمایش گلخانه‌ای مربوط به تیمار بدون تنش بود. تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ پرچم شد. عوامل محیطی از قبیل خشکی و یخبندان پیری برگ‌های گندم را تسریع کرده و سبب کاهش سطح برگ می‌شوند (Emam and Niknejad, 2011). گزارش شده است که تنش خشکی سطح برگ و سرعت رشد آن را کاهش می‌دهد (Hopkins and Huner, 2004; Yun-xia *et al*., 2010). تنش خشکی پیش از گلدهی از طریق کاهش سرعت گسترش برگ‌ها و تغییر در شکل برگ، سطح برگ را کاهش می‌دهد که به دریافت نور کمتر منجر می‌شود در حالی‌که تنش خشکی بعد از گلدهی از طریق تسریع پیری برگ سبب کاهش سطح برگ می‌گردد (Bishop and Bugbee, 1998). در آزمایش گلخانه‌ای از آنجا که تنش قبل از گلدهی اعمال شد، سطح برگ پرچم کاهش یافت؛ اما در آزمایش مزرعه‌ای که تنش خشکی پس از گلدهی اعمال شد، اثری بر سطح برگ پرچم نداشت. بیشتر پژوهش‌گران براین باورند که بیشینه سطح برگ در زمان گلدهی حاصل می‌شود (Emam *et al*., 1996; Pirasteh-Anoshehand Emam, 2012b). بنابراین عدم اثرگذاری تنش رطوبتی بر سطح برگ پرچم قابل توجیه است.

تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش سطح برگ پرچم شدند. در آزمایش گلخانه‌ای سالیسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید و جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش سطح برگ پرچم به میزان ۱۱، ۱۲ و ۵ درصد شدند. در شرایط مزرعه، این افزایش به‌ترتیب به میزان ۱۱/۲، ۱۰/۷ و ۳/۷ درصد بود (جدول ۵ و ۶). سطح برگ پرچم بر میزان وزن دانه و رسیدن به عملکرد بالقوه از زمان گلدهی تا رسیدگی، اثر می‌گذارد (Emam *et al*., 1996). سطح برگ بالاتر به معنی توانایی بیشتر برای انجام فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر است (Flower and Ludlow, 1986). در این پژوهش سطح برگ پرچم با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد، افزایش یافت. نتایج بدست آمده در مورد میزان اثر بخشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر سطح برگ پرچم با نتایج به‌دست آمده توسط سایر پژوهش‌گران همسو است (Metwally *et al.,* 2003; Pakar *et al.,* 2014; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b; Shekoofa, and Emam, 2008).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد بر تعداد دانه در سنبله در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۳). در مزرعه اثر تنش رطوبتی غیرمعنی‌دار بود، اما تنظیم‌کننده‌های رشد تاثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۴). تنش رطوبتی در گلخانه سبب کاهش تعداد دانه در سنبله گردید. تاثیر کاهنده تنش رطوبتی بر تعداد دانه در سنبله را می‌توان نتیجه افزایش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه دانست. همچنین می‌تواند ناشی از مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده افشانی و پر شدن دانه در اثر خشکی باشد (Flower and Ludlow, 1986).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد بر صفات گندم در آزمایش گلخانه‌ای

Table 3- The result of analysis of variance (mean of squares) for effect of water stress and plant growth regulator (PGR) on wheat traits in greenhouse

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سطح برگ پرچم Flag leaf area	طول سنبله spkie length	تعداد دانه در سنبله Grain/spkie	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تنش رطوبتی Water stress	3	78.330**	11.021**	1886.704**	533.262**	117.506**
تنظیم کننده رشد PGRs	3	*1.620	1.170*	75.910**	18.116**	2.399**
برهمکنش Interaction	9	0.181ns	0.180ns	4.412ns	3.243**	0.256**
خطا Error	48	0.198	0.436	2.217	0.445	0.037

ns، * و** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد .ns, * and **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تنش رطوبتی و تنظیم کننده رشد بر صفات گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 4- The result of analysis of variance (mean of squares) for effect of water stress and plant growth regulator (PGR) on wheat traits in field

منابع تغییرS.O.V	درجه آزادی df	سطح برگ پرچم Flag leaf area	طول سنبله Spkie length	تعداد دانه در سنبله Grains/spike	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تنش رطوبتی Water stress	2	0.102ns	0.005ns	2.220ns	0.9382**	0.2468**
بلوک Block	2	0.508	0.015	2.771	0.0633	0.0325
خطای کرت اصلی Error a	4	0.462	0.366	3.560	0.0031	0.0034
تنظیم کننده رشد PGR	3	1.137*	2.502**	71.290**	0.0849**	0.0141**
برهمکنش Interaction	6	0.010ns	0.042ns	0.542ns	0.0914**	0.0126**
خطا Error	18	0.178	0.102	1.71	0.0017	0.0012

ns، * و** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد .ns, * and **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

گزارش شده است (Shah and Paulsen, 2003; Li *et al.*, 2012). تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش تعداد دانه در سنبله شدند. بیشترین تعداد دانه در سنبله با کاربرد کلرمکوات کلراید به‌دست آمد.

در شرایط مزرعه‌ای چون تنش رطوبتی بعد از گلدهی اعمال شد، اثری بر تعداد دانه در سنبله نداشت، زیرا تعداد دانه در سنبله قبل از اعمال تنش تعیین شده بود. این موضوع توسط دیگر پژوهشگران نیز

افزایش تعداد دانه در سنبله در گندم (Shekoofa and Emam, 2008; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012a) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (Emam and Karimi, 1996; Pakar *et al*., 2014) گزارش شده است. دلیل افزایش تعداد دانه، کاهش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه گزارش شده است (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001; Rajala, 2003). افزایش تعداد دانه در اثر کاربرد شاخساره‌ای سالیسیلیک اسید توسط دیگر پژوهش‌گران گزارش شده است (Amin et al., 2008; Pirasteh-Anosheh *et al*., 2012b). علت افزایش تعداد دانه در سنبله، افزایش نسبت تسهیم مواد پرورده به دانه گزارش شده است (Amin *et al*., 2008).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر معنی‌دار تنش رطوبتی، تنظیم‌کننده رشد و برهمکنش آن‌ها در گلخانه و مزرعه (جدول ۳ و ۴) قرار گرفت. عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک تمامی بخش‌های هوایی گیاه است که تحت تاثیر شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (Emam and Niknejad, 2011). خشکی با اثرات متفاوتی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر گیاه دارد مانند بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تورژسانس (Hopkins and Huner, 2004)، کاهش سطح فتوسنتزکننده و همچنین کاهش میزان فتوسنتز بر اثر تنش خشکی، باعث کاهش تجمع ماده خشک می‌شود (Simanne *et al*., 1993). کاهش تجمع ماده خشک باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در پایان دوره رشد گیاه می‌شود به‌طوری‌که در آزمایش گلخانه‌ای (شکل ۱ و ۲) و مزرعه‌ای حاضر تنش رطوبتی سبب کاهش میزان عملکرد بیولوژیک شد. تنش رطوبتی در پژوهش حاضر، بسته به شدت تنش، موجب کاهش اندازه شاخساره (سطح برگ و طول سنبله) گردید، و با توجه به اینکه عملکرد بیولوژیک کل ماده خشک تولید شده توسط گیاه شامل ساقه، برگ و دانه را در بر می گیرد (Emam *et al*., 1996; Emam and Niknejad, 2011)، تنش رطوبتی از راه تاثیر بر رشد ساقه، برگ و دانه موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای شد.

تنظیم‌کننده‌های رشد سالسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید و جاسمونیک اسید در گلخانه به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱/۰، ۱۲/۸ و ۱۸/۵ درصدی عملکرد بیولوژیک شدند (شکل ۱). این مقدار برای آزمایش مزرعه‌ای به ترتیب ۱۶/۴، ۷/۰ و ۱۵/۶ درصد بود (شکل ۲). اعلام شده است که کاربرد کلرمکوات کلراید در نهایت سبب افزایش تجمع عملکرد بیولوژیک در جو گردید (Shekoofa and Emam, 2008). پژوهش‌گران معتقدند که از مرحله گلدهی تا رسیدن دانه ظرفیت فتوسنتزی به ویژگی‌های برگ پرچم شامل سرعت فتوسنتز، کارایی رابیسکو، غلظت کلروفیل و مساحت برگ پرچم بستگی دارد (Bishop and Bugbee, 1998). در آزمایش مزرعه‌ای احتمالاً تنظیم کننده‌های رشد سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک شدند. افزایش عملکرد بیولوژیک توسط تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در پژوهش‌های دیگر گزارش شده است (Anjum *et al.,* 2011; Metwally *et al.,* 2003; Sakhabutdinova *et al.,* 2003; Yun-xia *et al.,* 2010).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده بر صفات اندازه‌گیری شده گندم در آزمایش گلخانه‌ای

Table 5- Mean comparison of main effect of water stress and plant growth regulator on wheat traits in greenhouse experiment

		سطح برگ پرچم (cm^2) Flag leaf area	طول سنبله (cm) Spike length	تعداد دانه در سنبله Grains/spike
تنش خشکی Drought Stress	100% FC	8.23	8.81	31.16
	80% FC	7.86	8.48	29.20
	60% FC	5.03	8.10	17.75
	40% FC	3.66	6.90	7.82
	LSD 0.05	0.82	0.67	5.34
تنظیم کننده رشد PGR	No PGR شاهد	5.78	7.86	19.81
	Salicylic acid	6.42	8.39	23.37
	Chlormequat Chloride	6.46	8.21	24.15
	Jasmonic acid	6.12	7.84	19.60
	LSD 0.05	0.34	0.44	0.67

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده بر صفات اندازه‌گیری شده گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 6- Mean comparison of main effect of water stress and plant growth regulator on wheat traits in field experiment

		سطح برگ پرچم (cm^2) Flag leaf area	طول سنبله (cm) Spike length	تعداد دانه در سنبله Grains/spike	عملکرد دانه ($kg\ m^{-2}$) Grain yield
تنش خشکی Drought Stress	100% FC	8.55	9.02	34.33	0.67
	2/3 FC	8.42	8.99	34.00	0.55
	1/3 FC	8.38	8.97	33.58	0.39
	LSD 0.05	ns	ns	ns	0.09
تنظیم کننده رشد PGR	No PGR شاهد	8.00	8.40	31.22	0.49
	Salicylic acid	8.90	9.56	35.00	0.55
	Chlormequat Chloride	8.62	9.29	37.55	0.58
	Jasmonic acid	8.30	8.70	32.44	0.53
	LSD 0.05	0.41	0.50	2.55	0.02

شکل ۱- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (Con شاهد، SA سالیسیلیک اسید، CCC کلرمکوات کلراید و JA جاسمونیک اسید) بر عملکرد بیولوژیک (±SE) گندم در سطوح متفاوت تنش رطوبتی در آزمایش گلخانه‌ای.

Figure 1- The effect of plant growth regulators (Con: control, SA: salicylic acid, CCC: chlormequat chloride and JA: jasmonic acid) on wheat biological yield (±SE) in different water stress in greenhouse

شکل ۲- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (Con شاهد، SA سالیسیلیک اسید، CCC کلرمکوات کلراید و JA جاسمونیک اسید) بر عملکرد بیولوژیک (±SE) گندم در سطوح متفاوت تنش رطوبتی در آزمایش مزرعه‌ای.

Figure 2- The effect of plant growth regulators (Con: control, SA: salicylic acid, CCC: chlormequat chloride and JA: jasmonic acid) on wheat biological yield (±SE) in different water stress in field

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر تنش رطوبتی، تنظیم‌کننده رشد و برهمکنش آن‌ها در گلخانه (جدول ۳) و خشکی و تنظیم‌کننده در مزرعه قرار گرفت (جدول ۴). تنش رطوبتی سبب کاهش عملکرد دانه در شرایط گلخانه (شکل ۳) و مزرعه (جدول ۶) شد. تنش رطوبتی در هر مرحله از رشد گیاه می‌تواند رشد و عملکرد گندم را از راه های گوناگونی تحت تاثیر قرار دهد. میزان این تاثیر به مدت و شدت اعمال تنش وابسته است (Gooding *et al*., 2003). عملکرد دانه گندم از حاصلضرب سه جزء عملکردی شامل: تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه حاصل می‌شود (Emam *et al*., 1996). در آزمایش گلخانه‌ای کاهش عملکرد دانه در اثر تنش رطوبتی به دلیل تاثیر منفی خشکی بر اجزای عملکرد دانه به ویژه تعداد دانه در سنبله بود. این نتایج در راستای یافته‌های دیگر پژوهشگران است (Bishop and Bugbee, 1998; Ozturk and Aydin, 2004; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b). خشکی بعد از گلدهی، عملکرد دانه را از طریق کاهش در سرعت و طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌دهد (Ozturk and Aydin, 2004). در آزمایش مزرعه‌ای از آن‌جا که تنش رطوبتی بعد از مرحله گلدهی اعمال شد و تعداد دانه در سنبله قبل از گلدهی تعیین شده بود (Simanne *et al*., 1998)، کاهش عملکرد دانه از راه تاثیر منفی بر میانگین وزن دانه بوده است. پژوهش‌گران دیگر نیز تاثیر منفی تنش رطوبتی در بعد از مرحله گلدهی را در کاهش وزن هزار دانه گزارش کرده اند (Emam *et al*., 1996; Gooding *et al*., 2003). کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش رطوبتی پس از گرده‌افشانی در بسیاری پژوهش های دیگر نیز گزارش شده است (Gooding *et al*., 2003; Ozturk and Aydin, 2004; Shah and Paulsen1, 2003).

تنظیم کننده‌های رشد سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط عدم وجود تنش و تنش خشکی شدند. در شرایط گلخانه‌ای تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید و جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۳/۷۶، ۲۰/۷، ۷/۲۴ درصد شدند (شکل ۳). در آزمایش مزرعه‌ای میزان افزایش عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۱۲/۲۴، ۱۸/۳، ۸/۱ درصد بود (جدول ۶). استفاده از کلرمکوات کلراید در شرایط بدون تنش در ارقام مختلف یولاف، به‌صورت کاربرد شاخساره‌ای، عملکرد دانه را تا ۱۳درصد بسته به نوع رقم افزایش داده است (Rajala, 2003). افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از کلرمکوات کلراید توسط سایر پژوهش‌گران به میزان ۱۲٪ (Emam and Karimi, 1996) و ۲۰٪ در گندم (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b) و ۱۵٪ (Emam, 2011)، ۲۰٪ (Ma and Smith, 1992) و ۲۴٪ (Pakar *et al*., 2014) در جو گزارش شده است. در یک مطالعه (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b) افزایش عملکرد دانه گندم را در اثر مصرف کلرمکوات کلراید و سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند. افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در پژوهش‌های بسیاری گزارش شده است (Shakirova *et al*., 2003; Amin *et al*., 2008; Yun-xia *et al*., 2010; Anjum *et al*., 2011).

شکل ۳- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (Con شاهد، SA سالیسیلیک اسید، CCC کلرمکوات کلراید و JA جاسمونیک اسید) بر عملکرد دانه (±SE) گندم در سطوح متفاوت تنش رطوبتی در آزمایش گلخانه‌ای.

Figure 3- The effect of plant growth regulators (Con: control, SA: salicylic acid, CCC: chlormequat chloride and JA: jasmonic acid) on wheat grain yield (±SE) in different water stress in greenhouse

نتیجه‌گیری

تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار طول سنبله، سطح برگ، تعداد دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه گندم شد. استفاده از تنظیم کننده‌های رشد کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید جاسمونیک اسید سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی گردید و با افزایش عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش رطوبتی همراه بود. از میان تنظیم‌کننده‌های رشد، کلرمکوات کلراید بیشترین تاثیر را در کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی از راه افزایش سطح برگ، طول سنبله و تعداد دانه داشت و بیشترین عملکرد دانه گندم از کاربرد این تنظیم کننده رشد (۲۰ درصد افزایش عملکرد) به‌دست آمد. پس از آن سالیسیلیک اسید (۱۳ درصد افزایش عملکرد) و جاسمونیک اسید (۸درصد افزایش عملکرد) به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد موثر در کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد گندم مشاهده شدند.

References

1. Amin, A. A., Li, S., Rashad, M., Fatma, A., and Gharib, E. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 252-261.
2. Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., and Xue, L. 2011. Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defence system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 296-301.
3. Anonymous. 2015. Agricultural statistics, Vol 1: Crop Production, 2013-14 growing seasons. Publication of Ministry of Agriculture-Jahad. Tehran (in Persian)
4. Arteca, R. N. 1995. Plant Growth Substances, Principles and Applications. Springer. New York.
5. Bishop, D. L., and Bugbee, B. G. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi dwarf wheat (*Triticum aestivum*). Plant Physiology 153: 558-565.
6. Emam, Y. 2011. Cereal Production. Shiraz University Press, Shiraz. (in Persian).
7. Emam, Y., and Karimi, H. R. 1996. Influence of chlormequat chloride on five winter barley cultivars. Iran Agriculture Research 15: 89-104.
8. Emam, Y., Tafazoli, A., and Karimi, H. R. 1996. Evaluation the effect of chlormequat chloride on growth and development of wheat cv. Ghods. Iranian Journal of Agricultural Sciences 27: 23-30. (in Persian with English abstract)
9. Emam, Y., and Niknejad, M. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield, Shiraz University Press, Shiraz. (In Persian)
10. Evans, L.T. 1993. Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge University Press. Cambridge.
11. FAO. 2014. Food and Agriculture Organization statistical data. Available at http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E (visited April 4, 2017).
12. Flower, D., and Ludlow, M.M. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water-stressed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. mill sp.) leaves. Plant, Cell and Environment 9: 3-44.
13. Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P., and Schofield, J. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Sciences 37: 295-309.
14. Hopkins, W.G. and Huner, N.P. 2004. Introduction to Plant Physiology (3rd Ed.). John Wiely & Sons. New York.
15. Li, P., Chen, J., and Wu, P. 2012. Evaluation of grain yield and three physiological traits in 30 spring wheat genotypes across three irrigation regimes. Crop Science 52. 110-121.
16. Ma, B.L., and Smith, D.L. 1992. Growth regulator effects on aboveground dry matter partitioning during grain fill of spring barley. Crop Science 32: 741-746.
17. Metwally, A., Finkmeier, A., George, M., and Dietz, K. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedling. Plant Physiology 1321: 272-281.
18. Ozturk, A., and Aydin, F. 2004. Effect of water stress at various stages on some quality characteristics of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 190: 93-99.
19. Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2014. The effect of different concentrations of salicylic acid on barley under saline conditions. Journal of Crop Production and Processing 14: 191-201. (in Persian with English abstract).
20. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2012a. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using growth regulators at different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing 5: 29-45. (in Persian with English abstract).
21. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2012b. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. Environmental Stress in Crop Sciences 5: 1-17. (in Persian with English abstract).

22. Rajala, A. 2003. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in northern growing conditions. Ph.D. thesis. University of Helsinki. Finland. 53 PP.
23. Rajala, A., and Peltonen-Sainio, P. 2001. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. Agronomy Journal 93: 936-943.
24. Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R. Bezrukova, M. V., and Shakirova, F. M. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue: 314-319.
25. Shah, N.H., and Paulsen, G.M. 2003. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. Plant and Soil Sciences 257: 219–226.
26. Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, D.R. Bezrukova, M. V. Fatkhutdinova, R.A. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
27. Shekoofa, A., and Emam, Y. 2008. Effect of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRS) on yield of wheat (cv. Shiraz). Journal of Agriculture Science and Technology 10: 101-108.
28. Simanne, B.P.C., Peacock, J.M. and Struk, P.C. 1993. Differences in development plasticity and growth rate among drought resistance and susceptible cultivar of durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. durum). Plant and Soil 157: 155-166.
29. Yun-xia, G., Li-jun, Z., Feng-hai, L., Zhi-bin, C., Che, W., Yun-cong, Y., Zhen-hai, H., Jie, Z., and Zhen-sheng, S. 2010. Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought-stress. African Journal of Agriculture Research 5: 1978-1983.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 124-135

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۳۵-۱۲۴

Improving Wheat Growth and Yield Using Chlormequat Chloride, Salicylic Acid and Jasmonic Acid under Water Stress

N. Vahabi[1]- Y. Emam[2*]- H. Pirasteh-Anosheh[3]

Received: 15-06-2015
Accepted: 07-02-2016

Introduction

Drought stress is most important abiotic stress reducing growth and production of wheat worldwide. Protective role of plant growth regulators (PGRs) against drought stress has been accepted in general, however, comparison of PGRs types to determine the optimum one is crucial. Many PGRs are known to alleviate the negative effects of drought stress in plants. However, limited research has been conducted to investigate the potential benefits of exogenous application of different PGRs in wheat plants grown under drought stress. Chlormequat chloride (CCC), salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) could consider as three major PGRs using in cereals.

Materials and Methods

To examine the effect of three PGRs consisted of CCC, SA and JA on yield components and grain yield of wheat cv. Roshan under different water stress conditions (a range of light to severe drought levels) two separated experiments were conducted at controlled and field conditions at College of Agriculture, Shiraz University during 2012-2013 growing seasons. Concentration of CCC, SA and JA were 19.0, 1.0 and 0.1 mM, respectively. Drought stress levels were 100%, 80%, 60% and 40% of field capacity in greenhouse and were 100%, 2/3 and 1/5 of field capacity in the field experiment. Field capacity was determined as 25% (g g^{-1}) for the experimental field. Greenhouse and field researches were carried out in factorial experiment based on completely randomized design and in split plot experiment based on randomized complete block design, respectively. Four and three replications were used greenhouse and field experiments, respectively. Roshan as a bread wheat cultivar with standard height was used. Foliar application of 3 PGRs was done at double ridges stage in both experiments; however, irrigation treatments were applied at double ridges stage and early anthesis at greenhouse and field experiment, respectively. For plot irrigation a tape system was used and amount of irrigation was measured by a water meter.

Results and Discussion

The results showed that water stress decreased flag leaf area, ear length, grain number per ear, biological yield and grain yield in the greenhouse and biological yield and grain yield in the field experiment. The maximum of flag leaf area was obtained at anthesis and after that there was no increase in green area. In the other hand, ear length and grain number per ear were fixed at anthesis and so drought stress had less negative impact on flag leaf area, ear length and grain number per ear under field conditions. Increasing the level of drought stress was considerably associated with greater reduction in grain yield and yield components. However, PGR_S application improved yield components and consequently enhanced the grain yield. The higher flag leaf area in PGRs-treated plants might be due to lowering developmental rate or delaying plant maturity and senescence. So, by improving leaf area, PGR application resulted in increased photosynthetic rate leading to a higher yield. Although all PGRs had positive effect on growth and yield of wheat nevertheless, the effect of chlormequat chloride followed by salicylic acid was greater than jasmonic acid; so that foliar applications of chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid were associated with 20.7%, 13.8% and 7.24% increase in grain yield, respectively, under controlled conditions. These values were 18.3%, 12.2% and 8.1% for the field experiment. Such compensatory effects of PGRs could be due to various reasons. Chlormequat chloride can stimulate root growth, reduce transpiration, increase water use efficiency, and prevent chlorophyll destruction.

1- M.Sc. Graduated, Crop Production and Plant Breeding Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Professor, Crop Production and Plant Breeding Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran
(*- Corresponding Author Email: yaemam@shirazu.ac.ir)

Similarly, SA application may result in stomatal closure, increased WUE, increased chlorophyll content, increased respiratory-pathways and intercellular CO_2 concentration, and stimulatory changes in other physiological and biochemical attributes. Jasmonic acid is also essential components for the signaling pathway triggering the expression of plant defense genes in response to abiotic stresses. This PGR had a significant role in osmotic adjustment under drought stress conditions.

Conclusions

Overall, drought stress depending on time and severity of application had several adverse effects on wheat cultivar including decreased flag leaf area, ear length and grain number which led to reduced biological yield and grain yield. However, exogenous application of SA, CCC or JA reduced at least some of the harmful impacts of drought stress and in some cases compensated losses or damages caused by the drought, resulting in purging of differences between the control and drought stress conditions. Furthermore, chlormequat chloride might have a wide scope for further investigations as an approach to increase grain yield under limited water conditions.

Keywords: Grain yield, Growth retardants, Yield components

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 136-149

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۴۹-۱۳۶

جذب و کارآیی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L.) تحت تأثیر منابع مختلف کودهای آلی، زیستی، شیمیایی و کشت مخلوط با شنبلیله

سید احمدرضا رضوی[۱]- محسن جهان[۲*]- مهدی نصیری محلاتی[۳]- کمال حاج محمدنیا قالیباف[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی جذب و کارآیی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L.) تحت تأثیر منابع مختلف کودهای آلی، زیستی، شیمیایی و کشت مخلوط با شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. عامل کرت اصلی کود آلی گاوی شامل دو سطح: کاربرد و عدم کاربرد آن و عامل کرت فرعی منابع مختلف کودی شامل: ۱- کود زیستی نیتروکسین® ۲- کود زیستی بیوسولفور® ۳- کود زیستی بیوفسفر® ۴- ترکیب سه کود زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و بیوفسفر ۵- کود اوره ۶- کشت مخلوط یک ردیفی با شنبلیله و ۷- شاهد بود. نتایج نشان داد که کاربرد کود دامی باعث کاهش ضریب استهلاک نور (K) شد و کمترین میزان K در بین تیمارهای آزمایش مربوط به تیمار ترکیب هر سه کود زیستی + کاربرد کود دامی بود. همچنین تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر میزان تشعشع جذب‌شده تجمعی در پنیرک داشت، به صورتی که بیشترین میزان جذب تشعشع در تیمار ترکیب سه کود زیستی با ۹۸۶/۶ مگاژول بر متر مربع به‌دست آمد، در حالی که کاربرد و یا عدم کاربرد کود گاوی تأثیر معنی‌داری در میزان تشعشع جذب‌شده توسط پنیرک نداشت. میانگین کارآیی مصرف نور در تیمارهای آزمایش برابر ۱/۲۶ گرم بر مگاژول بوده و تیمار کود زیستی نیتروکسین با ۱/۰۹ گرم بر مگاژول دارای کمترین و ترکیب سه کود زیستی + کاربرد کود دامی با ۱/۵ گرم در مگاژول دارای بیشترین میزان کارآیی مصرف نور بود. در مجموع، به‌نظر می‌رسد که ترکیب سه کود زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و بیوفسفر توأم با کاربرد کود گاوی توانایی رقابت با کود شیمیایی اوره از لحاظ شاخص‌های مکانیستیک آنالیز رشد گیاه نظیر جذب تشعشع و کارآیی مصرف نور را دارا است.

واژه‌های کلیدی: آزوسپیریلوم، ازتوباکتر، باسیلوس، سودوموناس، ضریب خاموشی نور، کسر جذب نور، کودگاوی

مقدمه

یک میلیارد نفر از جمعیت جهان که عمدتاً در کشورهای درحال توسعه قرارگرفته‌اند، گیاهان دارویی را برای تمام دوره درمان خود یا بخشی از آن استفاده کرده و یا آن را بر مصرف داروهای سنتز شده ترجیح می‌دهند (WHO, 2002; IUCN, 1993). در طول سال‌های گذشته، توجه مردم به طبیعت و فرآورده‌های طبیعی استخراج‌شده از گیاهان علفی، درختچه‌ها و درخت‌ها که دارای خواص دارویی بی‌نظیری هستند بیشتر شده است؛ چراکه باور عمومی بر این است که گیاهان دارویی از یک‌سو امن و تأثیرگذار هستند و از سوی دیگر، به علت ارزان بودن نسبت به داروهای شیمیایی که دارای عوارض جانبی زیادی هستند، بیشتر در دسترس قرار دارند (Johnson and William, 2002). اتکاء به استفاده از گیاهان دارویی در جوامع صنعتی نیز درست همانند درمان‌های سنتی گیاهی در کشورهای در حال توسعه، منجر به استخراج و توسعه داروها و شیمی‌داروهای مختلفی از این گیاهان شده است (UNESCO, 1998). بر اساس مطالعه بانک جهانی، تجارت گیاهان دارویی در سال ۲۰۵۰ سهمی بالغ بر ۵ تریلیون دلار در تجارت جهانی خواهد داشت (WHO, 2002). از طرفی در طول قرن گذشته، با افزایش روز افزون جمعیت، تعدادی از گونه‌های پرمصرف گیاهی که از عرصه‌های طبیعی برداشت می‌شدند، در معرض خطر انقراض قرارگرفته‌اند. ازاین‌رو، برای رفع نیازهای فزاینده به داروهای گیاهی، تولید مواد خام دارویی با کیفیت مناسب و با خصوصیات شناخته‌شده، این گیاهان باید در سیستم‌های زراعی کشت شوند (Ameri and Nassiri Mahallati, 2008;

۱، ۲، ۳ و۴- به‌ترتیب دانشجوی دوره دکترا، دانشیار، استاد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: jahan@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.49378

(Farooqi and Sreeramu, 2001).

پنیرک (*Malva sylvestris* L.) یکی از گیاهان دارویی است که مطالعات فراوانی در خصوص ترکیب شیمیایی و خواص آنتی‌اکسیدانی (Tabaraki *et al*., 2012) و نیز خواص دارویی مختلف آن در درمان التهاب دستگاه گوارش، زخم معده، چربی خون، قند خون، جمعیت میکروبی دستگاه گوارش (Sleiman, 2006)، التیام سوختگی (Ghasemi Pirbalouti *et al*., 2009) و اگزمای پوستی (Barikbin *et al*., 2010) صورت گرفته است. به‌واسطه وجود موسیلاژ فراوان در اندام‌های رشدی و تولید مثلی پنیرک، در لاتین به آن Mallow (مشتق از واژه Malwe به معنی «نرم») می‌گویند. این گیاه کاربرد فراوانی در صنایع آرایشی دارد (Bown, 1995).

در دهه‌های گذشته، پیشرفت‌های علمی در زمینه‌ی تغذیه گیاهی و حاصلخیزی خاک، انقلابی در تولید محصولات گیاهی به وجود آورده است (Koocheki, and Sarmadnia, 1999). به‌صورت کلی، کودهای شیمیایی بر رشد گیاهان زراعی و توسعه بسیاری از اجزای فعال گیاهان دارویی مؤثر است، اما کاربرد بیش از حد یا نامتعادل این کودها، بدون سنجش و آگاهی از وضعیت عناصر غذایی خاک که توأم با عملیات کشاورزی فشرده، مدیریت نامناسب خاک و کشت ارقام پر محصول گیاهان زراعی بوده است، سبب ناپایداری وضعیت تولید و تهدید جدی سلامت خاک از طریق کاهش ماده آلی آن شده است (Qazi *et al*., 2009). مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی منجر به افزایش هزینه‌ها، افزایش مصرف منابع فسیلی، ورود مقادیر زیادی از نیتروژن به خاک، اتمسفر و آب و در نهایت تهدید ثبات و پایداری بوم‌نظام‌ها و سلامت انسان شده است. به‌همین دلیل، متخصصان اگرواکولوژی تلاش دارند تا جایگزین‌های بوم‌سازگاری را به منظور جایگزینی با کودهای شیمیایی به کشاورزان و دست‌اندرکاران تولیدات کشاورزی معرفی نمایند (Gliessman, 1998).

یکی از روش‌های جایگزین پرورش گیاهان دارویی، بهره‌گیری از ریزوباکتری‌ها و قارچ‌هایی است که همزیستی آن‌ها با بسیاری از گیاهان آوندی از جهات مختلف سودمند شناخته‌شده است (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). از آن‌جایی که تعداد این میکروارگانیسم‌ها در خاک به‌اندازه‌ای نیست تا توان رقابت با دیگر باکتری‌های موجود در ریزوسفر را داشته باشند، به‌منظور کاربرد زراعی و بهره‌گیری از جنبه‌های مثبت فعالیت آن‌ها، تلقیح گیاه با میکروارگانیسم هدف در غلظت‌هایی بسیار بالاتر از میزان حضور آن در خاک ضروری به‌نظر می‌رسد. فناوری کودهای زیستی مقرون‌به‌صرفه[1] و سازگار با محیط‌زیست[2] بوده و به حفظ حاصلخیزی خاک، سلامت خاک و زیست‌پویایی[3] خاک کمک کرده و با حفظ پایداری در کشاورزی رابطه نزدیک دارد (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012; Malik *et al*., 2011).

از اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی، علاوه بر روش‌های کلاسیک آنالیز رشد گیاه که مبتنی بر زمان بودند، روش‌های مکانیستیک آنالیز رشد گیاه، مبتنی بر نور نیز وارد پژوهش‌های کشاورزی گردید. این روش با انتشار مقاله مونتیث (Monteith, 1977) تحت عنوان کارآیی مصرف نور (RUE[4]) تکامل پیدا کرده و در تحقیقات بعدی مشخص شد که این عامل، تحت تأثیر عوامل مختلف مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و فواصل بوته‌ها، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به ویژه نیتروژن قابل دسترس به سبب نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد قرار می‌گیرد (Sinclair and Muchow, 1999). بر این اساس، کارآیی مصرف نور به صورت نسبت میان زیست‌توده تجمعی تولیدشده و انرژی نورانی تثبیت‌شده توسط گیاه در طول فصل رشد ($g.MJ^{-1}$) بیان می‌شود (Rosati *et al*., 2004).

کشت مخلوط یکی از راهکارهای مدیریت زراعی است که بر کارآیی مصرف نور در گیاهان تأثیر به‌سزایی داشته و باعث افزایش بهره‌وری تولید در ارتباط با نور، از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارآیی مصرف نور و یا ترکیبی از هر دو می‌شود (Zhang and Li, 2003).

این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه جذب و کارآیی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک، تحت تأثیر منابع مختلف کودهای شیمیایی، آلی و زیستی و نیز کشت مخلوط با شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در شرایط آب و هوایی مشهد طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. زمین محل انجام آزمایش در سال قبل تحت تیمار آیش قرار گرفته بود. عامل کرت اصلی کود آلی گاوی شامل دو سطح: کاربرد و عدم کاربرد آن و عامل کرت فرعی منابع مختلف کودی شامل: ۱- کود زیستی نیتروکسین® (Nit[5]) (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)، ۲- کود زیستی بیوسولفور® (SSB[6]) (حاوی باکتری‌های حل‌کننده گوگرد

1- Cost effective
2- Eco-Friendly
3- Biodynamism

4- Radiation use efficiency
5- Nitroxin
6- Sulfur solubilizing bacteria

Thiobacillus spp.)، ۳- کود زیستی بیوفسفر® (PSB[1]) (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۴- ترکیب سه کود زیستی Nit + PSB + SSB، ۵- کود شیمیایی (اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در قالب دو تقسیط)، ۶- کشت مخلوط با شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) به‌صورت ردیفی با ترکیب ۱:۱ و ۷- شاهد بود. تمامی کودهای زیستی مصرف‌شده دارای CFU[2] برابر با 10^8 باکتری زنده در میلی‌لیتر بودند.

تلقیح، کاربرد کود و عملیات زراعی

تلقیح بذرهای پنیرک با کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر در شرایط استاندارد و توصیه‌شده توسط تولیدکننده (به دور از نور آفتاب)، صورت گرفت (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). کود زیستی بیوسولفور نیز با مقدار توصیه‌شده ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار (۸۵٪ گوگرد و ۱۵٪ بنتونیت) مخلوط شده و در زیر بذرها قرار گرفت.

عملیات پخش کود آلی به میزان ۲۵ تن در هکتار کود گاوی در کرت های مربوطه، در تاریخ ۲۵ اسفند ۱۳۹۱ انجام‌گرفته و سپس تا عمق ۳۰ سانتی‌متری توسط بیل دستی با خاک مخلوط گردید. خصوصیات کود گاوی استفاده شده در جدول ۲ نشان داده شده است. بذرهای توده محلی پنیرک، در تاریخ ۳۰ فروردین در کرت‌هایی به مساحت ۱۲ مترمربع، بافاصله ردیف ۵۰ و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتیمتر، در روی پشته‌ها و در ۳ تکرار کشت شد. آبیاری بلافاصله پس از کشت، به روش نشتی و توسط لوله صورت گرفت. بذرها چهار روز بعد سبز شدند و عملیات آبیاری هر ۷ روز یک‌بار انجام می‌گرفت. دو ردیف کناری از شش ردیف هر کرت، به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته و بین تکرارها یک متر و بین هر کرت فرعی، نیم‌متر فاصله منظور شد. عملیات وجین علف‌های هرز در دو مرحله و به‌صورت دستی صورت گرفت و طی فصل رشد از هیچ نوع سمی استفاده نگردید.

اندازه‌گیری وزن خشک و سطح برگ (LAI[3]) هر دو هفته یک‌بار از سطحی برابر با ۰/۳ مترمربع صورت گرفت. همزمان با این اندازه‌گیری‌ها، میزان تشعشع رسیده به بالای کانوپی و تشعشع عبور کرده از کانوپی و رسیده به سطح زمین در پایین کانوپی از طریق قرار دادن حسگر دستگاه سپتومتر خطی[4] روی سطح زمین در دو طرف ردیف‌ها و در چهار جهت مختلف در فاصله ساعات ۱۱-۱۳ برای تمام کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری و ثبت شد.

سپس بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده LAI و میزان تشعشع اندازه‌گیری شده در بالا و پایین کانوپی در هر کرت و با استفاده از معادله مانسی و ساکی (معادله ۱) مقدار ضریب خاموشی نور (K) برای گیاهان تحت تأثیر هر یک از تیمارها محاسبه شد (Nassiri Mahallati, 2000).

$$I / I_0 = \exp(-k \times LAI) \quad (۱)$$

که در آن I: میزان تشعشع رسیده به پایین کانوپی، I_0: میزان تشعشع رسیده به بالای کانوپی، K: ضریب خاموشی نور و LAI: شاخص سطح برگ گیاه است.

به‌منظور برآورد مقادیر روزانه تجمع ماده خشک، به داده‌های حاصل از اندازه‌گیری وزن خشک در طول زمان، تابع سیگموئیدی (معادله ۲) برازش داده شد و مقادیر مربوطه برای کلیه‌ی روزهای دوره‌ی رشد برآورد گردید (Monteith, 1977).

$$TDM = a / (1 + b \times \exp(-c \times x)) \quad (۲)$$

در این معادله TDM عبارت است از ماده خشک تجمعی ($g.m^{-2}$)، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: ضریب ثابت، c: سرعت رشد نسبی گیاه و x: زمان برحسب روز پس از کاشت است.

همچنین مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (معادله ۳) به مقدار LAI اندازه‌گیری شده در طی زمان تعیین گردید (Jahan *et al*., 2013).

$$LAI=a+b\times4\times (\exp(-x- b)/c))/(1+\exp(-(x-b)/c))^2 \quad (۳)$$

در این معادله a: عرض از مبدأ (مقدار LAI در زمان صفر)، b: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c: زمان رسیدن به مرحله خطی رشد سطح برگ و x: زمان می‌باشد.

سپس با استفاده از ضریب خاموشی نور (K) و تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد و با استفاده از معادله ۴، کسر تشعشع جذب شده (F_{abs}) برای هر روز از طول فصل رشد محاسبه شد.

$$F_{abs} = 1 - \exp(-k \times LAI) \quad (۴)$$

میزان تشعشع روزانه خورشیدی (I_{tot}) برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه‌شده توسط خودریان و فان‌لار (Nassiri Mahallati, 2000) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس ساعت آفتابی استخراج‌شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان رضوی، اصلاح و در نهایت میزان کل تشعشع جذب‌شده روزانه توسط کانوپی (I_{abs}) محاسبه شد (معادله ۵).

$$I_{abs} = I_{tot} \times F_{abs} \quad (۵)$$

در تیمار کشت مخلوط نور جذب‌شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات ۶ تا ۸ محاسبه گردید (Francescangeli *et al*., 2006; Tsubo and Walker, 2002).

1- Phosphate solubilizing bacteria
2- Colony Forming Units: واحد تشکیل‌دهنده کلونی
3- Leaf Area Index
4- Linear Septometer, SunScan, Delta T Co., UK

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش
Table 1- Physical and chemical properties of the soil

بافت خاک Soil texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	کربن آلی Organic Carbon (%)	اسیدیته pH
Loam silt	0.063	14	119	0.59	7.47

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود گاوی استفاده شده
Table 2- Chemical properties of applied cattle manure

نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (%)	پتاسیم Potassium (%)
0.28	0.07	0.2

$$I_{abs}=I_0\times[1-\exp((-K_m\times LAI_m)+(-K_t\times LAI_t))] \quad (۶)$$

$$I_m = I_{abs}\times [(K_m\times LAI_m) / ((K_m\times LAI_m) + (K_t\times LAI_t))] \quad (۷)$$

$$I_t = I_{abs} - I_m \quad (۸)$$

در این معادلات K_m ضریب استهلاک نوری گیاه پنیرک و LAI_m شاخص سطح برگ آن و همچنین K_t ضریب استهلاک نوری گیاه شنبلیله و LAI_t شاخص سطح برگ آن، I_m مقدار تشعشع جذب‌شده توسط پنیرک و I_t مقدار تشعشع جذب‌شده توسط شنبلیله است.

در پایان، کارآیی مصرف نور پنیرک ($g.MJ^{-1}$) از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین تشعشع تجمعی جذب‌شده توسط کانوپی ($MJ.m^2$) و کل وزن خشک گیاه ($g.m^2$) تخمین زده شد.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش، مقایسه میانگین‌ها (با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال ۵ درصد)، برازش روابط رگرسیونی و رسم شکل‌ها، از نرم‌افزارهای MS Excel 2007، SlideWrite Ver. 2 و MINITAB Ver. 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تیمارهای مختلف آزمایش تأثیری روی زمان رسیدن شاخص سطح برگ به مقدار بیشینه نداشته و LAI تقریباً در ۱۲۰ روز پس از کاشت در تمام تیمارها به حداکثر مقدار خود رسیده است.

این در حالی است که در مطالعات دیگر مشاهده شد که کاربرد کودهای زیستی نسبت به تیمار شاهد در گیاه کنجد، باعث تسریع در رسیدن شاخص سطح برگ به مقدار بیشینه خود شده است (Jahan *et al.*, 2013).

شکل ۱- اثر کاربرد و عدم کاربرد کود گاوی و تلقیح با کودهای بیولوژیک، کاربرد کود شیمیایی و کشت مخلوط، بر میانگین روند تغییرات شاخص سطح برگ پنیرک طی فصل رشد (Nit= کود زیستی نیتروکسین، SSB= کود زیستی بیوسولفور، PSB= کود زیستی بیوفسفر، Chem= کود شیمیایی اوره، Intercrop= پنیرک در کشت مخلوط با شنبلیله، Man= کود گاوی).

Figure 1- The effect of application and no application of cattle manure, biological fertilizer inoculation, application of chemical manure and Intercropping on LAI of Common Mallow (Nit = Nitroxin, SSB = Sulfurous solubilizing bacteria, PSB = Phosphorus solubilizing bacteria, Chem = Urea chemical fertilizer, Intercrop = Intercropping with Fenugreek, Man = Cattle Manure).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی شاخص‌های وابسته به نور در گیاه دارویی پنیرک تحت تأثیر تیمارهای آزمایش

Table 3– ANOVA results (Mean of squares) of some mechanistic indexes of *Malva sylvestris* under the experiment treatments

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات (Mean of squares)		
		ضریب خاموشی نور Light extinction coefficient (K)	تشعشع تجمعی جذب شده Cumulated absorbed radiation (Iabs)	کارآیی مصرف نور Radiation use efficiency (RUE)
تکرار (Replication)	2	0.503	10323.546	0.076
کاربرد و عدم کاربرد کود دامی (A) With and withought application of Cattle manure (A)	1	0.015 n.s.	31.764.266 n.s.	0.149 n.s.
خطا (Error)	2	0.018	38311.406	0.377
کودهای مختلف زیستی، اوره یا کشت مخلوط با شنبلیله (B) Different Biofertilizers, Urea or intercropping with Fenugreek (B)	6	0.137 n.s.	48714.689**	0.344*
A × B	6	0.147 n.s.	7157.883**	0.064 n.s.
خطا (Error)	24	2.051	8328.737	0.112
ضریب تغییرات (C.V)	-	35.21	10.38	23.96

n.s.، * و ** به‌ترتیب بی‌معنی، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

البته در تیمارهای توأم با کاربرد کود گاوی، شاخص سطح برگ در روزهای اولیه رشد گیاه نسبت به تیمارهای عدم کاربرد کود گاوی زودتر وارد مرحله رشد خطی شده که احتمالاً باعث بسته شدن سریع‌تر کانوپی و افزایش میزان جذب نور می‌شود. به طور کلی با مقایسه دو قسمت شکل ۱ مشاهده می‌شود که کاربرد کود دامی باعث افزایش شاخص سطح برگ بین ۳/۳ درصد (در تیمار نیتروکسین) تا ۲۲/۵ درصد (در تیمار بیوسولفور) در مرحله بیشینگی آن نسبت به تیمارهای عدم کاربرد کود گاوی گردید.

بیشترین میزان شاخص سطح برگ به ترتیب در تیمارهای کاربرد همزمان سه کود بیولوژیک + کود گاوی (۲/۴۹) و کود شیمیایی + کود گاوی (۲/۳۷) مشاهده شد. البته در کرت‌هایی که کود گاوی در آن‌ها به کار نرفته است، تیمار کود شیمیایی نسبت به تیمار ترکیب سه کود زیستی دارای برتری نسبی بود. گزارش شده است که افزایش کاربرد کود نیتروژن به‌صورت معنی‌داری باعث افزایش شاخص سطح برگ در گیاه کلزا شده است (Karimian *et al.*, 2009).

ضریب استهلاک نور (K)

تیمارهای آزمایشی باعث ایجاد تغییراتی در ضریب استهلاک نوری گیاه دارویی پنیرک گردید به صورتی که کمترین میزان K در نتیجه‌ی تیمار ترکیب سه کود زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و بیوفسفر + کود دامی ($K=./۴۷$, $R^2=۰/۹۸$) و بیشترین مقدار آن در اثر تیمار شاهد ($K=./۵۷$, $R^2=۰/۹$) حاصل شد، اگر چه این تغییرات معنی‌دار نبود (جدول ۳). درمجموع کاربرد کود دامی باعث کاهش مقدار ضریب استهلاک نور گردید (شکل ۲).

ضریب استهلاک نوری در شرایط مختلف متغیر بوده و به عوامل مختلفی ازجمله ساختار کانوپی (۲۵)، زاویه خورشید در زمانی که در بالاترین نقطه در آسمان قرار دارد، شیب برگ، زاویه برگ، شاخص سطح برگ (۱) و تراکم گیاهی (۸) وابسته است. به‌طورکلی ارقام دارای برگ‌های افقی دارای ضریب استهلاک نوری بیشتری هستند (Hughes *et al.*, 1987).

تغییرات جذب تشعشع

نتایج تجزیه واریانس نشان دادکه تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر میزان تشعشع جذب‌شده تجمعی در پنیرک داشت (جدول ۳)، به صورتی که بیشترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد در تیمار ترکیبی سه کود بیولوژیک نیتروکسین+ بیوسولفور+ بیوفسفر اتفاق افتاد (با میانگین $MJ.m^{-2}$ ۹۸۶/۶)، این در حالی است که کاربرد و یا عدم کاربرد کود گاوی تأثیر معنی‌داری بر میزان تشعشع جذب‌شده توسط پنیرک نداشت (شکل ۳).

بر اساس نتایج آزمایش، اثر کاربرد ترکیبی این سه کود زیستی ازلحاظ میزان تأثیر بر جذب تشعشع توسط گیاه، نسبت به اثرات کود شیمیایی اوره و دیگر تیمارهای آزمایشی برتری داشت.

شکل ۲- نسبت نور عبور کرده از کانوپی به شاخص سطح برگ پنیرک در تیمارهای کاربرد کود دامی (Manure+) و عدم کاربرد آن (-Manure) (هر نقطه میانگین ۷ تیمار بوده و شیب منحنی‌ها برابر با ضریب استهلاک نوری است).

Figure 2- Proportion of transmitted light through the canopy related to Leaf Area Index (Each point is the mean of 7 treats and the curve slope represents the light extinction coefficient).

شکل ۳- اثر کاربرد و عدم کاربرد کود گاوی و تلقیح با کودهای بیولوژیک، کاربرد کود شیمیایی و کشت مخلوط بر تشعشع تجمعی جذب‌شده در انتهای فصل رشد در گیاه پنیرک (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند) (Manure+ و Manure– به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد کود گاوی، Nitroxin=کود زیستی نیتروکسین، SSB= کود زیستی بیوسولفور، PSB= کود زیستی بیوفسفر، Chemical= کود شیمیایی اوره، Intercropping= کشت مخلوط پنیرک با شنبلیله و Control= شاهد).

Figure 3- The effect of main and sub plot levels on cumulative absorbed radiation at the end of the growing season of common mallow (Means that do not share a letter are significantly different with %95)(+Manure & -Manure = application and no application of cattle manure respectively, Nitroxin = Nitroxin biofertilizer, SSB = Sulfurous solubilizing bacteria, PSB = Phosphorus solubilizing bacteria, Chemical = Urea chemical fertilizer, Intercrop = Intercropping with Fenugreek).

در تیمار ترکیبی سه کود زیستی + کود گاوی، میزان تشعشع جذب‌شده بیشتر از تیمار کود شیمیایی اوره بود (شکل ۴-b) که شاید دلیل آن را بتوان به اثرات هم‌افزایی و متقابل کاربرد همزمان کودهای بیولوژیک با کودهای آلی نسبت داد. وجود مواد آلی، شرط لازم برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک است و مطالعات متعدد تأثیر مثبت کاربرد همزمان کودهای آلی و زیستی را تأیید کرده‌اند (Jahan, and Nassiri Mahallati, 2012; Seyyedi, and Rezvani Moghaddam, 2011; Lugtenberg, and Kamilova, 2009).

در مجموع همان‌طور که در شکل ۴ قسمت b مشاهده می‌شود، در گیاهان تحت تیمارهای توأم با کود دامی نسبت به گیاهان تحت تیمارهای فاقد کود دامی، به‌خصوص در یک‌صد روز اولیه رشد، تشعشع بیشتری جذب‌شده است که احتمالاً بالاتر بودن سرعت رشد گیاه و توسعه برگ‌ها دلیل اصلی آن بود.

شکل ٤- میزان تشعشع کل و تشعشع جذب‌شده (I_{abs}) توسط پنیرک تحت تأثیر منابع مختلف کودی و کشت مخلوط *بدون* کاربرد کود دامی (A)، منابع مختلف کودی و کشت مخلوط + کاربرد کود گاوی (B).

Figure 4- The amount of total and absorbed radiation (I_{abs}) by Common Mallow affected by different sources of fertilizers and intercropping *without* application of cow manure (A), different sources of fertilizer + application of cattle manure (B).

همچنین مشاهده می‌شود که در تیمار کشت مخلوط پنیرک با شنبلیله، تا نود روز پس از کاشت که شنبلیله به مرحله رسیدگی رسید، میزان تشعشع جذب‌شده توسط پنیرک، نسبت به دیگر تیمارها در بیشترین حد خود بود، اما پس‌ازاین مرحله که گیاه لگوم رو به زردی رفته و در نهایت برداشت شد، میزان تشعشع جذب‌شده در گیاهان تحت تأثیر این تیمارها به شدت کاهش یافت. از این رو و با

توجه به این‌که پنیرک گیاهی با فصل رشد طولانی است، شاید بتوان به‌وسیله کشت مخلوط آن با گیاه لگومی با طول فصل رشد بیشتر، روند جذب بالای نور را تا اواخر فصل رشد تداوم بخشیده و به میزان تولید ماده خشک بالایی دست پیدا کرد. بالابودن میزان جذب نور در کشت مخلوط در مطالعات متعدد دیگری نیز گزارش شده است (Keating, and Carberry, 1993; Tsubo, and Walker, 2002) که توزیع بهینه نور در داخل کانوپی (Alizadeh *et al*., 2010) و نیز تأثیر مثبت نیتروژن تثبیت شده توسط گیاه لگوم از مهم‌ترین دلایل آن بیان شده است (Bown, 1995).

تولید ماده خشک در گیاه وابسته به کارآیی مصرف نور (RUE, $g.MJ^{-1}$) و میزان تشعشع جذب‌شده (I_{abs}, $MJ.m^{-2}.day^{-1}$) است و جذب تشعشع نیز تابعی از میزان کل تشعشع برخورد کرده به کانوپی (Parsa *et al*., 2007) و سطح برگ آن است. از طرفی، نیتروژن یکی از عناصری است که تأثیر بارزی بر شاخص سطح برگ و به‌تبع آن جذب تشعشع در گیاه دارد، همچنین سرعت رشد گیاه و دوام برگ‌ها نیز بر میزان جذب تشعشع در گیاه تأثیرگذاراست (Evans, 1978).

کارآیی مصرف نور

نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع ماده خشک پنیرک ارتباط خطی با تشعشع تجمعی جذب‌شده (I_{abs}) داشت و در همه موارد ضریب همبستگی بیش از ۰/۹ بود (شکل ۶). شیب این خط بیانگر کارآیی مصرف نور است که مقدار میانگین آن در تمام تیمارهای آزمایش برابر با ۱/۲۶ گرم بر مگاژول است (شکل ۵).

سینکلیر و ماشو (Sinclair and Muchow, 1999) در مطالعه مروری خود میانگین حداکثر کارآیی مصرف نور برای گیاهان چهارکربنه نیشکر، ذرت و سورگوم را به ترتیب ۲، ۱/۷ و ۱/۴ گرم بر مگاژول و برای گیاهان سه کربنه سیب‌زمینی، آفتابگردان، برنج و جو به ترتیب ۱/۷، ۱/۵۶، ۱/۴۶، ۱/۳۹ و ۱/۳ گزارش کردند. البته مطالعات مختلف نشان می‌دهد که کارآیی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر عواملی نظیر ترکیب بیوشیمیایی دانه در مرحله پر شدن آن، انتقال مجدد نیتروژن، ژنوتیپ گیاهی، شرایط اقلیمی و محیطی، مدیریت زراعی، مرحله توسعه گیاه و سن اندام‌های گیاهی مانند ریشه و برگ که تمام آن‌ها بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه اثرگذار هستند، قرار گیرد (Soltani, and Hoogenboom, 2007; Parsa *et al*., 2007). به‌طور کلی، اختلاف‌ها در کارآیی مصرف نور در گیاهان دارویی می‌تواند از تفاوت در تخصیص مواد بین ریشه و اندام هوایی و یا تفاوت در جذب تشعشع ناشی شود (Ameri, and Nassiri Mahallati, 2008).

شکل ۵- تجمع ماده خشک در پنیرک به‌عنوان تابعی از تشعشع تجمعی جذب‌شده (شیب خط رگرسیون برابر با کارآیی مصرف نور است).

Figure 5- Common Mallow dry matter accumulation as a function of accumulated absorbed radiation (The slope of the regression line indicates radiation use efficiency).

در پژوهش حاضر نیز تیمارهای مختلف، باعث ایجاد نوساناتی در کارآیی مصرف نور گیاه دارویی پنیرک شد به صورتی که کارآیی مصرف نور در تیمار ترکیبی سه کود زیستی (نیتروکسین + بیوسولفور + بیوفسفر) + کودگاوی با مقدار ۱/۵ گرم بر مگاژول، بیشترین و در تیمار کود زیستی نیتروکسین با مقدار ۱/۰۹ گرم بر مگاژول کمترین مقدار را به خود اختصاص داد که البته تفاوت بین این مقادیر معنی‌دار

نبود.

شکل ٦- تجمع ماده خشک در پنیرک به‌عنوان تابعی از تشعشع تجمعی جذب‌شده تحت تأثیر تیمارهای مختلف (شیب خط رگرسیونی برابر با کارآیی مصرف نور است).

Figure 6- Common Mallow dry matter accumulation as a function of accumulated absorbed radiation as affected by different treats (The slope of the regression line indicates radiation use efficiency).

به‌نظر می‌رسد که ترکیب همزمان سه کود زیستی با کود دامی، بستر لازم برای رشد و همیاری ریزوباکتری‌های موجود در این کودها با پنیرک را فراهم کرده و در نهایت مزایای استفاده از این کودها شامل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، ترشحات هورمونی و اسیدی آلی و آزادسازی گوگرد و فسفر از منابع غیرقابل‌دسترس گیاه (Jahan *et al*., 2013) باعث بالا رفتن میزان کارآیی مصرف نور در گیاه پنیرک شد. از طرفی در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مقدار کارآیی مصرف نور نیز همانند میزان تشعشع جذب‌شده، در تیمارهایی که در آن‌ها کود دامی به‌کاررفته است بیشتر از تیمارهای فاقد کود دامی است که این ممکن است به دلیل بسته شدن سریع‌تر کانوپی در اثر این تیمارها باشد. با بسته شدن کانوپی، ظرفیت فتوسنتزی و کارآیی مصرف نور افزایش یافته و هر چه طول دوره بسته شدن کانوپی تا زمان برداشت طولانی‌تر باشد، عملکرد ماده خشک و کارآیی مصرف آب نیز افزایش خواهد یافت (Rinaldi, and Vonella, 2006).

بر خلاف نتایج این آزمایش، افزایش کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط، به‌خصوص کشت مخلوط ردیفی، توسط بسیاری از محققان گزارش‌شده است (Keating, and Carberry, 1993; Tsubo, and Walker, 2002; Willey, 1990) که شاید دلیل این موضوع همان‌طور که در مورد میزان جذب تشعشع گفته شد، اختلاط دوره رشدی گیاه لگوم با گیاه اصلی در ۳۰ درصد دوره رشد باشد (شکل ۳)، ازاین‌رو ترکیب پنیرک با شنبلیله نتوانست بر کارآیی مصرف نور این گیاه اثر معنی‌داری داشته باشد.

نتیجه‌گیری

میانگین کارآیی مصرف نور در گیاه دارویی پنیرک، تحت تأثیر تیمارهای مختلف این آزمایش معادل با ۱/۲۶ گرم با مگاژول (R^2=۰/۹۸) برآورد شد (شکل ۵). کاربرد کود دامی باعث افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و کاهش ضریب استهلاک نور (K) در تیمارهای آزمایش گردید (شکل ۲) و تیمار ترکیب سه کود زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و بیوفسفر + کود دامی دارای بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۲/۴۹) و کمترین مقدار ضریب استهلاک نور (K=./۴۷ , R^2=۰/۹۸) بود. همچنین در میان تیمارهای آزمایش، تیمار ترکیب این سه کود زیستی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (جدول ۳) از لحاظ میزان کل تشعشع تجمعی جذب شده در طول فصل رشد داشت و تیمارهای کود شیمیایی اوره و کود زیستی بیوفسفر در رده‌های بعدی قرار داشتند (شکل ۴)؛ بنابراین تیمار ترکیب سه کود زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و بیوفسفر + کود گاوی، احتمالاً از راه تأثیر بر هندسه فضایی کانوپی گیاه دارویی پنیرک و به دنبال آن افزایش میزان جذب تشعشع، در نهایت منجر به دستیابی به بالاترین میزان کارآیی مصرف نور در میان تیمارهای آزمایش شد. از این رو و با توجه به هدف آزمایش که مقایسه نهاده‌های بوم‌سازگار برای جایگزینی با کودهای شیمیایی بود، به‌نظر می‌رسد که ترکیب این سه کود زیستی توأم با کاربرد کود گاوی، توانایی رقابت با کود شیمیایی اوره از لحاظ شاخص‌های مکانیستیک آنالیز رشد گیاه نظیر جذب تشعشع و کارآیی مصرف نور را دارا است (شکل‌های ۴ و ۶). همچنین تیمار کشت مخلوط پنیرک با شنبلیله نیز تا زمانی که دوره رشد هر دو گیاه دارای هم‌پوشانی بود (یک‌صد روز پس از کاشت)، از لحاظ شاخص‌های نوری مورد بررسی، نسبت به دیگر تیمارها برتری‌هایی را نشان داد که توصیه می‌شود ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط پنیرک با دیگر گیاهان هم مورد آزمایش قرار گیرد. با توجه به اهمیتی که ضریب استهلاک نور (K) و کارآیی مصرف نور (RUE) در مباحثی مانند مدل‌سازی رشد گیاهان دارد، توصیه می‌شود که این پارامترها در شرایط مختلف مدیریتی و اقلیمی مورد ارزیابی قرار گیرند.

References

1. Alizadeh, Y., Koocheki, A. R., and Nassiri Mahallati, M. 2010. The evaluation of radiation absorption and use efficiency of row intercropping of bean and basil. Journal of Agroecology 2 (1): 85-94 (in Persian with English abstract).
2. Ameri, A. A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Effects of nitrogen application and plant densities on flower yield, essential oils, and radiation use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis* L.). Pajouhesh & Sazandegi 81: 133-144. (in Persian with English abstract).
3. Barikbin, B, Maarefat, A., Rahgoshai, R., Moravvej, H., Mohtasham, N., and Yousefi, M. 2010. *Malva Sylvestris* in the treatment of hand eczema. Iranian Journal of Dermatology 13: 131-134.
4. Bown, D. 1995. Encyclopedia of herbs and their uses. Dorling Kindersley, New York.
5. Caviglia, O. P. and Sadras, V. O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation-use efficiency of wheat. Fields Crop Research 69: 259-266.
6. Evans. L.T. 1978. Crop Physiology. Cambridge University Press.
7. Farooqi, A.A., and Sreeramu, B. 2001. Cultivation of medicinal and aromatic crops. Universities Press.

8. Francescangeli, N., Sangiacomo, M. A., and Marti, H. 2006. Effects of plant density in broccoli on yield and radiation use efficiency. Scientia Horticulturae 110: 135-143.
9. Ghasemi Pirbalouti, A., Yousefi, M., Nazari, H., Karimi, I., and Koohpayeh, A. 2009. Evaluation of Burn Healing Properties of *Arnebia euchroma* and *Malva sylvestris*. Electronic Journal of Biology 5 (3): 62-66.
10. Gliessman, S. R. 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
11. Hughes, G., Keatinge, J. D. H., Cooper, P. J. M., and Dee, N. F. 1987. Solar radiation interception and utilization by chickpea (*Cicer arientinum* L.) crops in northern Syria. Journal of Agricultural Science, Cambridge 108:419-424
12. IUCN. 1993. Guideline on the conservation of medicinal plants.
13. Jahan, M., Koocheki, A. R., Tahami, M. K., Amiri, M. B., and Nassiri Mahallati, M. 2012. The effects of simultaneous application of different organic and biological fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Cucurbita pepo* L. Journal of Life Science 6: 1145-1149.
14. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M. B., and Ehyayi, H. R. 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606- 611.
15. Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Soil Fertility and Biofertilizers: An Agroecological approach. Ferdowsi University Press.250 pp. ISBN: 978-964-385-277-0
16. Johnson, W. C., and William, O. W. 2002. Warfarin toxicity. Journal of Vascular Surgery 35: 413-421.
17. Karimian, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Influence of nitrogen and plant density on light absorption and radiation use efficiency in two spring rapeseed cultivars. Iranian Field Crops Research 7 (1): 163-172.
18. Keating, B.A., and Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research 34: 273-301.
19. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2008. Evaluation of radiation interception and use efficiency by maize and been intercropping canopy. Agroecology 1: 23-31. (in Persian with English abstract).
20. Koocheki, A. R., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Mellati, F. 2014. The evaluation of radiation absorption and use efficiency of row intercropping of wheat and soybean. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (4): 533-542 (in Persian whith English abstract).
21. Koocheki, A. R., and Sarmadnia, G. H. 1999. Phisiology of crop plants. Jahad Daneshgahi of Mashhad publication, Mashhad, Iran. (in Persian).
22. Lugtenberg, B., and Kamilova, F. 2009. Plant growth promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology 63: 541-556.
23. Malik, A. A., Suriapani, S., and Ahmad, J. 2011. Chemical vs. organic cultivation of medicinal and aromatic plants: the choice is clear. International Journal of Medicinal and Aromatic Plants 1 (1): 5-13.
24. Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society B 281: 277-294.
25. Nassiri Mahallati, M. 2000. Modelling of Crops Growth Processes. Jahad Daneshgahi, Mashhad, Iran. (in Persian).
26. Parsa, S., Koocheki, A. R., Nassiri Mahallati, M., and Ghaemi, A. R. 2007. Seasonal variations of radiation bsorption and use efficiency of sugar beet. Iranian Field Crops Research 5 (2): 229-238. (in Persian withought English abstract).
27. Qazi, M. A., Akram, M., Ahmad, N., Artiola, J., and Tuller, M. 2009. Economic and environmental implication of solid waste compost application to agricultural fields in Punjab, Pakistan. Waste management 29 (9): 2437-2445.
28. Rinaldi, M., and Vonella, A. V. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) toirrigation in southern Italy: water and radiation use efficiency. Field Crops Research 95:103-114.
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. Seyyedi, S. M., and Rezvani Moghaddam, P. 2011. The Evaluation of yield, yield components and Nitrogen use efficiency with using mushroom compost, biofertilizer and urea in wheat. Journal of Agroecology 3 (3): 309-319. (in Persian with English abstract).
31. Sinclair, T. R., and Muchow, R. C. 1999, Radiation use efficiency. Advances in agronomy 65: 215-265.
32. Sleiman, N. H. 2006. The effect of *Malva sylvestris* on inflammation, gastric damage, lipemia, glycaemia and microbial growth. M.Sc. thesis, Molecular biology department, Lebanese American University.
33. Soltani, A., and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research 103: 198-207.
34. Tabaraki, R., Yosefi, Z., and Asadi Gharne, H. A. 2012. Chemical Composition and Antioxidant Properties of Medicinal Plant*Malvasylvestris* L. Journal of Research in Agricultural Science 8: 59-68.
35. Tsubo, M., and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use by a maize/bean intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 110:203-215.

36. UNESCO. 1998. Promotion of ethnobotany and the sustainable use of plant resourcesin Africa. FIT/504-RAF-48 Terminal report, Paris.
37. WHO. 2002. WHO traditional medicine strategy 2002-2005.Geneva, Available at website http://www.who.int/medicines/library/trm/trm_strat_eng.
38. Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agricultural Water Management 17: 215–231.
39. Yunusa, I.A.M., Siddique, K. H. M., Belford, R. K., and Karimi, M. M. 1993. Effect of canopy structure on efficiency of radiation interception and use in spring wheat cultivars during the preanthesis period in a Mediterranean- type environment. Field Crops Research 35:113-122
40. Zhang, F., and Li, L. 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 136-149

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۴۹-۱۳۶

Radiation Absorption and Use Efficiency of Common Mallow (*Malva sylvestris* L.) Affected by Different Sources of Organic, Biological and Chemical Fertilizers and Intercropping with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*)

S. A. R. Razavi[1]- M. Jahan[2*]- M. Nassiri Mahallati[3]- K. Hajmohammad nia Ghalibaf[4]

Received: 26-06-2015
Accepted: 07-02-2016

Introduction

Over one billion people, mostly in developing countries, use medicinal plants for the whole life or some part of it or at least prefer them to the synthetic drugs. According to a study of World Bank, trade in medicinal plants will have a share of over 5$ trillion in global trade in 2050. Growing population during last century and the demand for harvesting medicinal plants from natural areas, particularly those which commonly used, endangered these species with the risk of extinction. Common Mallow (*Malva sylvestris* L.) is a medicinal plant commonly used as a natural remedy and other industries e.g. cosmetic industry. On the other hand, negative impacts of synthetic agricultural inputs on human health, the need for producing healthy commodities, replacing chemical agricultural inputs with some environmental friendly ones, and paying attention to new concepts like sustainability, lead agroecologists to introduce ecologically alternatives to farmers, in order to be replaced with chemical fertilizers. Using Plant growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and fungi symbiotic with many vascular plants, is one of these alternatives. Mechanistic crop growth analysis including radiation absorption and use efficiency was compiled in agricultural researches from 1950, farther than classical analysis. Thus, the goal of this experiment is to evaluate radiation absorption and use efficiency of Common Mallow under the effect of different sources of biological, chemical and organic fertilizers and intercropping with Fenugreek (*Trigonellafoenum-graecum*).

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split plot design based on RCBD with three replications at the research farm of Ferdowsi University of Mashhad during the growing season of 2013. The main plot factor had two levels: 1-application of cattle manure and 2-no application of cattle manure, and the sub plot factor had seven levels as: 1- Nitroxin®, 2-Sulphur solubilizing bacteria (SSB) 3-Phosphate solubilizing bacteria (PSB), 4-Nitroxin + SSB + PSB, 5- Chemical fertilizer, 6-Row intercropping with Fenugreek, and 7- Control. Inoculation of seeds with boifertilizers done in standard situation recommended by their producers and the CFU of all biofertilizers were more than 10^8. On 25 of March, 25 ton.ha^{-1} of cattle manure distributed by hand in needed plots. The sowing operation was done on March 30.The total area of a plot was 12 square meters and the distance between and on the rows were 50 and 20 cm, respectively. Leaf area index, dry matter and the radiation above, and transmitted through, the canopy measured each 14 days (with a Linear Septometer, SunScan, Delta T Co., UK). Then the total radiation absorption for each plot was calculated by the relevant equations. Finally, radiation use efficiency is estimated with measuring the slope of the regression line between cumulative absorbed radiation and dry matter of the plant.

Results and Discussion

The results showed that application of cattle manure increased LAI, particularly in the early stages of Common Mallow growth, and the highest level of LAI was on the treatment of "Nitroxin + SSB + PSB + Cattle manure" and "Chemical fertilizer + cattle manure" with 2.49 and 2.37, respectively. This is while, in the absence of cattle manure, chemical fertilizer had more effect on increasing LAI compared to the biofretilizers. Application of cattle manure also reduced the light extinction coefficient (K) of the plant, while "Nitroxin + SSB + PSB + Cattle manure" treatment had the least K value (K=0.47, R2=0.98). ANOVA results showed all experimental treatments had a significant effect ($P \leq 0.001$) on the cumulative absorbed radiation of Mallow during the growing season. The most accumulated absorbed radiation occurred under Nitroxin + SSB + PSB treatment (by mean of 986.6 MJ.m^{-2}), while application and no-application of cattle manure had no significant

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student, Associate Proffessor, Proffessor and Assistant professor Respectively, Department of Agronomy and Plants Breeding, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: jahan@um.ac.ir)

effect on radiation absorption. The total calculated mean of RUE was 1.26 $g.MJ^{-1}$. Nitroxin inoculation resulted in the least RUE (1.09 g.MJ-1) and Nitroxin + SSB + PSB inoculation plus cattle manure application had the highest RUE (1.5 $g.MJ^{-1}$).

Conclusions

Generally, according to the goals of the experiment which were comparing some ecological inputs with chemical fertilizer from the point of mechanistic crop growth analysis factors such as radiation absorption and RUE, it seems that mixture of the three biological fertilizers of Nitroxin + SSB + PSB plus application of cattle manure can compete with chemical nitrogen fertilizer in such factors.

Keywords: Azospirillum, Azotobacter, Cattle manure, Light extinction coefficient, Pseudomonas

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 150-167

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۶۷-۱۵۰

تأثیر دو گونه قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی دانه توده‌های محلی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در سطوح مختلف تنش خشکی

اسماعیل قلی‌نژاد[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۹

چکیده

این آزمایش به‌منظور بررسی اثرات همزیستی با دو گونه قارچ میکوریزا بر درصد و عملکرد روغن، درصد و عملکرد پروتئین و عملکرد دانه ۸ توده محلی کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت فاکتوریل- اسپلیت پلات با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه اجرا گردید. فاکتور اول شامل سطوح مختلف آبیاری (آبیاری معمولی: آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه، تنش ملایم: آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه و تنش شدید: آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه)، فاکتور دوم شامل عدم تلقیح و تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزای *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و فاکتور سوم شامل ۸ توده محلی کنجد (جیرفت ۱۳، محلی طارم زنجان، محلی مغان، ناز چند شاخه، TC-25، TS-3، داراب ۱۴ و دشتستان ۵) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تاثیر سطوح مختلف آبیاری، میکوریزا و ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه، درصد روغن، درصد پروتئین، عملکرد روغن، عملکرد پروتئین و عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تنش شدید خشکی عملکرد روغن و عملکرد پروتئین را به‌ترتیب به میزان ۶۷ و ۶۶درصد کاهش داد. استفاده از دو گونه قارچ میکوریزا نسبت به حالت عدم استفاده از قارچ باعث افزایش عملکرد دانه و بهبود صفات کیفی دانه شد. رابطه بین صفات کیفی دانه با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود و بالاترین ضریب همبستگی برای عملکرد پروتئین و عملکرد روغن با عملکرد دانه ($r=۰/۹۹^{**}$) به‌دست آمد. در بین توده‌های محلی کنجد مورد بررسی، ژنوتیپ‌های محلی مغان و طارم زنجان از نظر عملکرد دانه (به‌ترتیب ۲۰۶/۳۱ و ۱۷۷/۹۶ گرم بر مترمربع)، روغن (به‌ترتیب ۱۴۷/۷۰ و ۱۲۱/۳۴ گرم بر مترمربع) و پروتئین (به‌ترتیب ۷۶/۵۷ و ۶۲/۷۰ گرم بر مترمربع) در هر سه شرایط مختلف آبیاری، برتر از سایر توده‌ها بودند. این توده‌ها به‌عنوان توده‌های محلی برتر معرفی می‌گردند. با توجه به نتایج این تحقیق، جهت بهبود صفات کیفی مانند درصد روغن و پروتئین تلقیح با قارچ‌های میکوریزا به‌خصوص گونه *G.mosseae* توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: دانه روغنی، عملکرد بیولوژیک، *قارچ موسه‌آ*، *قارچ اینترارادیس*، کمبود آب

مقدمه

کمبود منابع آبی یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولید در سیستم‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که محدوده تأمین سایر منابع و همچنین کارایی مصرف آنها را متاثر می‌سازند (Kenan *et al*., 2007). تحمل به تنش خشکی در کنجد مهم می‌باشد زیرا زمانی که تحت تنش خشکی ملایم و شدید قرار می‌گیرد کیفیت و عملکرد دانه ممکن است تحت تنش خشکی کاهش یابد در صورتی که از ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی استفاده نشود (Golestani and Pakniyat, 2007). سطح زیر کشت کنجد (*Sesamum indicum* L.) در جهان حدود ۷۸۹۷۰۴۸ هکتار و تولید آن حدود ۴۰۳۶۲۸۹ تن با متوسط عملکرد ۵۱۱ کیلوگرم در هکتار است (FAO, 2012). در ایران سطح زیر کشت کنجد حدود ۴۰۰۰۰ هکتار و تولید آن حدود ۲۸۰۰۰ تن با متوسط عملکرد ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار می باشد (FAO, 2012). در ارزیابی کارآیی مصرف آب و عملکرد دانه ارقام کنجد در شرایط آبیاری متفاوت (آبیاری پس از ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، گزارش نمودند که با افزایش شدت کمبود آب عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کاهش یافت (Eskandari *et al*., 2010). محققان دیگری نیز بیان داشتند که تیمارهای مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر زیست توده، عملکرد دانه و عملکرد روغن کنجد داشت (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014). گزارش شده است که با افزایش تنش خشکی، عملکرد دانه کنجد کاهش یافت و بیشترین عملکرد بیولوژیک از دور آبیاری ۵ روز و از ژنوتیپ J113 بدست آمد (Saeidi *et al*., 2012). افزایش فواصل آبیاری باعث کاهش رشد و عملکرد

۱- دانشیار گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gholinezhad1358@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.49403

دانه کنجد به دلیل تأثیر تنش خشکی بر مراحل مختلف فتوسنتز، کاهش محتوای روغن و پروتئین شده است (Al-Palsan *et al*., 2001; Mensah *et al*., 2006). نتایج تحقیق در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد (Heidari *et al*., 2011). نتایج مطالعه‌ای (Mensah *et al*., 2006) نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری عملکرد دانه کنجد از ۶/۰۹ گرم در هر بوته به ۵/۹ گرم در هر بوته کاهش یافت. در مطالعه‌ای (Tantawy *et al*., 2007) در بررسی تاثیر کمبود آب بر ارقام مختلف کنجد بیان کردند که با کاهش دور آبیاری (از ۷ دور به ۵ دور) عملکرد دانه کنجد حدود ۶/۴۲ درصد کاهش یافت. دلیل کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن و پروتئین در شرایط کمبود آب، کاهش شاخص سطح برگ، کاهش محتوای نسبی آب برگ و کاهش دوام سطح برگ گزارش شده است کاهش وزن خشک گیاه تحت رطوبت پایین خاک ممکن است به دلیل کاهش سطح برگ و کاهش میزان فتوسنتز باشد (Sinaki *et al*., 2007; Zubarer *et al*., 2007). یکی از فاکتورهایی که به عنوان تعدیل کننده‌های تنش خشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد قارچ میکوریزا می‌باشد. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار[1] (AM)، یکی از انواع کودهای زیستی بوده و جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم نظام‌های طبیعی می‌باشند (Panwar and Tarafdar, 2006). مطالعات مختلف نشان داده که همزیستی قارچ‌های میکوریزا با ریشه گیاهان، از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری زا، سبب بهبود رشد و نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌گردند (Sainz *et al*., 1998). محققان طی آزمایشی دریافتند که همزیستی میکوریزا و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) مقاومت به تنش‌های خشکی و شوری را در گیاه میزبان افزایش داد (Cho *et al*., 2006). تحقیقات متعدد حاکی از آن است که میکوریزا قادر است اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نماید (Barea, 1992). نتایج مطالعات نشان داده است که با استفاده از همزیستی میکوریزایی در گیاه سورگوم می‌توان بخشی از کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی را جبران نمود (Rahimi *et al*., 2009). محققان در مطالعه‌ای (Jamshidi *et al*., 2009) نشان دادند که قارچ میکوریزا *گلوموس موسه* (*Glomus mosseae*) دارای قدرت همزیستی بیشتری در مقایسه با میکوریزا *گلوموس هویی* (*Glomus hoei*) در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) بود. پژوهش‌ها نشان داده است که همزیستی میکوریزایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد رویشی پسته (*Pistachio vera*) را در شرایط تنش خشکی افزایش داد به طوری که *گلوموس موسه* (*Glomus mosseae*) و *گلوموس انترارادیس* (*Glomus intraradices*) به ترتیب ۱۰۰ و ۷۰ درصد ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند (Bagheri *et al*., 2013). نتایج برخی از تحقیقات نشان داده که قارچ میکوریزا صفات کمی و کیفی گشنیز (*Coriandrum sativum*) را افزایش داد (Aliabadi *et al*., 2008). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که در تمام سطوح تنش خشکی، میکوریزا *گلوموس انترارادیس* (*Glomus intraradices*) منجر به افزایش وزن ماده خشک در مقایسه با شاهد شد (Nadian, 2011). در مطالعه دیگری نشان داده شد که کلنی‌سازی میکوریزایی به ویژه توسط گونه *گلوموس موسه* (*Glomus mosseae*) سبب بهبود مقاومت به تنش خشکی و جبران بخشی از کاهش عملکرد در گیاه پایه مرکبات مکزیکن لایم شد (Haghighatnia *et al*., 2012). ساز و کارهای مختلفی برای تخفیف اثر منفی تنش خشکی بر رشد گیاه به واسطه همزیستی با قارچ میکوریزا عنوان گردیده است که از جمله آنها به افزایش پتانسیل آب برگ، آهنگ جذب و ترکیب گاز کربنیک و آهنگ تعرق، (Amerian *et al*., 2001)، اصلاح تغذیه فسفر گیاه میزبان (Bethlenfalvay *et al*., 1988)، افزایش جذب آب بوسیله ریسه‌ها (Faber *et al*., 1991)، افزایش دانسیته طول ریشه (Bryla and Duniway, 1997) و تنظیم اسمزی بوسیله افزایش جذب نمک‌های محلول کلسیم، پتاسیم، منیزیم، و نیز قندها و نشاسته قابل حل در برگ‌ها (Wu and Xia, 2006) می‌توان اشاره نمود. علی رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد همزیستی قارچ‌های میکوریزایی با گیاهان مختلف زراعی صورت گرفته (Soleimanzadeh, 2010)، هنوز اطلاعات محدودی در رابطه با همزیستی گیاه کنجد با این قارچ‌ها در شرایط بروز تنش خشکی وجود دارد لذا این آزمایش با هدف بررسی تأثیر همزیستی دو گونه مختلف از قارچ‌های میکوریزا بر درصد و عملکرد روغن، درصد و عملکرد پروتئین و عملکرد دانه توده‌های محلی مختلف کنجد تحت تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی در ارومیه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات دو گونه قارچ میکوریزا بر درصد و عملکرد روغن، درصد و عملکرد پروتئین و عملکرد دانه ۸ توده محلی کنجد در سطوح مختلف تنش خشکی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل- اسپلیت پلات با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی هنرستان کشاورزی ارومیه واقع در ۱۲ کیلومتری جاده ارومیه- مهاباد اجرا گردید. طول جغرافیایی محل آزمایش ۴۵ درجه و ۲ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۲ متر می‌باشد. براساس آمار هواشناسی، منطقه با داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. فاکتور اول سطوح مختلف آب شامل

1- Arbuscular mycorrhizal

آبیاری معمولی: آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc، تنش ملایم: آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc و تنش شدید: آبیاری بعد از ۱۱۰ میلیمتر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc، فاکتور دوم شامل دو گونه قارچ میکوریزا *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* (قارچهای میکوریزا از شرکت تحقیقاتی زیست فناوری توران شاهرود تهیه شد و در زیر میکروسکوپ اسپورهای موجود بررسی گردید و در تیمارهای مربوطه در هر چاله ۱۰ گرم قارچ ریخته شده سپس روی قارچ با خاک به اندازه دو سانتیمتر پوشش داده شده و بذرها روی خاک کاشته شدند و مجددا روی بذرها حدود سه سانتی‌متر با خاک پوشانده شد) و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و فاکتور سوم شامل ۸ توده محلی کنجد (این توده‌ها از مؤسسه نهال و بذر کرج تهیه شد) به‌نام‌های جیرفت ۱۳ (بومی جیرفت– چند شاخه– تک‌گل– بدون کرک)، محلی طارم زنجان (بومی طارم– چند شاخه – تک گل – بدون کرک – مخصوص مناطق شمال)، محلی مغان (کم کرک – ارتفاع زیاد – چندشاخه – تک‌گل – کپسول بلند– مخصوص مناطق شمال)، ناز چند شاخه (چندشاخه – سه گل– مخصوص مناطق شمال)، TC-25 (تک گل– چند شاخه)، TS-3 (بدون کرک – چند شاخه)، داراب ۱۴ (بومی داراب– تک‌گل– چند شاخه– بدون کرک) و دشتستان ۵ (بومی دشتستان– تک گل– چند شاخه– بدون کرک) بود. بذر توده‌ها در ۵ و ۶ خرداد ماه سال ۱۳۹۳ با فاصله ردیف ۵۰ و فاصله بوته ۱۵ سانتی‌متر کشت شدند. هر کرت دارای ۶ خط کاشت به طول ۶ متر بود. کاشت به‌صورت جوی و پشته و آبیاری به روش نشتی انجام گرفت. در موقع کاشت در هر کپه ۳ عدد بذر قرار داده شد که بعدا در مرحله ۲–۴ برگی بوته‌های اضافی تنک شدند. تا مرحله ۲–۴ برگی و استقرار کامل گیاه همه تیمارها به‌طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of site soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS/m^{-1})	اسیدیته pH	درصد مواد خنثی شونده C.C.E	رطوبت اشباع Saturation moisture (٪)	آهک lime (٪)	رس clay (٪)	سیلت silt (٪)	شن sand (٪)	کربن آلی Organic Carbon (٪)	نیتروژن Nitrogen (٪)	فسفر Posphorus ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($mg\ kg^{-1}$)
0-30	Loam-clay loam	0.77	7.69	22.8	30	–	38	36	26	1.11	0.11	5.21	221

جدول۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش، تبخیر و رطوبت هوا در طی فصل رشد کنجد در منطقه مورد مطالعه

Table 2- The mean monthly temperature, precipitation, evaporation and humidity during the growing season of sesame in the studied area

پارامترهای هواشناسی Meteorological parameters	ماه Month				
	شهریور August	مرداد July	تیر June	خرداد May	اردیبهشت April
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature maximum (^{0}C)	31.4	33.2	32.7	27.8	24.1
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature minimum (0C)	12.6	15.7	15.8	11	9.2
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature mean (0C)	22	24.4	24.5	19.4	16.6
مجموع بارندگی (میلی‌متر) Participation sum (mm)	0.1	0.0	0.0	24.1	35.1
کل تبخیر (میلی‌متر) Total evaporation (mm)	236.7	281.8	238	255.9	190.3
میانگین رطوبت نسبی (٪) Humidity mean (%)	43	42	44	51	53

مقدار آب سهل‌الوصول در هریک از تیمارهای آزمایشی از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Mosavi Moghadam *et al*., 2014).

$$RAW=\frac{FC-PWP}{100}\times \rho \times D \times MAD \quad (۱)$$

در این فرمول RAW= آب سهل‌الوصول (میلی‌متر)، FC= ظرفیت زراعی، PWP= نقطه پژمردگی دایم، ρ= وزن مخصوص ظاهری D= عمق توسه ریشه بر حسب میلی‌متر، MAD= ضریب آب سهل الوصول می‌باشد. ضریب آب سهل‌الوصول با F یا θ نیز نشان داده می‌شود. MAD= ضریب آب سهل‌الوصول همان آب قابل استفاده است که بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دایم قرار گرفته است. این ضریب در آبیاری مطلوب ۰/۶۵، در تنش ملایم ۰/۸ و در تنش شدید ۰/۹۵ در نظر گرفته شد (Mousavi and Akhavan, 2008). با توجه به نوع خاک که لومی رسی بود ظرفیت زراعی خاک ۲۷، نقطه پژمردگی دایم ۱۳ و وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۳۵ در نظر گرفته شد. عمق توسعه ریشه در کنجد ۶۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. به‌عنوان نمونه مقدار آب سهل‌الوصول (میلی‌متر) در شرایط آبیاری مطلوب برابر بود (Mousavi and Akhavan, 2008). با:

$$RAW=\frac{27-13}{100}\times 1.35 \times 600 \times 0.65 \quad (۲)$$

در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی آب سهل‌الوصول یا RAW به‌ترتیب برابر ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر بدست آمد که معادل تبخیر و تعرق گیاه یا ETc در نظر گرفته شد (Mousavi and Akhavan, 2008). بر این اساس مقدار آبی که برای هر تیمار داده شد برابر است با (Mousavi and Akhavan, 2008):

$$V=\frac{70\,mm}{1000\frac{mm}{m}}\times 30\,m^2=2.1\,m^3 \quad (۳)$$

$$V=\frac{90\,mm}{1000\frac{mm}{m}}\times 30\,m^2=2.7\,m^3 \quad (۴)$$

$$V=\frac{110\,mm}{1000\frac{mm}{m}}\times 30\,m^2=3.3\,m^3 \quad (۵)$$

در فرمول‌های بالا، V= حجم آب آبیاری برای هر تیمار در هر نوبت آبیاری، ۷۰= تبخیر و تعرق گیاه برای آبیاری مطلوب، ۹۰= تبخیر و تعرق گیاه برای تنش ملایم خشکی، ۱۱۰= تبخیر و تعرق گیاه برای تنش شدید خشکی و ۳۰= مساحت هر بلوک در هر تیمار می‌باشد. بدین ترتیب حجم آب مورد نیاز در هر مرتبه آبیاری در هر تیمار محاسبه و بر اساس کارآیی توزیع آب ۹۰ درصد با استفاده از هیدروفلوم و کورنومتر به صورت یکنواخت توزیع گردید (Ashrafi *et al*., 1997).

$$ET_O= ET_P \times K_P \quad (۶)$$

$$ET_C= ET_O \times K_C \quad (۷)$$

در این فرمول‌ها ETo= تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، ETp= تبخیر و تعرق تشتک تبخیر، ETc= تبخیر و تعرق گیاه، Kc=ضریب گیاهی کنجد، Kp= ضریب تشتک تبخیر می‌باشند.

در پایان فصل رشد برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (۳۰ شهریور)، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، از خطوط وسط به مساحت ۲ مترمربع انتخاب و عملیات برداشت انجام شد، درصد روغن، با دستگاه سوکسله (Association Official Analytical Chemists, 1990; Safari, 2006) و درصد پروتئین با دستگاه کجلدال (Hosseini, 1995) مدل v40 اندازه‌گیری شد (درصد نیتروژن محاسبه و سپس در عدد ۶/۲۵ ضرب شد) (Tkachuk, 1969). عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه و عملکرد پروتئین از حاصل ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه محاسبه گردید. برای محاسبه شاخص برداشت پروتئین نیز عملکرد پروتئین را بر عملکرد بیولوژیک تقسیم کرده و حاصل در عدد ۱۰۰ ضرب شد (Mosavi Moghadam *et al*., 2014). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS ۹/۲، MSTATC ۱/۴۲ انجام و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اثرات ساده آبیاری، میکوریزا، ژنوتیپ و اثرات برهمکنش آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش معنی‌داری یافت به‌طوری که تنش خشکی شدید و ملایم نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، عملکرد دانه را به میزان ۶۳ و ۳۱ درصد کاهش داد (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌تواند به علت بسته شدن روزنه‌ها، افزایش آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین‌ها و کلروفیل باشد که باعث کاهش سرعت و میزان فتوسنتز، مقدار مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد (Gholinezhad *et al*., 2009; Gholinezhad *et al*., 2010). بیشتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل کاهش رقابت بین گیاهان، افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و افزایش تعداد کپسول در بوته باشد. تلقیح با قارچ میکوریزا گونه‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد دانه را به میزان ۳۳ و ۱۱ درصد بهبود بخشید. دلیل این امر ممکن است مرتبط با تأثیر میکوریزا بر تثبیت نیتروژن، فسفر، ماندگاری بیشتر برگ‌ها روی گیاه، حفظ و افزایش اندازه برگ و نیز

بهبود میزان فتوسنتز به واسطه کلروفیل بیشتر باشد (Habibzadeh *et al*., 2012; Khalvati *et al*., 2005; Marulanda *et al*., 2003). محققان (Raei *et al*., 2015) دیگری نیز در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک (عدم تلقیح، قارچ مایکوریزا، باکتری ازتوباکتر، مخلوط باکتری ازتوباکتر و قارچ مایکوریزا) بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) به چنین نتایجی دست یافتند. تأثیر میکوریزا در بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی شدید مؤثرتر از شرایط آبیاری مطلوب بود. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد قارچهای میکوریزا در طی دوره تنش خشکی با افزایش پتانسیل آب برگ (Ladjal *et al*., 2005)، افزایش سرعت مصرف دی‌اکسیدکربن (Amerian *et al*., 2001) و افزایش میزان تعرق (Bethlenfalvay *et al*., 1988) و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان (Kothari *et al*., 1990) قادرند اثرات تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند. در مطالعه‌ای (Sharma, 2003) گزارش شده است که تلقیح با قارچ میکوریزا باعث بالا رفتن کارآیی جذب نیتروژن و فسفر، افزایش رشد و عملکرد دانه در گیاه می‌شود. در بین توده‌های مورد بررسی، بیشترین عملکرد دانه در توده‌های محلی مغان و محلی طارم زنجان در شرایط آبیاری مطلوب و کمترین میزان عملکرد دانه در توده‌های محلی جیرفت ۱۳ و TS-3 مشاهده شد (جدول ۷). در تحقیقی روی کنجد، لاین JL-13 را به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی شد که توانسته بود هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش خشکی عملکرد دانه بیشتری تولید کند (Ayeen, 2013).

عملکرد بیولوژیک

تأثیر اثرات ساده آبیاری، میکوریزا، ژنوتیپ و آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات بر همکنش میکوریزا× ژنوتیپ نیز بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهکنش آبیاری مطلوب× ژنوتیپ، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در توده محلی مغان در شرایط آبیاری مطلوب (۱۱۸۸/۴۰ گرم بر مترمربع) و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در ژنوتیپ TS-3 در شرایط تنش خشکی شدید (۱۳۶/۹۱ گرم بر مترمربع) مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی شدید، از نظر عملکرد بیولوژیک بین توده‌های جیرفت ۱۳، ناز چند شاخه، داراب ۱۴ و دشتستان ۵ با توده TS-3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). دلیل افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب، احتمالاً گسترش بیشتر و دوام بهتر سطح برگ بوده که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک شده است. این نتایج با نتایج Gholinezhad *et al*, 2009 مطابقت داشت. گزارشات دیگری نیز وجود دارند که تنش خشکی عملکرد بیولوژیک را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. در این گزارشات دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک، کاهش شاخص سطح برگ در تیمارهای تحت تنش خشکی بیان شده است که جذب نور در جامعه گیاهی را کاهش داده و به تبع آن ماده خشک تولیدی کاهش می‌یابد (Ayeen, 2013; Eskandari *et al*., 2010; Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011). تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* نسبت به عدم تلقیح با قارچ میکوریزا، عملکرد بیولوژیک را به میزان ۴۳ و ۲۰ درصد بهبود بخشید (جدول ۸). تأثیر قارچ میکوریزا بر افزایش رشد گیاه میزبان تحت شرایط تنش خشکی احتمالاً از طریق بهبود دسترسی به فسفر بوده است زیرا دسترسی به فسفر در خاک‌های خشک کاهش می‌یابد (Subramanian *et al*., 2006). کاهش رطوبت خاک باعث کاهش سرعت انتشار مواد مغذی مخصوصا فسفر از خاک به سطح جذبی ریشه شده لذا کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش جذب فسفر توسط ریشه گیاه هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش می‌شود (Hetrick *et al*., 1996). بیشترین عملکرد بیولوژیک در توده محلی مغان و طارم زنجان در شرایط تلقیح با قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در ژنوتیپ TS-3 در شرایط عدم مصرف قارچ میکوریزا مشاهده شد (جدول ۸). در تحقیقی روی کنجد، TS-3 را به‌عنوان رقم برتر معرفی کردند (Eskandari *et al*., 2010).

درصد پروتئین

روند مشابهی در تأثیر تیمارها بر درصد پروتئین با درصد نیتروژن مشاهده شد. بیشترین درصد پروتئین در شرایط آبیاری مطلوب و از توده‌های محلی طارم زنجان و مغان به ترتیب به مقدار ۲۳/۹۸ و ۲۴/۰۰ درصد حاصل شد که با شرایط تنش خشکی ملایم این توده‌ها تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۷). کمترین درصد پروتئین از شرایط تنش خشکی شدید و از توده‌های محلی TS-3 و جیرفت ۱۳ بدست آمد. در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی نیز بیشترین مقدار درصد پروتئین به توده محلی مغان مربوط بود (جدول ۷). تنش خشکی شدید در مقایسه با آبیاری مطلوب، درصد پروتئین توده‌های محلی را به میزان ۹ درصد کاهش داد. با افزایش تنش خشکی تا حد ملایم درصد پروتئین افزایش پیدا کرد ولی با افزایش تنش خشکی شدید کاهش معنی‌داری یافت همسو با نتایج این تحقیق، سایر محققان نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند (Al-Palsan *et al*., 2001; Mensah *et*., 2006). به‌طور کلی مصرف قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، درصد پروتئین را به میزان ۵ درصد افزایش داد بین کاربرد قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* از نظر درصد پروتئین تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). نتایج این تحقیق با یافته‌های Timajchi *et al*, 2010 در خصوص تأثیر همزیستی میکوریزایی در

گیاه ذرت (*Zea mays* L.) همخوانی داشت.

درصد روغن

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود تاثیر برهمکنش اثرات سه‌گانه آبیاری× میکوریزا× ژنوتیپ بر درصد روغن دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نشان‌دهنده آن است که با افزایش شدت تنش خشکی درصد روغن کاهش معنی‌داری پیدا کرد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، درصد روغن را به ترتیب به میزان ۱۱ و ۱۰ درصد کاهش داد. با تلقیح قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی شدید، کاهش درصد روغن تا حدودی جبران گردید به‌طوری که مصرف قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* نسبت به عدم تلقیح، درصد روغن را ۲ درصد بهبود بخشید (جدول ۹). در شرایط تنش خشکی ملایم نیز مصرف قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* نسبت به عدم تلقیح، درصد روغن را به ترتیب ۹ و ۸ درصد بهبود بخشید (جدول ۹). در شرایط آبیاری مطلوب تلقیح قارچ میکوریزا گونه *G. mosseae* و گونه *G. intraradices* نسبت به عدم تلقیح، درصد روغن را حدود ۷ و ۴ درصد افزایش داد (جدول ۹). بیشترین مقدار درصد روغن از توده‌های محلی مغان (۵۰/۰۱ درصد) و طارم زنجان (۴۹/۷۰ درصد) در شرایط آبیاری مطلوب و مصرف قارچ میکوریزا از گونه *G. mosseae* بدست آمد و کمترین مقدار درصد روغن دانه از توده محلی TS-3 (۳۸/۳۶ درصد) در شرایط تنش خشکی شدید و عدم مصرف قارچ میکوریزا حاصل شد هرچند تحت شرایط تنش خشکی شدید بین توده‌های محلی جیرفت ۱۳، ناز چند شاخه، TC-25، داراب ۱۴ و دشتستان ۵ با توده محلی TS-3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۹). به‌نظر می‌رسد که از یک طرف محدودیت در فراهمی آب می‌تواند روند تجمع روغن در دانه‌های در حال رشد را تحت تأثیر قرار دهد و از طرف دیگر شرایط خشکی به‌همراه درجه حرارت آخر فصل نیز می‌تواند در این کاهش مؤثر باشد. مطالعات نشان داده است نیز گزارش کردند که درصد روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) با افزایش تنش خشکی کاهش یافت و از ۴۵ درصد در شرایط آبیاری مطلوب به ۴۴ درصد در شرایط تنش خشکی کاهش یافت و در بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد روغن اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و ژنوتیپ ۳۱۴۷ با میانگین ۴۶ درصد بیشترین درصد روغن را در شرایط مطلوب و تنش خشکی تولید کرد (Fanaee *et al.*, 2014). سایر محققان نیز اظهار داشتند با افزایش تنش خشکی درصد روغن دانه کاهش معنی‌داری یافت و بالاترین درصد روغن از تیمار شاهد (آبیاری کامل) و کمترین درصد روغن نیز از تیمار تنش خشکی (بدون آبیاری) بدست آمد. رقم داراب ۱ بیشترین درصد روغن (۴۷/۸۸ درصد) و رقم بومی کمترین درصد روغن (۴۵/۷۲ درصد) را به خود اختصاص داد (Najafi and Safari, 2012).

عملکرد پروتئین

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تاثیر اثرات ساده آبیاری، میکوریزا، ژنوتیپ و اثر بر همکنش آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد پروتئین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد پروتئین در شرایط آبیاری مطلوب و از توده محلی مغان به مقدار ۷۶/۵۷ گرم بر مترمربع حاصل شد (جدول ۷). کمترین عملکرد پروتئین از شرایط تنش خشکی شدید و از توده‌های محلی TS-3 و جیرفت ۱۳ بدست آمد. در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی نیز بیشترین مقدار عملکرد پروتئین از توده‌محلی مغان به‌دست آمد (جدول ۷).

تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد پروتئین توده‌های محلی را به‌ترتیب به میزان ۶۷ و ۵۲ درصد کاهش داد. کاهش عملکرد پروتئین احتمالاً به دلیل کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود آب و اعمال تنش خشکی بوده است. نتایج سایر محققان با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت (Gholinezhad *et al,* 2009). مصرف قارچ میکوریزا گونه G. mosseae نسبت به عدم مصرف قارچ میکوریزا، عملکرد پروتئین را به میزان ۳۶ درصد افزایش داد بین کاربرد قارچ میکوریزا گونه G. mosseae و گونه G. intraradices از نظر عملکرد پروتئین تفاوت معنی¬داری وجود نداشت (جدول ۵). نتایج جدول ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه نشان داد بین عملکرد پروتئین با عملکرد دانه، درصد روغن، درصد پروتئین، عملکرد روغن و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱۰).

شاخص برداشت پروتئین

طبق جدول تجزیه واریانس تأثیر اثر ساده ژنوتیپ و اثر بر همکنش آبیاری× ژنوتیپ بر شاخص برداشت پروتئین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد بیشترین شاخص برداشت پروتئین در شرایط تنش خشکی ملایم و از توده¬ TS-3 به مقدار ۹/۲۹ حاصل شد (جدول ۷). بین توده¬های محلی طارم زنجان، TS-3، TC-25 و دشتستان ۵ در شرایط آبیاری مطلوب با توده محلی TS-3 در شرایط تنش خشکی ملایم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جداول ۶ و ۷). کمترین شاخص برداشت پروتئین از شرایط تنش خشکی شدید و از توده‌های محلی مغان و طارم زنجان به‌دست آمد. تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، شاخص برداشت پروتئین توده‌های محلی را به میزان ۲۲ درصد کاهش داد.

عملکرد روغن

نتایج جدول تجزیه واریانس مشخص نمود تأثیر اثرات ساده آبیاری، میکوریزا، ژنوتیپ و اثر بر همکنش آبیاری× ژنوتیپ بر عملکرد روغن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد بیشترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری مطلوب و از توده محلی مغان به مقدار ۱۴۷/۷۰ گرم بر مترمربع حاصل شد (جدول ۷). عملکرد روغن بالا در این توده محلی به دلیل عملکرد دانه بیشتر بوده که به‌صورت مستقیمی در افزایش عملکرد روغن مؤثر بود از آنجایی که بین عملکرد روغن با عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۸) افزایش عملکرد روغن این توده توجیه می‌گردد. این یافته‌ها با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Fanaee *et al*., 2014). در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی نیز بیشترین مقدار عملکرد روغن به توده محلی مغان مربوط بود و کمترین عملکرد روغن از شرایط تنش خشکی شدید و از توده‌های محلی TS-3 و جیرفت ۱۳ بدست آمد (جدول ۷). تنش خشکی شدید و ملایم در مقایسه با آبیاری مطلوب، عملکرد روغن توده‌های محلی را به ترتیب به میزان ۶۸ و ۳۲ درصد کاهش داد. کاهش عملکرد روغن به دلیل کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود آب و اعمال تنش خشکی بوده است. در پژوهشی (Rezvani Moghaddam *et al*., 2005; Rezvani Moghaddam *et al*., 2014) در بررسی تاثیر تنش خشکی بر کنجد نشان دادند که بیشترین عملکرد روغن در فاصله دور یک هفته آبیاری و کمترین مقدار آن در فواصل آبیاری ۴ هفته مشاهده شد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

Table 3-The results of variance analysis of studied traits

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		درصد پروتئین Protein percentage	درصد روغن Oil percentage	عملکرد پروتئین Protein yield	شاخص برداشت پروتئین Protein harvest index	عملکرد روغن Oil yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک (Block)	2	10.17^{ns}	0.19^{ns}	76.58^{ns}	20.21^{ns}	597.66^{ns}	2734.14^{ns}	167556.78^{*}
آبیاری (Irrigation)	2	106.97^{**}	546.18^{**}	15008.42^{**}	57.69^{ns}	63329.89^{**}	266686.23^{**}	1908992.48^{**}
میکوریزا (Mycorrhizal)	2	17.33^{**}	126.61^{**}	2914.47^{**}	32.67^{ns}	13040.026^{**}	48109.57^{**}	1316265.33^{**}
آبیاری × میکوریزا (Irrigation × Mycorrhizal)	4	0.77^{ns}	22.28^{**}	135.90^{ns}	2.95^{ns}	769.10^{ns}	1553.77^{ns}	90166.85^{ns}
خطای اصلی (E_{ab}) (Main error)	16	3.26	7.70	307.62	21.81	1384.71	6786.56	33869.81
ژنوتیپ (Genotype)	7	38.11^{**}	27.36^{**}	3339.26^{**}	23.39^{**}	10891.04^{**}	47839.36^{**}	1465993.13^{**}
آبیاری × ژنوتیپ (Irrigation × Genotype)	14	3.21^{**}	0.69^{ns}	406.88^{**}	4.75^{**}	1189.40^{**}	4773.73^{**}	35806.38^{**}
میکوریزا × ژنوتیپ (Mycorrhizal × Genotype)	14	0.99^{ns}	1.46^{**}	20.96^{ns}	1.28^{ns}	74.56^{ns}	130.59^{ns}	34119.25^{**}
آبیاری × میکوریزا × ژنوتیپ (Irrigation × mycorrhizal × genotype)	28	0.42^{ns}	1.53^{**}	9.31^{ns}	0.083^{ns}	46.73^{ns}	119.75^{ns}	4646.09^{ns}
خطای فرعی (E_c)	126	0.76	0.65	43.51	1.48	171.97	754.43	4658.27
ضریب تغییرات (٪)	–	4.07	1.87	22.37	18.36	22.12	20.67	14.33

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

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری بر صفات مورد مطالعه

Table 4- Mean comparisons of simple effects of irrigation on studied traits

تیمار Treatment	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield (g m^{-2})
آبیاری Irrigation	
آبیاری مطلوب Optimum irrigation	193.43 a
تنش ملایم خشکی Moderate drought stress	133.41 b
تنش شدید خشکی Severe drought stress	71.72 c

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثرات ساده میکوریزا بر صفات مورد مطالعه

Table 5- Mean comparisons of simple effects of mycorrhizal on studied traits

تیمار Treatment	عملکرد روغن Oil yield (g m^{-2})	درصد پروتئین Protein percentage (%)	عملکرد پروتئین Protein yield (g m^{-2})	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield (g m^{-2})
میکوریزا Mycorrhizal				
Glomus mosseae	71.15 a	21.95 a	35.13 a	155.35 a
Glomus intraradices	62.02 a	21.50 ab	30.71 a	138.59 ab
بدون میکوریزا Without mycorrhizal	44.66 b	20.97 b	22.58 b	104.62 b

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات ساده ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه

Table 6- Mean comparisons of simple effects of genotype on studied traits

تیمار Treatment	شاخص برداشت پروتئین Protein harvest index	عملکرد دانه Seed yield (g m^{-2})
ژنوتیپ Genotype		
جیرفت ۱۳ Jiroft 13	6.68 bc	93.04 e
محلی طارم زنجان Zanjan Tarom landrace	5.95 cd	177.96 b
محلی مغان Moghan landrace	5.18 d	206.31 a
ناز چند شاخه Naz of several branches	6.92 bc	105.26 de
TC-25	5.97 cd	147.44 c
TS-3	8.06 a	86.15 e
داراب ۱۴ Darab 14	6.61 bc	128.29 cd
دشتستان ۵ Dashtestan 5	7.59 ab	118.33 d

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و ژنوتیپ بر صفات مورد مطالعه

Table 7- Mean comparisons of interaction effects of irrigation and genotype on studied traits

تیمار Treatment (آبیاری × ژنوتیپ) (Irrigation × Genotype)	عملکرد روغن Oil yield (g m^{-2})	درصد پروتئین Protein percentage (%)	عملکرد پروتئین Protein yield (g m^{-2})	شاخص برداشت پروتئین Protein harvest index
آبیاری مطلوب × جیرفت ۱۳ Optimum irrigation × Jiroft 13	58.92 efgh	20.31 efgh	26.80 ghijk	6.69 bcdefg
آبیاری مطلوب × محلی طارم زنجان Optimum irrigation × Zanjan tarom landrace	121.34 b	23.98 a	62.70 b	7.22 abcdefg
آبیاری مطلوب × محلی مغان Optimum irrigation × Moghan landrace	147.70 a	24 a	76.57 a	6.44 bcdefgh
آبیاری مطلوب × ناز چند شاخه Optimum irrigation × Naz of several branches	65.05 defg	20.89 defg	30.45 efghi	6.89 bcdefg
آبیاری مطلوب × TC-25 Optimum irrigation × TC-25	101.29 bc	23.20 ab	50.58 c	7.46 abcdef
آبیاری مطلوب × TS-3 Optimum irrigation × TS-3	54.08 fghij	19.41 gh	23.70 hijkl	8.57 ab
آبیاری مطلوب × داراب ۱۴ Optimum irrigation × Darab 14	82.71 cd	22.54 abc	40.91 cdef	6.86 bcdefg
آبیاری مطلوب × دشتستان ۵ Optimum irrigation × Dashtestan 5	75.89 def	21.70 bcde	36.34 defg	7.29 abcdefg
تنش ملایم خشکی × جیرفت ۱۳ Moderate drought stress × Jiroft 13	45.13 ghijkl	20.92 defg	21.55 hijklm	7.81 abcd
تنش ملایم خشکی × محلی طارم زنجان Moderate drought stress × Zanjan tarom landrace	80.80 cde	23.88 a	41.95 cde	6.17 cdefgh
تنش ملایم خشکی × محلی مغان Moderate drought stress × Moghan landrace	87.90 cd	24.02 a	45.11 cd	5.24 ghi
تنش ملایم خشکی × ناز چند شاخه Moderate drought stress × Naz of several branches	50.06 ghij	21.77 bcde	24.70 ghijkl	7.63 abcde
تنش ملایم خشکی × TC-25 Moderate drought stress × TC-25	64.28 defg	22.53 abc	31.97 efgh	5.37 fghi
تنش ملایم خشکی × TS-3 Moderate drought stress × TS-3	41.69 ghijkl	20.73 defg	19.76 ijklmn	9.29 a
تنش ملایم خشکی × داراب ۱۴ Moderate drought stress × Darab 14	57.69 efghi	22.66 abc	29.26 fghi	6.93 bcdefgh
تنش ملایم خشکی × دشتستان ۵ Moderate drought stress × Dashtestan 5	55.44 fghi	22.18 bcd	27.69 ghij	8.35 abc
تنش شدید خشکی × جیرفت ۱۳ Severe drought stress × Jiroft 13	17.18 mn	19.41 gh	8.52 no	5.54 efghi
تنش شدید خشکی × محلی طارم زنجان Severe drought stress × Zanjan Tarom landrace	40.10 hijklm	20.75 defg	20.60 hijklm	4.45 hi
تنش شدید خشکی × محلی مغان Severe drought stress × Moghan landrace	47.44 ghijk	21.15 cdef	24.20 hijkl	3.86 i
تنش شدید خشکی × ناز چند شاخه Severe drought stress × Naz of several branches	22.38 lmn	20.03 fgh	11.18 mno	6.25 cdefgh
تنش شدید خشکی × TC-25 Severe drought stress × TC-25	34.02 ijklmn	19.64 fgh	16.70 jklmno	5.10 ghi
تنش شدید خشکی × TS-3 Severe drought stress × TS-3	15.78 n	18.94 h	7.64 o	6.33 cdefgh
تنش شدید خشکی × داراب ۱۴ Severe drought stress × Darab 14	30.59 jklmn	20.59 efg	15.63 klmno	6.03 defghi
تنش شدید خشکی × دشتستان ۵ Severe drought stress × Dashtestan 5	25.21 klmn	20.10 fgh	12.82 lmno	7.13 abcdefg

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

۷- ادامه جدول

7- Continous Table

تیمار Treatment (آبیاری × ژنوتیپ) (Irrigation × Genotype)	عملکرد دانه Seed yield (g m^{-2})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g m^{-2})
آبیاری مطلوب × جیرفت ۱۳ Optimum irrigation × Jiroft 13	132.55 cdefg	430.17 fghi
آبیاری مطلوب × محلی طارم زنجان Optimum irrigation × Zanjan tarom landrace	260.36 ab	904.09 b
آبیاری مطلوب × محلی مغان Optimum irrigation × Moghan landrace	317.94 a	1188.40 a
آبیاری مطلوب × ناز چند شاخه Optimum irrigation × Naz of several branches	146.79 cdefg	459.73 fgh
آبیاری مطلوب × TC-25 Optimum irrigation × TC-25	217.90 bc	689.89 cde
آبیاری مطلوب × TS-3 Optimum irrigation × TS-3	122.22 defghij	278.78 hijk
آبیاری مطلوب × داراب ۱۴ Optimum irrigation × Darab 14	181.56 bcde	624.82 def
آبیاری مطلوب × دشتستان ۵ Optimum irrigation × Dashtestan 5	186.11 cdef	519.24 defg
تنش ملایم خشکی × جیرفت ۱۳ Moderate drought stress × Jiroft 13	102.79 defghij	281.08 hijk
تنش ملایم خشکی × محلی طارم زنجان Moderate drought stress × Zanjan tarom landrace	175.51 bcde	716.15 bcd
تنش ملایم خشکی × محلی مغان Moderate drought stress × Moghan landrace	187.57 bcd	882.26 bc
تنش ملایم خشکی × ناز چند شاخه Moderate drought stress × Naz of several branches	112.81 defghij	330.62 ghijk
تنش ملایم خشکی × TC-25 Moderate drought stress × TC-25	140.86 cdefgh	601.86 def
تنش ملایم خشکی × TS-3 Moderate drought stress × TS-3	95.60 efghij	217.74 ijk
تنش ملایم خشکی × داراب ۱۴ Moderate drought stress × Darab 14	128.13defghi	457.41 fgh
تنش ملایم خشکی × دشتستان ۵ Moderate drought stress × Dashtestan 5	123.94 defghij	353.22 ghij
تنش شدید خشکی × جیرفت ۱۳ Severe drought stress × Jiroft 13	43.77 ij	154.09 jk
تنش شدید خشکی × محلی طارم زنجان Severe drought stress × Zanjan tarom landrace	98.03 efghij	489.30 efgh
تنش شدید خشکی × محلی مغان Severe drought stress × Moghan landrace	113.42 defghij	632.75 def
تنش شدید خشکی × ناز چند شاخه Severe drought stress × Naz of several branches	56.17 hij	198.19 jk
تنش شدید خشکی × TC-25 Severe drought stress × TC-25	83.55 fghij	364.88 ghij
تنش شدید خشکی × TS-3 Severe drought stress × TS-3	40.65 j	136.91 k
تنش شدید خشکی × داراب ۱۴ Severe drought stress × Darab 14	75.18 ghij	327.51 ghijk
تنش شدید خشکی × دشتستان ۵ Severe drought stress × Dashtestan 5	62.94 ghij	186.89 jk

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند از نظر آماری، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ۸- مقایسه میانگین برهمکنش میکوریزا و ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیک

Table 8- Mean comparisons of interaction effects of mycorrhizal and genotype on Biological yield

تیمار Treatment (میکوریزا × ژنوتیپ) (Mycorrhizal × Genotype)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g m^{-2})
جیرفت ۱۳ × *Glomus mosseae* Jiroft 13 × *Glomus mosseae*	374.59 fghij
محلی طارم زنجان × *Glomus mosseae* Zanjan tarom landrace × *Glomus mosseae*	923.81 ab
محلی مغان × *Glomus mosseae* Moghan landrace × *Glomus mosseae*	1127.93 a
ناز چند شاخه × *Glomus mosseae* Naz of several branches × *Glomus mosseae*	416.49 fgh
TC-25× *Glomus mosseae*	745.99 bc
TS-3× *Glomus mosseae*	264.19 ghij
داراب ۱۴ × *Glomus mosseae* Darab 14 × *Glomus mosseae*	657.46 cde
دشتستان ۵ × *Glomus mosseae* Dashtestan 5 × *Glomus mosseae*	477.65 efg
جیرفت ۱۳ × *Glomus intraradices* Jiroft 13 × *Glomus intraradices*	277.63 ghij
محلی طارم زنجان ×*Glomus intraradices* Zanjan tarom landrace × *Glomus intraradices*	663.26 cde
محلی مغان ×*Glomus intraradices* Moghan landrace × *Glomus intraradices*	855.04 bc
ناز چند شاخه × *Glomus intraradices* Naz of several branches × *Glomus intraradices*	336.17 fghij
TC-25 × *Glomus intraradices*	504.76 ef
TS-3 × *Glomus intraradices*	202.20 ij
داراب ۱۴ × *Glomus intraradices* Darab 14 × *Glomus intraradices*	407.43 fghi
دشتستان ۵ × *Glomus intraradices* Dashtestan 5 × *Glomus intraradices*	328.50 fghij
بدون میکوریزا × جیرفت ۱۳ Jiroft 13 × Without mycorrhizal	213.12 hij
بدون میکوریزا × محلی طارم زنجان Zanjan tarom landrace × Without mycorrhizal	522.47 def
بدون میکوریزا × محلی مغان Moghan landrace × Without mycorrhizal	720.42 bcd
بدون میکوریزا × ناز چند شاخه Naz of several branches × Without mycorrhizal	235.89 hij
بدون میکوریزا × TC-25 TC-25 × Without mycorrhizal	405.88 fghi
بدون میکوریزا × TS-3 TS-3 × Without mycorrhizal	167.03 j
بدون میکوریزا × داراب ۱۴ Darab 14 × Without mycorrhizal	344.85 fghij
بدون میکوریزا × دشتستان ۵ Dashtestan 5 × Without mycorrhizal	253.29 hij

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند بر اساس آزمون توکی، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ۹- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری× میکوریزا× ژنوتیپ بر درصد روغن دانه

Table 9- Mean comparisons of interaction effects of irrigation, mycorrhizal and genotype on seed oil percentage

تیمار Treatment (میکوریزا × ژنوتیپ) (Mycorrhizal × Genotype)	درصد روغن Oil percentage (%) آبیاری مطلوب Optimum irrigation	تنش ملایم Moderate drought stress	تنش شدید Severe drought stress
جیرفت ۱۳ × *Glomus mosseae* Jiroft 13 × *Glomus mosseae*	44.96 d-n	44.92 d-n	39.63 z
محلی طارم زنجان × *Glomus mosseae* Zanjan tarom landrace × *Glomus mosseae*	49.70 ab	47.10 a-e	41.22 r-z
محلی مغان × *Glomus mosseae* Moghan landrace × *Glomus mosseae*	50.01 a	47.82 a-d	42.05 n-z
ناز چند شاخه × *Glomus mosseae* Naz of several branches × *Glomus mosseae*	45.35 c-m	45.48 c-m	40.03 yz
TC-25× *Glomus mosseae*	47.03 b-f	46.31 c-i	41.05 s-z
TS-3× *Glomus mosseae*	44.86 d-o	44.64 e-p	39.13 z
داراب ۱۴ × *Glomus mosseae* Darab 14 × *Glomus mosseae*	46.16 c-j	46.56 c-h	40.83 t-z
دشتستان ۵ × *Glomus mosseae* Dashtestan 5 × *Glomus mosseae*	45.75 c-m	46.06 c-k	40.28 x-z
جیرفت ۱۳ × *Glomus intraradices* Jiroft 13 × *Glomus intraradices*	44.62 e-p	44.31 c-q	39.13 z
محلی طارم زنجان ×*Glomus intraradices* Zanjan tarom landrace × *Glomus intraradices*	46.02 c-l	47.22 a-e	41.06 s-z
محلی مغان ×*Glomus intraradices* Moghan landrace × *Glomus intraradices*	44.97 d-n	48.21 abc	41.84 p-z
ناز چند شاخه × *Glomus intraradices* Naz of several branches × *Glomus intraradices*	43.74 h-t	44.71 e-p	39.81 z
TC-25 × *Glomus intraradices*	46.43 c-h	46.90 b-g	40.75 u-z
TS-3 × *Glomus intraradices*	44.35 e-q	43.98 g-s	38.83 z
داراب ۱۴ × *Glomus intraradices* Darab 14 × *Glomus intraradices*	46.02 c-l	45.72 c-m	40.60 u-z
دشتستان ۵ × *Glomus intraradices* Dashtestan 5 × *Glomus intraradices*	45.39 c-m	45.48 c-m	40.06 yz
بدون میکوریزا × جیرفت ۱۳ Jiroft 13 × Without mycorrhizal	43.39 i-u	41.50 q-z	38.80 z
بدون میکوریزا × محلی طارم زنجان Zanjan tarom landrace × Without mycorrhizal	43.30 j-w	43.38 i-u	40.38 w-z
بدون میکوریزا × محلی مغان Moghan landrace × Without mycorrhizal	43.70 h-u	44.11 f-r	41.04 s-z
بدون میکوریزا × ناز چند شاخه Naz of several branches × Without mycorrhizal	43.66 h-u	41.90 o-z	39.54 z
بدون میکوریزا × TC-25 TC-25 × Without mycorrhizal	44.65 e-p	43.00 m-y	40.24 x-z
بدون میکوریزا × TS-3 TS-3 × Without mycorrhizal	43.08 l-x	40.96 t-z	38.36 z
بدون میکوریزا × داراب ۱۴ Darab 14 × Without mycorrhizal	43.66 h-u	41.86 p-z	40.29 x-z
بدون میکوریزا × دشتستان ۵ Dashtestan 5 × Without mycorrhizal	43.16 k-x	41.62 p-z	39.76 z

اعدادی که در هر ستون حروف مشابه دارند بر اساس آزمون توکی، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at 5% level of probability based on tukey test.

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه

Table 10- Corrolation coefficients of studied traits

	1	2	3	4	5	6	7
عملکرد دانه 1- Seed yield	1						
۲- عملکرد بیولوژیک 2- Biological yield	0.90**	1					
۳- درصد روغن 3- Oil percentage	0.83**	0.75**	1				
۴- درصد پروتئین 4- Protein percentage	0.83**	0.84**	0.80**	1			
۵- عملکرد روغن 5- Oil yield	0.99**	0.91**	0.85**	0.84**	1		
۶- عملکرد پروتئین 6- Protein yield	0.99**	0.92**	0.82**	0.86**	0.99**	1	
۷- شاخص برداشت پروتئین 7- Protein harvest index	0.02ns	- 0.34**	0.11ns	- 0.05ns	0.01ns	- 0.003ns	1

**، * و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار

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

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش خشکی و کمبود آب، صفات کیفی مانند درصد روغن، درصد پروتئین، عملکرد روغن، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه توده‌های محلی کنجد را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. کاربرد قارچ میکوریزا در هر سه شرایط مختلف آبیاری عملکرد دانه و صفات کیفی کلیه توده‌های محلی را افزایش داد. با توجه به نتایج بدست آمده، استفاده از قارچ میکوریزا نه تنها در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه و بهبود صفات کیفی دانه شد و اثرات کمبود آب را کاهش داد بلکه در شرایط مطلوب آبیاری نیز مصرف قارچ میکوریزا مخصوصاً گونه *G. mosseae* عملکرد دانه و سایر صفات کیفی دانه را بهبود بخشید. توده‌های محلی نسبت به تنش خشکی عکس العمل‌های متفاوتی داشتند. توده‌های محلی مغان و طارم زنجان بر سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشته و می‌توان آنها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های مناسب برای کاشت در شرایط آبیاری مطلوب و در صورت کمبود آب در شرایط تنش خشکی شدید (دور آبیاری حدود ۳۰ روز) معرفی کرد. بررسی جدول ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه (جدول ۱۰) نشان داد رابطه عملکرد بیولوژیک (r= ۰/۹۰**)، درصد روغن (r= ۰/۸۳**)، درصد پروتئین (r= ۰/۸۳**)، عملکرد روغن (r= ۰/۹۹**) و عملکرد پروتئین (r= ۰/۹۹**) با عملکرد دانه کنجد مثبت و معنی‌دار بود. با مقایسه این ضرایب، مشخص شد که بالاترین ضریب همبستگی برای عملکرد پروتئین و عملکرد روغن با عملکرد دانه (r=۰/۹۹**) به دست آمد. بنابراین هر عملیات مدیریتی که بتواند تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه داشته باشد در نتیجه به طور مستقیم عملکرد روغن و عملکرد پروتئین را بهبود می‌دهد.

Refrences

1. Rai, A., and Takabe, T. 2006. Abiotic Stress Tolerance in Plants. Toward the Improvement of Global Environment and Food. Published by Springer, P.O.
2. Aliabadi Farahani, H., Arbab, A., and Abbaszadeh, B. 2008. The effects of super phosphate triple, water deficit stress and *Glomus hoi* biological fertilizer on some quantity and quality characteristics of *Coriandrum sativum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24 (1): 18-30. (in Persian with English abstract).
3. Al-Palsan, M., Boydak, E., Hayta, M., Gercek, S., and Simsek, M. 2001. Effect of row space and irrigation on seed composition of Turkish sesame. Journal of Crop Science 78: 933-935.
4. Amerian, M. R., Stewart, W. S., and Griffiths, H. 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). Aspects of Applied Biology 63: 71-76.
5. Ashrafi, Sh., Heidari, N., and Abbasi, F. 1997. Build design and calibration flume WSC. Proceedings of the 2th National Congress of the soil and water issues. 27-30 Feb. Tehran, Iran.
6. Association Official Analytical Chemists. 1990. Official Method of Analysis. Washington, DC, USA.
7. Ayeen, A. 2013. Effect of eliminating of irrigation at different growth stages on seed yield and some agronomic

traits of two sesame genotypes. Seed and Plant 29 (1): 67-79. (in Persian with English abstract).
8. Bagheri, E., Sinaki, J. M., Baradaran Firoozabadi, M., and Abedini Esfahani, M. 2013. Evaluation of salicylic acid foliar application and drought stress on the physiological traits of sesame cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology 3 (4): 809-816.
9. Barea, M. 1992. YAM as modifier of soil fertility Adv. Soil Science 15: 1-40.
10. Bethlenfalvay, G. J., Brown, M. S., Ames, R. N., and Thomas, R. S. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. Physiologia Plantarum 72: 565-571.
11. Bryla, D. R., and Duniway, J. M. 1997. Growth, phosphorus uptake, and water relations of safflower and wheat infected with an arbuscular mycorrhizal fungus. New Phytology 136: 581-590.
12. Cho, K., Toler, H., Lee, J., Ownely, B., Stutz, J. C., Moore, J. L., and Auge, R. M. 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. Journal of plant Physiology 163: 517-528.
13. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., and Ghasemi-Golezani, K. 2010. Evaluation of water use efficiency and seed yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Suitable Production 20 (1): 39-51. (in Persian with English abstract).
14. Faber, B. A., Zasoske, R. J., Munns, D. N., and Shackel, K. 1991. A method for measuring hyphal nutrition and water uptake in mycorrhizal plants. Canadian Journal of Botany 69: 87-94.
15. Fanaee, H., Naroee Rad, M., and Mohammad Ghasemi, M. 2014. Evaluation of seed yield, yield components and tolerance to drought stress of spring canola genotypes. Seed and Plant 30 (2): 269-287. (in Persian with English abstract).
16. FAO. 2012. Yearbook production. FAO Pub. Rome, Itlay.
17. Gholinezhad, E., Aeenehband, A., Hasanzade Ghorttappe, A., Barnoosi, I., and Rezaei, H. 2009. Evaluation of Effective Drought Stress on Yield, Yield components and harvest index of Sunflower Hybrid Iroflor at Different Levels of Nitrogen and Plant Population in Urmieh Climate Conditions. Journal of Researches of Plant Production 16 (3): 1-28. (in Persian with English abstract).
18. Gholinezhad, E., Aeenehband, A., Hasanzade Ghorttappe, A., Noormohammadi, G., and Barnoosi, I. 2010. The effect of irrigation regimen on water and nitrogen use efficiency of Sunflower Hybrid Iroflor at Different Levels of Nitrogen and Plant Population in Urmieh Climate Conditions. Water and Soil Science 20 (1): 27-45. (in Persian with English abstract).
19. Golestani, M., and Pakniyat, H. 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11 (41/A): 141-150.
20. Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashtai, M. R., Jalilian, J., and Eini, O. 2012. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on seed and protein yield under water–deficit stress in Mung Bean. Agronomy Journal 105 (1): 79-84.
21. Haghighatnia, H., Nadian, H., Rejali, F., and Tavakoli, F. 2012. Effect of Two Species of Arbuscular-Mycorrhizal Fungi on Vegetative Growth and Phosphorous Uptake of Mexican Lime Rootstock (*Citrus aurantifolia*) Under Drought Stress Conditions. Seed and Plant 2 (28): 403-417. (in Persian with English abstract).
22. Heidari, M., Galavi, M., and Hassani, M. 2011. Effect of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. African Journal Biotechnology 10 (44): 816-8822.
23. Hetrick, B. A. D., Wilson, G. W. T., and Todd, T. C. 1996. Mycorrhizal response in wheat cultivars: Relationship to phosphorus. Canadian Journal of Botany 74: 19-25.
24. Hosseini, Z. 1995. Conventional methods in food analysis. Shiraz University Press. Pp. 210. (in Persian).
25. Jamshidi, A., Ghalavand, A., Salehi, A., Zare, M. J., and Jamshidi, A. 2009. The effect of mycorrhizal on yield, yield components and plant traits of sunflower in drought stress conditions. Iranian Journal of Agronomy Sciences 11 (2): 136-150. (in Persian with English abstract).
26. Kenan, U., Kill, F., Gencoglan, C., and Merdan, H. 2007. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame under field condition. Field Crops Research 101: 249-254.
27. Khalvati, M. A., Hu, Y., Mozafar, A., and Schmidhalter, U. 2005. Quantification of water uptake by Arbuscular Mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations and gas exchange of barely subjected to drought stress. Plant Biology 7: 706-712.
28. Kothari, S. K., Marschner, H., and George, E. 1990. Effect of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on root and shoot morphology, growth, and water relations of maize. New Physiologist, 116: 303-311.
29. Ladjal, M., Huc, R., and Ducrey, M. 2005. Drought effects on hydraulic conductivity and xylem vulnerability to embolism in diverse species and provenances of Mediterranean cedars. Tree Physiology 25: 1109-1117.
30. Marulanda, A., Azcon, R., and Luizi-Lozano, J. M. 2003. Contribution of six Arbuscular Mycorrhizal Fungal isolates to water uptake by *Lactuca Sativa* plants drought stress. Physiology Plant 119: 526-533.
31. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2011. A study on physiological attributes and seed yield of sesame (*Sesamum*

indicum L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement 13 (2): 75-88. (in Persian with English abstract).
32. Mensah, J. K., Obadoni, B. O., Eruotor, P., and Onome-Trieguna, F. 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of sesame. African Journal Biotechnology 13: 1249-1253.
33. Mirzakhani, M., Ardakani, M. R., Rejali, F., Shirani Rad, A. H., and Ayneband, A. 2010. Evaluation of seed twofold inoculation by fungi Glomus Intraradices Mycorrhiza and Azotobacter chorococum with various nitrogen and phosphorus levels use on oil yield and some of traits in safflower. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 6 (1): 75-87. (in Persian with English abstract).
34. Moghanaibashi, M., and Rajmjoo, J. 2012. The effect of priming seed by poly ethylene glycol and irrigation regimens on yield, yield components and seed oil of sesame. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (1): 91-99. (in Persian with English abstract).
35. Mosavi Moghadam, S. L., Tajbakhsh, M., and Eivazi, A. R. 2014. Evaluation of harvesting dates effects on related traits with quality seeds of safflower genotypes under Urmia conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 11 (3): 454-459. (In Persian with English abstract)
36. Mousavi, S. F., and Akhavan, S. 2008. Irrigation Principles. Kankash Press. Pp: 414. (in Persian).
37. Nadian, H. 2011. The effect of drought stress and mycorrhizal symbiosis on growth and phosphorous absorption by two varieties sorghum of different root morphology. Journal of Sciences and Agriculture Technology and Natural Resources 15 (57): 127-140. (in Persian with English abstract).
38. Najafi, H., and Safari, M. 2012. Evaluation of effect of drought stress on yield and yield components and oil percentage in sesame cultivars. Proceedings of the 11th national Seminar of irrigation and evaporation reduction. Bahonar Kerman University. Kerman. Iran. .
39. Panwar, J., and Tarafdar, J. C. 2006. Distribution of three endangered medicinal plant species and their colonization with arbuscular mycorrhizal fungi. Journal Arid Environment 65: 337-350.
40. Raei, Y., Shariati, J., and Weisany, W. 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Suitable Production 25 (1): 65-84. (in Persian with English abstract).
41. Rahimi, L., Ardakani, M. R., Paknejad, F., and Rejali, F. 2009. Effect of mycorrhizal symbiosis on increasing of drought resistance of two seed sorghum. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 5 (1): 43-57. (in Persian with English abstract).
42. Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M. B., and Seyyedi, M. 2014. Effect of organic and bio-fertilizers application on yield, oil content and fatty acids composition of sesame (*Sesame indicum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 16 (3): 209-221. (in Persian with English abstract).
43. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A. A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, seed and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 57-68. (in Persian with English abstract).
44. Saeidi, A., Tohidi-Nezhad, E., Ebrahimi, F., Mohammadi-Nejad, G., and Shirzadi, M. H. 2012. Investigation of water stress on yield and some yield components of sesame genotypes in Jiroft region. Journal of Applied Sciences Research 8 (1): 243-246.
45. Safari, H. 2006. Evaluation of effect of methodand and optimal range of micronutrient fertilizer containing iron and zinc on qualitative and quantitative of rapeseed oil. Proceedings of the 1th scientific, practical and industrial seminar of vegetable oils in Iran. P: 183-186. (in Persian with English abstract).
46. Sainz, M. J., Taboada-Castro, M. T., and Vilarino, A. 1998. Growth, mineral and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil 205: 85-92.
47. Sharma, A. K. 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agronomy Bioscience India 70-79.
48. Sinaki, J. M., Heravan, E. M., Rad, A. H. S., Noormohammadi, Gh., and Ghasem Zarei, Gh. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian. Journal of Agricultural and Environmental Science, Biotechnology 17 (2): 113-122. 2 (4): 417-422.
49. Soleimanzadeh, H. 2010. Effect of VA-Mycorrhiza on Growth and Yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) at Different Phosphorus Levels. World Academy of Science, Engineering Technology 71: 414-417.
50. Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P., and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants Arbuscular Mycorrhizal Fungal Arbuscular Mycorrhizal Fung colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Hoticulturae 107: 245-253.
51. Tantawy, M. M., Ouda, S. A., and Khalil, F. A. 2007. Irrigation optimization for different sesame varieties grown under water stress conditions. Journal of Applied Science and Research 3: 7-12.
52. Timajchi, M., Kashani, A., Ardakani, M. R., Rejali, F., Abbasian, M., and Seyfi, M. 2010. Comparison of the nano, biological and chemical fungicides effect on the protein seed quantity and leaf nitrogen of corn (CV. Sc-704) with mycorrhiza symbiosis. 5th National Conference New Ideas in Agriculture, 17-18 Feb. 2010. Azad University of Khorasghan, Isfahan, Iran.
53. Tkachuk, R. 1969. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Cereals and Oilseed Meals. 46: 419-423.

54. Wu, Q. S., and Xia, R. X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163 (4): 417-425.
55. Zubarer, M. A., Chowdhury, A. K. M. M. B., Islam, M. Z., Ahmed, T., and Hasan, M. A. 2007. Effects of water stress on growth and yield attributes of Aman rice genotypes. International Journal of Sustainable Crop Production 2 (6): 25-30.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 150-167

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۶۷-۱۵۰

Effect of Two Species Mycorrhizal Fungi on Quantitative and Qualitative Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Landraces in Different Levels of Drought Stress

E. Gholinezhad[1*]

Received: 27-08-2015
Accepted: 08-02-2016

Introduction

Drought stress is considered to be one of the most adverse abiotic stresses that influence plant growth and their physiological and biochemical aspects. In addition, drought stress influences the social and economic life of humans. Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a drought tolerant plant. *Sesamum indicum* L. is one of the oldest and very important oil seed crops. It is usually cultivated in arid and semi - arid regions of the world for its quality edible oil and is very responsive to changing environmental conditions. Mycorrhizal symbiosis plays an important role in nutrient cycling in agricultural and natural ecosystems and reduces the effects of drought stress in plants by helping water absorption. AM fungi colonize the root cortex of plants and develop an extrametrical hyphal network that can absorb nutrients and water from the soil. So the objective of this study was evaluation of the influence of different levels of drought stress and two kinds of mycorrhizal fungi on oil percentage and yield, protein percentage and yield and seed yield of eight landraces sesame (*Sesamum indicum* L.).

Materials and Methods

This experiment was conducted by using factorial split plot based on randomized complete block design with three replications in research field of Urmia agricultural high school in 2014-2015. The main factor consisted of different levels of irrigation, normal irrigation (irrigation after 70 mm evaporation of crop (ETC)), moderate drought stress (irrigation after 90 mm evaporation of crop (ETC)) and severe drought stress (irrigation after 110 mm evaporation of crop (ETC)), sub plots including two kinds of mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* and non-inoculated (control). Sub-sub plots consisted of eight landraces of sesame names Jiroft13, Zanjan Tarom landrace, Moghan landrace, Naz of several branches, TC-25 ،TS-3, Darab 14 and Dashtestan 5.

Results and Discussion

The results of analysis showed that the effect of different levels of irrigation, mycorrhizal fungi and genotypes on studied traits were significant. Means comparison showed that with increasing severity of drought stress, seed yield, oil percentage, protein percentage, oil yield, protein yield and biological yield decreased significantly. Severe drought stress reduced oil yield and protein yield about 67 and 66 percent, respectively. Oil and Protein yield loss are due to seed yield loss because of water scarcity and applying water stress. Inoculation with mycorrhizal fungi species (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) in comparison with non-inoculated (control), seed yield improved about 33 and 11 percent, respectively. The reason for that may be related to the effect of mycorrhizal on absorption phosphorus and sulfur, lasting more leaves the plant, maintaining and increasing the leaves size and improving the photosynthesis by more chlorophyll. Reason of increasing biological yield in normal irrigation conditions was also due to the development of more and better durability of the leaf surface which causes physiological source sufficient to make greater use of light and dry matter production.

With using two kinds of mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*) in compared to non-inoculated (control), seed yield and seed qualitative traits increased. Among sesame landraces under studied in this research, Moghan landrace and Zanjan Tarom landrace based on traits such as seed yield, oil yield and protein yield had superiority on other landraces. Based on results of this study, for improvement oil and protein percentage using mycorrhizal fungi especially, *G.mosseae* species would be recommended.

1- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: gholinezhad1358@yahoo.com)

Conclusions

The results of this study showed that drought stress and water deficit substantially reduced the quality traits such as oil content, protein content, oil yield, protein yield and seed yield of landraces of sesame. Application of mycorrhizal fungi in three different conditions increased seed yield and quality of all landraces. According to the results, not only the use of mycorrhizal fungi increased seed yield under drought stress but also in optimum irrigation conditions using mycorrhizal fungi, especially the species *G. mosseae* can be improved quantitative and qualitative yield. Landraces had different reactions to drought stress. Landraces Moghan and Tarom Zanjan had superiority on other genotypes and can recommend as suitable genotypes for planting.

Keywords: Biological yield, *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, Oilseed, Water deficit

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 168-184

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۸۴-۱۶۸

اثر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی

اسماعیل رضائی چیانه[1*]- سرور خرم‌دل[2]- آرزو مولودی[3]- امیر رحیمی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی، شهرستان نقده در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتور اصلی شامل چهار سطح خشکی (آبیاری بعد از ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح کودی (عدم مصرف کود، قارچ مایکوریزا (*Glmus intraradices*)، نانو کود روی و ترکیب قارچ مایکوریزا + نانو کود روی) بود. صفات مورد بررسی شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، درصد روغن، محتوی پرولین و قندهای محلول گلرنگ بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی کاربرد منابع کودی اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی را تخفیف داد، به‌طوری‌که در تمام سطوح آبیاری مصرف جداگانه نانو کود روی، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی باعث افزایش صفات مورد بررسی گردید. بیشترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با کاربرد تلفیقی مایکوریزا + نانو کود روی (۲۵۸۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن از تیمار آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در شرایط عدم مصرف کود (۱۸۳۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. اگرچه درصد روغن با افزایش تنش خشکی کاهش یافت، اما کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی درصد روغن را به‌طور معنی‌داری (۱۱ درصد) نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد. با افزایش تنش خشکی و کاربرد نانو کود روی و مایکوریزا میزان قندهای محلول و پرولین به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که تلقیح با مایکوریزا در شرایط کمبود آب، می‌تواند با توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش سطح جذب ریشه، جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش داده و سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر کم‌آبی شود، از طرف دیگر، با توجه به نقش عنصر روی در گیاه، وجود مقدار کافی از این عنصر در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند از طریق تنظیم سازگاری، موجب تخفیف اثرات تنش خشکی شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، فناوری نانو، عملکرد دانه، قندهای محلول، کود زیستی

مقدمه

گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. از تیره کاسنی[4] به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی در مناطق مختلف جهان مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. این گیاه بومی ایران بوده و به‌دلیل ویژگی‌های مطلوب و خاص نظیر مقاومت نسبتاً زیاد آن به تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری، گرما و سرمای زمستانه، داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه، استفاده‌های دارویی و غذایی از گل‌های آن، تولید روغن نباتی با کیفیت بالا (به‌دلیل بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع خصوصاً لینولئیک و اولئیک) و تولید کنجاله به‌عنوان مکمل غذایی برای دام از اهمیت خاصی برای تأمین دانه‌های روغنی مورد نیاز کشور برخوردار است (Bagheri *et al*., 2012; Pasban Eslam, 2011).

یکی از مهمترین محدودیت‌های تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود آب می‌باشد. جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی بر گیاه راه‌کارهای گوناگونی از جمله مدیریت مصرف آب و

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- گروه گیاهان دارویی مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.49876
4- Asteraceae

افزایش توانایی گیاه به کم‌آبی پیشنهاد شده است (Galle *et al*., 2010). این راه‌کارها بسته به ویژگی‌های خاک، نوع گیاه و مراحل رشد آن متفاوت است. گیاهان در مواجه با تنش‌های محیطی، با تولید و ذخیره مواد تنظیم‌کننده فشار اسمزی که بیشتر شامل اسیدهای آمینه، قندها و برخی یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها هستند، بردباری و تحمل خود را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهند (Good and Zaplachiniski, 1994).

پرولین یکی از اسیدهای آمینه فعال در پدیده‌های تنظیم اسمزی می‌باشد که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون گیاه نقش به‌سزایی دارد. این اسید آمینه در برابر تنش‌های اکسیداتیو مقاومت کرده و کم ترین اثر بازدارندگی را بر رشد سلول‌ها در بین تمام اسید آمینه‌ها دارد (Kumar and Spencer, 1992). در برخی از گیاهان در مراحل اولیه تنش کم‌آبی چندین اسید آمینه افزایش می‌یابد که با ادامه کم‌آبی فقط اسیدآمینه پرولین بیشتر تجمع و ذخیره می‌شود (Rajinder, 1987).

بررسی‌های نینگانور و همکاران (Ninganoor *et al.,* 1995) در گلرنگ نشان داد که با افزایش سن گیاه تجمع پرولین بیشتر شده و این افزایش با کاهش محتوای نسبی رطوبت گیاه و رطوبت خاک همبستگی دارد؛ به طوری‌که بروز تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین برگ‌ها شد. بنا به گزارش برخی از محققان غلظت پرولین برگ گلرنگ ممکن است در شرایط کمبود آب دو تا چهار برابر افزایش یابد (Maghami *et al*., 2014). افزایش غلظت پرولین در برگ کنجد (*Sesamum indicum* L.) (Mehrabi and Ehsanzadeh, 2011) و ریشه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در اثر تنش کمبود آب نیز گزارش شده است (Monreal *et al*., 2006). قندهای محلول نیز به‌عنوان یکی از مواد اسمزی نقش چشمگیری در ثبات غشاهای سلولی و حفظ‌کننده تورژسانس سلول‌ها دارند. در حقیقت، در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش خشکی تجمع می‌یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (Slama *et al*., 2007). کدخدائی و احسان‌زاده (Kadkhodaei and Ehsanzade, 2011) گزارش کردند که تنش خشکی منجر به افزایش میزان قندهای محلول در گیاه بزرک (*Linum ustatissimum*) شد.

همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا جهت بهبود روابط آبی گیاه میزبان از جمله راه‌کارهایی است که طی دهه‌های اخیر به‌طور ویژه‌ای مورد توجه برخی محققان قرار گرفته است (Smith and Read, 2008). قارچ‌های گلوموس در بین میکروارگانیسم‌هایی که محیط اطراف ریشه را اشغال می‌کنند، منحصر به‌فرد بوده و با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی که اصطلاحاً همزیستی مایکوریزایی گفته می‌شود، موجب افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف همچون روی و مس، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا شده و سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012; Sharma, 2002). امیدی و همکاران (Omidi *et al*., 2009) بیان کردند که همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌واسطه تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه جیبرلین، باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی، و عملکرد گیاه گلرنگ گردید. چو و همکاران(Cho *et al*., 2006) در طی آزمایشی دریافتند که همزیستی مایکوریزایی سبب افزایش مقاومت گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) نسبت به بروز تنش‌های خشکی و شوری شد.

یکی از اثرات مهم تنش خشکی بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Paygzar *et al.,* 2009). امروزه با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رسانیدن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (Pandey *et al*., 2010). وجود عنصر روی برای تحریک فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان امری ضروری است؛ به‌طوری‌که اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در گیاهان رخ خواهد داد (Baybordi, 2006). عنصر روی با فعال‌سازی آنزیم‌های ضروری، تولید هورمون های رشد از جمله هورمون اکسین، مؤثر بر افزایش تولید کلروفیل، تنفس، تنظیم رشد و تسریع بلوغ، مؤثر بر تشکیل کربوهیدرات‌ها، افزایش پروتئین، تحریک تشکیل بذر، کمک به جذب بیشتر آب، افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و در نهایت، منجر به بهبود عملکرد محصولات زراعی می‌شود (Baybordi, 2006; Kafi *et al*., 2009; Marschner, 1995; Pandey *et al*., 2010).

محققان دریافتند که به کار بردن عنصر روی به دو روش تغذیه برگی و اضافه کردن به خاک، موجب افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، شاخص برداشت، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کنجد گردید (Saeedi, 2008). نتایج تحقیقات پای‌گذار و همکاران (Paygzar *et al*., 2009) نشان داد که بالاترین عملکرد اقتصادی ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) از تیمار عدم تنش (آبیاری مطلوب) همراه با محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز حاصل شد. همچنین پندی (Pandey *et al*., 2010) در آزمایشی بر روی نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش کرد که کاربرد اکسید روی به شکل نانو ذرات (با قطر ۳۰-۲۰ نانومتر) تأثیر بیشتری در افزایش رشد گیاه نسبت به شکل معمول آن داشت.

در حال حاضر، با توجه به کاهش شدید منابع آب زیرزمینی و اُفت

سطح آنها، کاهش بارندگی‌ها و کمبود آب در اکثر مناطق کشور لزوم بازنگری در مدیریت محصولات مورد کشت ضروری به‌نظر می‌رسد. بدین ترتیب، نظر به اهمیت نانو کودها و تلقیح با قارچ‌های همزیست در بهبود عملکرد محصولات زراعی (Omidi *et al*., 2014; Sharma, 2002) و حفظ محیط زیست و نقش مؤثر عنصر روی و قارچ مایکوریزا در کاهش اثرات منفی تنش خشکی (Saeidi Aboueshaghi *et al*., 2014)، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کود نانو روی و همزیستی با قارچ مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی و بررسی برخی واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه دانه روغنی گلرنگ تحت تأثیر سطوح تنش خشکی در شرایط آب و هوایی نقده به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی، شهرستان نقده با طول جغرافیایی ۴۵° و ۲۴َ و عرض جغرافیایی ۳۶° و ۵۷َ و ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. متوسط دما و میانگین بارندگی سالیانه در طی یک دوره ده ساله در این منطقه به ترتیب برابر ۱۲/۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۳ میلی‌متر می‌باشد. پیش از اجرای آزمایش، از خاک زمین مورد نظر نمونه‌برداری تصادفی جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی انجام گرفت که نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی $EC \times 10^3$ ($dS\ m^{-1}$)	نیتروژن کل %T. N	درصد کربن آلی %O.C	فسفر قابل دسترس P available ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس K available ($mg\ kg^{-1}$)
سیلتی رس Silty clay	7.7	0.84	0.95	1.11	10.1	356

در این آزمایش، تنش خشکی در چهار سطح (آبیاری بعد از ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و نوع کود در چهار سطح (قارچ مایکوریزا، نانو کود روی، ترکیب قارچ مایکوریزا+ نانو کود روی و عدم مصرف کود) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اندازه‌گیری‌های روزانه میزان تبخیر با نصب تشتک تبخیر کلاس A در مزرعه انجام شد و آبیاری هر تیمار پس از رسیدن میزان تبخیر به مقدار مورد نظر صورت گرفت. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد آزمایش (نقده) آبیاری در طول فصل رشد به طور متوسط برای سطوح ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر پنج تا هفت روز یکبار، ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر نه تا ۱۱ روز یکبار، ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر ۱۴ تا ۱۶ روز یکبار و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک هر ۱۸ تا ۲۰ روز یکبار صورت گرفت.

پس از عملیات آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک و تسطیح)، کرت‌های آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت به طول چهار متر، با فاصله بین ردیف ۴۰ و روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر ایجاد گردید. همچنین به منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور و ممانعت از اختلاط اثر تیمارها، فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر ۱/۵ و فاصله بین دو بلوک، سه متر در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده گلرنگ از توده بومی اصفهان بود که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در تاریخ ۲۰ فروردین ماه ۱۳۹۳، بذور گلرنگ در عمق سه سانتی‌متر خاک به‌صورت دستی کاشته شدند. خاک حاوی مایکوریزا *گلوموس اینترارادایسز*[1] (تهیه شده از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک، شهرستان اسد آباد-همدان) به میزان ۴۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت زیر بذر قرار داده شد (هر گرم نمونه قارچ حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده بود). همچنین، محلول‌پاشی نانو کلات روی بر اساس دستورالعمل توصیه شده شرکت سازنده (دانش بنیان صدور احرار شرق (خضراء)) با غلظت ۱/۵ در هزار در دو مرحله شروع ساقه‌دهی و شروع گلدهی انجام گرفت. نانو کود کلات روی حاوی ۱۲ درصد روی خالص کلات شده است. بر اساس توضیحات شرکت سازنده، در طراحی و سنتز نانو کود کلات روی از " فناوری نانو چیلیتینگ" بهره برده شده است که به صورت پودری و کاملاً محلول در آب بوده که به دلیل ساختار منحصر به فرد خود می‌تواند به راحتی از طریق خاک و برگ گیاه جذب شود. جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، محلول‌پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. برای حذف اثرات محلول‌پاشی در شاهد، همزمان اقدام به آب‌پاشی آنها گردید.

کوددهی بر اساس آزمون خاک و در نظر گرفتن نیاز گیاه، به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ساقه رفتن به ردیف‌های گلرنگ به صورت نواری اضافه شد. به علت زیاد بودن مقدار پتاسیم قابل جذب قبل از شروع آزمایش، از کود پتاسیم استفاده نشد. تیمارهای آبیاری نیز بعد از استقرار کامل بوته‌ها اعمال گردید. علف‌های هرز در طول فصل رشد بنا به ضرورت در چندین

1- Glmus intraradices

مرحله از طریق وجین دستی کنترل شدند.

در پایان فصل رشد، هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده بود، ابتدا از هر کرت به‌طور تصادفی ۱۰ بوته انتخاب و اجزای عملکرد شامل تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد نهایی، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه حذف و مابقی بوته‌ها برداشت و دانه‌های آنها جدا و تعیین گردید. برای تعیین عملکرد زیستی، پس از جدا نمودن بذور، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا ثابت ماندن وزن خشک درون آون قرار گرفتند و سپس همراه بذور توزین شدند. برای استخراج روغن، ابتدا نمونه‌های مورد آزمایش آسیاب و پودر شدند. از نمونه‌های آسیاب شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بعد از ۲۴ ساعت به مقدار ۱۰ گرم وزن کرده و در داخل سوکسله با ۳۰۰ سی‌سی از محلول دی‌اتیل اتر قرار داده شدند و پس از شش ساعت حلال مورد نظر از روغن توسط روتاری جدا شد (Kafi and Rostami, 2007; Noroozi and Kazemeini, 2013).

در شروع مرحله گلدهی میزان قند محلول و میزان پرولین به روش زیر اندازه‌گیری شدند.

تعیین میزان قند محلول: میزان قندهای محلول گیاه با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک اندازه‌گیری شد. در این روش به ۰/۱ گرم از بافت خشک گیاهی به‌طور جداگانه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد اضافه و به مدت یک هفته در یخچال نگه‌داری شدند. هر روز نمونه‌ها به هم زده شدند تا قند محلول جدا گردند. پس از یک هفته از محلول رویی نمونه‌ها یک میلی‌لیتر برداشته و به حجم دو میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس یک میلی‌لیتر فنل پنج درصد و پنج میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به نمونه‌ها اضافه و توسط ورتکس به‌خوبی بهم زده شد. سپس لوله آزمایش به‌مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد و بعد از این مدت در دمای آزمایشگاه سرد گردید و سر انجام نیم ساعت به حال خود رها شد و پس از آن میزان جذب به وسیله اسپکتوفتومتر مدل UV 2100 در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده و از محلول‌هایی با غلظت صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶،۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر گلوکز برای تهیه منحنی استاندارد استفاده شد و با در دست داشتن وزن خشک، مقدار قند محلول بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه گردید (Irigoyen *et al*., 1992).

تعیین میزان پرولین: برای سنجش پرولین آزاد از روش بیتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) استفاده شد. بدین ترتیب که ۰/۲ گرم از بافت گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سه درصد اسید سولفوسالسیک در هاون سائیده شده و محلول با کاغذ صافی واتمن صاف گردید. عصاره حاصل با استفاده از سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. آنگاه دو میلی‌لیتر از مایع رویی با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین در درون لوله‌های درپوش مخلوط شده و به مدت یک ساعت در درون بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد جوشانیده شدند. بعد از این مدت جهت قطع انجام کلیه واکنش‌ها لوله‌های آزمایش به حمام یخ منتقل شدند تا سرد شوند. سپس به لوله‌های آزمایش چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و لوله‌ها را به خوبی با دستگاه ورتکس به مدت ۲۰ ثانیه همزده شد. با ثابت نگه داشتن لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه دو لایه مجزا در آنها تشکیل شد. سرانجام از لایه‌ی رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.9 انجام گرفت و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه آماری شدند.

نتایج و بحث

تعداد طبق در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر تعداد طبق در بوته گلرنگ ($p\leq0.01$) و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود (جدول ۲).

بیشترین تعداد طبق در بوته از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در نتیجه کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی بدست آمد و کمترین تعداد طبق در بوته برای تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک در شرایط عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۳). با افزایش فاصله دور آبیاری و شدیدتر شدن تنش خشکی تا سطح ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، ۳۸ درصد از تعداد طبق در بوته کاسته شد، اما کاربرد تلفیقی تیمارها موجب تخفیف اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی شد، به‌طوری‌که در تمام سطوح آبیاری مصرف نانو کود روی، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی هر دو منبع کودی از طریق کارایی بالاتر کود نانو و همچنین افزایش سطح سیستم ریشه‌ای گیاه از طریق همزیستی مایکوریزایی و فراهمی نسبی رطوبت (Habibzadeh *et al*., 2013) باعث افزایش تعداد طبق در بوته گردید.

نتیجه آزمایش بیانگر آن بود که در تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی منجر به بهبود ۳۲ درصدی تعداد طبق در بوته در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) گردید. میزان این بهبود در سطوح ۶۰، ۱۱۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به ترتیب برابر با ۲۶، ۳۶ و ۲۴ درصد بود (جدول ۴).

به‌نظر می‌رسد اگرچه کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی و زایشی گیاه تحت تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش تولید مواد فتوسنتزی و عدم تأمین مواد فتوسنتزی کافی جهت تخصیص مناسب به طبق‌های در حال رشد باعث کاهش تعداد طبق در بوته گردید. اما، در شرایط

تنش خشکی، همزیستی با قارچ مایکوریزا از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیوم‌های قارچ و افزایش سطح تماس ریشه با خاک) موجب افزایش دسترسی گیاه گلرنگ به آب و مواد غذایی شده (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012) و از طرف دیگر، کاربرد همزمان نانو کود روی با مایکوریزا نیز از طریق نقش کلیدی نانو کلات روی در فرآیندهای فتوسنتز و آنابولیک تعداد مختلفی از گونه-های گیاهی (Zuo and Zhang, 2011) توانسته با بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه در فتوسنتز مؤثر باشد و از طریق تحریک تولید مواد فتوسنتزی موجب افزایش تعداد طبق در بوته گلرنگ گردید. بر طبق گزارش کمرکی و گلوی (Kamaraki and Galavi, 2012) عناصر ریزمغذی نقش مثبتی بر تولید طبق در بوته گلرنگ دارند.

نتایج مطالعه فرخی‌نیا و همکاران (Farokhinia *et al*., 2011) روی اثر اعمال تنش خشکی (بدون تنش و تنش کمبود آب در مراحل ساقه روی، گل دهی و پر شدن دانه) روی گلرنگ بهاره نشان داد بروز تنش خشکی در مرحله گلدهی موجب کاهش معنی‌دار تعداد طبق در بوته گردید که این اُفت بیشتر ناشی از کاهش طبق‌های ثانویه بود. در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که با افزایش شدت تنش خشکی (از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در گلرنگ، به‌دلیل کاهش ارتفاع گیاه، انشعابات جانبی و دوره رشد از تعداد طبق در بوته به‌طور معنی‌داری کاسته شد (Noroozi and Kazemeini, 2013). حبیب‌زاده و همکاران (Habibzadeh *et al*., 2013) با بررسی اثر مایکوریزا آربوسکولار بر عملکرد و اجزاء عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) تحت شرایط تنش کم‌آبی (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) دریافتند که همزیستی با گونه *گلوموس اینترارادایسز* در شرایط تنش توانست با کاهش اثرات تنش خشکی منجر به بهبود تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته شود. آنها دلیل این امر را به افزایش نسبی سطح ریشه نسبت دادند.

تعداد دانه در طبق: تعداد دانه در طبق گلرنگ به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) تحت تأثیر سطوح آبیاری و مصرف منابع مختلف کودی قرار گرفت. اما، اثر برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). به-طوری‌که بیشترین تعداد دانه در طبق در سطح آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کمترین تعداد دانه در طبق (۱۶/۱۷ دانه در طبق) در آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده شد. با افزایش شدت تنش خشکی از ۶۰ به ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، تعداد دانه در طبق ۱۴۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح آبیاری و منابع کودی بر خصوصیات کمی و کیفی در گلرنگ

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effects of irrigation levels and fertilizer resources on qualitative and quantitative criteria of safflower

		میانگین مربعات Mean of squares							
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد طبق در بوته Number of head per plant	تعداد دانه در طبق Number of seed per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	درصد روغن Oil percentage	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugar
تکرار Replication	2	29.89**	26.27**	7.58ns	31362.33ns	5710257.58ns	64.77*	0.18*	0.075ns
آبیاری Irrigation	3	137.58**	474.72**	390.96**	664281.**	2452188.88**	1.41**	0.79**	1.22**
خطای اصلی Main error	6	4.47	2.74	23.52	40516.77	1941937.55	6.32	0.027	0.037
کود Fertilizer	3	56.36**	87.66**	217.57**	6600.74**	3555382.50**	20.74**	0.73**	0.104**
آبیاری × کود Irrigation×Fertilizer	9	4.82*	9.87ns	60.61**	495.55*	158023.44ns	1.79ns	0.076*	0.035*
خطای فرعی Sub error	24	1.75	5.48	14.62	5300.91	46234.52	1.99	0.032	0.013
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.69	9.30	11.32	5.56	11.28	5.15	10.11	9.74

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح آبیاری و منابع کودی بر اجزای عملکرد و صفات کیفی در گلرنگ

Table 3- Mean comparisons for interaction effects of irrigation levels and fertilizer resources on yield components and qualitative traits of safflower

سطوح آبیاری Irrigation levels (mm evaporation from evaporation pan)	نوع کود (Fertilizer type)	تعداد طبق در بوته Number of head (per plant)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
60	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	23.5bc*	41ab	2459ab
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	25.1ab	45.2a	2530a
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	27a	38.5abc	2588a
	عدم مصرف کود (Control)	21.5cde	35.5bcde	2356bc
110	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	20.5def	37.2abc	2449ab
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	22.6cd	32.3cdef	2483ab
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	26.5a	44.6a	2565a
	عدم مصرف کود (Control)	19.5efg	29def	2355bc
160	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	17.6fgh	35bcde	2153.3de
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	20def	36.3bcd	2285.6cd
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	19.3efg	37.6abc	2310c
	عدم مصرف کود (Control)	15.6hj	31cdef	2080ef
210	نانو کلات روی (Nano chelated zinc)	15.3hj	25.3f	1973.3f
	مایکوریزا (Mycorrhizal)	17gh	28ef	2090ef
	مایکوریزا + نانو کلات روی (Mycorrhizal+ Nano chelated zinc)	17.6fgh	29.1def	2133de
	عدم مصرف کود (Control)	13.3j	22.5g	1836.6g

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

*Means with different letters are are not significantly different based on Duncan's multiple range test p≤0.05.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی آبیاری و منابع کودی بر تعداد طبق در بوته، عملکرد زیستی و درصد روغن در گلرنگ

Table 4- Mean comparisons of main effects of irrigation and fertilizer resources on seed per head, biological yield and oil percentage of safflower

تیمار Treatment		تعداد دانه در طبق Number of seed per head	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha^{-1})	درصد روغن Oil percentage
آبیاری Irrigation (mm evaporation from evaporation pan)	60	39.58a*	8275a	30.75a
	110	39.42a	8131.33a	28.92b
	160	35.50b	6383.42b	25.83c
	210	16.17c	53.58c	23.92d
کود Fertilizer	مایکوریزا + نانو کلات روی Mycorrhizal+ Nano chelated zinc	38.25a	7636.5a	28.92a
	نانو کلات روی Nano chelated zinc	34.66b	6998b	27.88b
	مایکوریزا Mycorrhizal	35.92b	7149ab	27b
	عدم مصرف کود Control	31.75c	6318.7c	25.75c

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

*Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's multiple range test p≤0.05.

چنین به‌نظر می‌رسد که بروز تنش خشکی با کاهش گرده‌افشانی و همچنین سقط جنین در بعضی طبق‌ها، موجب کاهش تعداد دانه در طبق شده است.(Pasban Eslam, 2011) از طرفی، از آنجا که تعداد طبق و تعداد دانه در طبق در حقیقت ظرفیت مخزن را تعیین می‌کند، هرچه تعداد طبق و تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخازن بزرگتری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولیدی شده بوده و افزایش این صفات منجر به افزایش عملکرد نهایی گیاه می‌شود (Kadkhodaei and Ehsanzade, 2011). بنابراین، هر عاملی که از طریق نقصان در فراهم شدن نهاده‌های فتوسنتزی باعث کاهش در اجزای عملکرد گیاه شود، منجر به کاهش عملکرد نهایی گیاه خواهد شد. توکلی (Tavakoli, 2002) گزارش نمود که وقوع تنش خشکی قبل از گلدهی به طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد دانه در طبق در گلرنگ شد، در حالی‌که اعمال تنش خشکی پس از پایان گلدهی تأثیر اندکی بر تعداد دانه داشته و بیشتر موجب کاهش وزن هزاردانه گردید.

در بین منابع کودی به‌کار رفته، کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا+ نانو کود روی بیشترین تعداد دانه در طبق را در بوته‌ها حاصل کرد و عدم استفاده از منابع کودی کاهش ۱۷ درصدی تعداد دانه در طبق را به‌همراه داشت (جدول ۳). توحیدی‌مقدم و همکاران (Tohidi-Moghaddam *et al*., 2004) دریافتند که افزایش حلالیت فسفر توسط قارچ مایکوریزا و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی ریشه به این عنصر غذایی می‌تواند در افزایش تعداد دانه در گیاه و نیز سایر اجزای عملکرد گیاه سویا (*Glycine max* L.) مؤثر باشد. مارشنر (Marschner, 1995) بیان کرد عنصر روی در ساخت پروتئین لوله گرده شرکت کرده و سبب ذخیره آن در این اندام شده که این امر منجر به افزایش گرده‌افشانی و تشکیل دانه می‌شود. بدین‌ترتیب، از آنجا که از جمله خصوصیات ذرات نانو قابلیت حل‌پذیری و جذب بالا در گیاه می‌باشد(Green and Beestman, 2007)، به‌نظر می‌رسد که نانو کود روی به دلیل ثبات و پایداری بالا، بیشتر در اختیار گیاه قرار گرفته و با تأثیر مثبت بر گرده‌افشانی در تشکیل دانه در طبق مؤثرتر بوده است. از طرف دیگر، کاربرد کود مایکوریزا با توسعه سیستم ریشه‌ای سبب افزایش دسترسی گیاه گلرنگ به آب و مواد غذایی شده در نتیجه فتوسنتز بهبود یافته و متعاقبا تعداد دانه در بوته افزایش یافته است. سید شریفی و خرم‌دل (Seyed Sharifi and Khorramdel, 2014) گزارش نمودند که با افزایش مصرف نانواکسید روی، وزن خشک گره، تعداد دانه در نیام و تعداد نیام در بوته سویا افزایش یافت؛ به طوری‌که بالاترین وزن خشک گره (۹/۰۵ میلی‌گرم)، تعداد نیام در بوته (۲۳/۲۳) و دانه در نیام (۳/۰۸) در محلول‌پاشی با غلظت ۰/۹ گرم در لیتر نانواکسید روی به‌دست آمد.

وزن هزار دانه: اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با کاربرد مایکوریزا و کمترین وزن هزار دانه در آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج این تحقیق در هر سطح از آبیاری با مصرف منابع کودی، وزن هزار دانه افزایش یافت که درصد افزایش آن از سطوح آبیاری ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از عدم مصرف کود به مصرف تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود به ترتیب به میزان ۸، ۵۴، ۲۱ و ۲۹ درصد بود (جدول ۳). بنابراین، نتایج آزمایش حاضر بیانگر آن بود که با افزایش شدت تنش خشکی از ۶۰ به ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر وزن هزار دانه گلرنگ ۵۳ درصد کاهش یافت. اما، کاربرد قارچ مایکوریزا و نانو کود روی به تنهایی و به‌صورت تلفیقی توانست اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد و به خصوص در شرایط اعمال تنش شدید (اعمال ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) منجر به بهبود وزن هزار دانه گلرنگ (به ترتیب با ۲۴ و ۲۹ درصد افزایش در مقایسه با شاهد) شود. از نتیجه آزمایش حاضر چنین استنباط می‌شود که همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه گلرنگ از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده و از این طریق، موجب بهبود رشد گیاه و به دنبال آن سبب افزایش وزن دانه گردیده است (Jahan and Nassiri Mahallati, 2012). از طرفی، به‌نظر می‌رسد که نانو کلات روی نیز به‌علت سطح ویژه بالا و حلالیت زیاد، قابلیت زیادی جهت جذب توسط گیاه دارند و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و با تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی از جمله وزن دانه تأثیرگذار است (Tousi *et al*., 2014) مجموعه این دلایل، افزایش پارامترهای مؤثر در اجزای عملکرد را به دنبال دارد و به‌طور ویژه در شرایط وقوع تنش از گیاه در برابر آسیب‌های جدی محافظت می‌کند. شجاعی و مکاریان (Shojaei and Makarian, 2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی (شاهد (بدون محلول پاشی)، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر نانو ذرات اکسید روی و ۵ و ۱۰ گرم در لیتر اکسید روی) در شرایط وقوع تنش خشکی (شاهد (آبیاری کامل در تمام فصل رشد)، یک نوبت قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، یک نوبت قطع آبیاری در مرحله۵۰ درصد غلاف‌دهی) می‌تواند فرایندهای فتوسنتزی و تجمع کربوهیدرات‌ها را بهبود بخشیده و اثرات منفی تنش را کاهش دهد. در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که تنش کمبود آب موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گلرنگ گردید (Milady Lary and Ehsanzadeh, 2010).

عملکرد زیستی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر دو تیمار مورد مطالعه بر عملکرد زیستی گلرنگ معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود

(جدول ۲). طبق نتایج به دست آمده، تأخیر در زمان آبیاری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد زیستی گلرنگ شد. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار در شاخص ذکر شده به‌ترتیب در نتیجه آبیاری در زمان ۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشک به‌دست آمد (جدول ۴). گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید، بهترین استفاده را برده و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند، اما در شرایط تنش به دلیل کاهش رشد گیاه، کاهش فتوسنتز و یا حتی ساختار سایه‌انداز، گیاه شرایط لازم برای تجمع مواد فتوسنتزی را در اندام‌های خود ندارد. لال و ادواردز (Lal and Edwards, 1996) گزارش کردند که کاهش سرعت فتوسنتز در طول دوره تنش خشکی در گیاه ذرت ممکن است صرف‌نظر از تأثیر عوامل روزنه‌ای به علت کاهش فعالیت آنزیم رابیسکو باشد. بدین‌ترتیب، از آنجا که رابیسکو مهمترین و فراوان‌ترین پروتئین برگ است، لذا بروز تنش با کاهش پروتئین، می‌تواند کاهش فتوسنتز جاری را در پی داشته باشد (Saeidi *et al*., 2011). از طرف دیگر، در شرایط تنش خشکی به‌نظر می‌رسد به‌منظور افزایش جذب آب، گیاهان مشارکت بیشتری در اختصاص مواد به اندام‌های فتوسنتزی و ریشه‌ها داشته باشند. بنابراین، تحت چنین شرایطی وزن اندام‌های هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. نبی‌پور و همکاران (Nabipour *et al*., 2007) با بررسی اثر قطع آبیاری را در مرحله جوانه‌زنی، گلدهی و رسیدگی را با حالت آبیاری نرمال در گیاه گلرنگ دریافتند که رژیم‌های مختلف آبیاری اثرات معنی‌دار را روی عملکرد زیستی گلرنگ دارد.

مقایسه میانگین زیستی نشان می‌دهد که کاربرد کودهای مصرفی به‌صورت نانوکلات روی و همزیستی با قارچ مایکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود) نقش مؤثری در افزایش عملکرد زیستی گلرنگ داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد زیستی تحت تأثیر کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی به‌دست آمد که افزایش ۱۸ درصدی را نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) نشان داد. درصد افزایش عملکرد زیستی در شرایط همزیستی با کاربرد کود کلات روی و مایکوریزا نیز به ترتیب برابر با ۱۱ و ۱۳ درصد بود (جدول ۳). افزایش عملکرد ماده خشک در حضور عنصر روی به دلیل افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر می‌باشد (Romheld and Marchner, 1998). بدین ترتیب، در حضور عنصر روی توان فتوسنتزی و ساخت کربوهیدارت‌های گیاهی افزایش می‌یابد. ازطرفی، قارچ‌های مایکوریزا قادرند از طریق افزایش جذب بهتر آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد، نظیر عملکرد زیستی گیاه می‌گردد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel *et al.,* 2008)گزارش کردند که میزان تجمع ماده خشک در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) همزیست با گونه *G. intraradices* مایکوریزا با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج مطالعه یعقوبیان و همکاران (Yaghoubian *et al*., 2012) روی تلقیح گندم تحت تأثیر تلفیقی از گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی (ظرفیت زراعی، ۵- و ۱۰- بار) نشان داد که همزیستی مایکوریزایی (*Glomuss mossea*) در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم را افزایش دهد. فتحی و زاهدی (Fathi and Zahedi, 2014) با مقایسه فرم‌های مختلف محلول‌پاشی با آهن و روی (محلول‌پاشی اکسید روی به فرم معمول، به فرم نانوذرات و تیمار عدم محلول‌پاشی آب مقطر) با غلظت دو در هزار اظهار داشتند که محلول‌پاشی به شکل نانو ذرات وزن خشک اندام هوایی ذرت را به نسبت بیشتری در مقایسه با محلول پاشی آهن و روی به شکل معمول آن‌ها افزایش داده است.

عملکرد دانه: اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر عملکرد دانه گلرنگ در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر یک سطوح آبیاری (۶۰، ۱۱۰،۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر) کمترین عملکرد دانه از شاهد و بیشترین میزان برای تیمار کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی به‌دست آمد (جدول ۳). با وجود تأثیر منفی تأخیر در آبیاری و وقوع تنش خشکی بر عملکرد دانه، کاربرد کودهای مصرفی به‌ویژه به صورت تلفیقی نقش مؤثری در کاهش اثرات کم‌آبیاری داشت. در شرایط عدم کاربرد کود، عملکرد دانه در نتیجه آبیاری در زمان ۲۱۰ میلی‌متر در مقایسه با ۶۰ میلی‌متر تبخیر تا ۲۲ درصد کاهش یافت؛ حال آن‌که در شرایط کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی، آبیاری در زمان ۲۱۰ میلی‌متر در مقایسه با ۶۰ میلی‌متر تبخیر (۲۳۵۶ کیلوگرم در هکتار) منجر به کاهش ۱۰ درصدی عملکرد دانه گردید (جدول ۴). بنابراین، کاربرد منابع کودی توانستند اثرات نامطلوب ناشی از تنش خشکی را تا حدی تخفیف دهند. به‌طور کلی، در تمام سطوح آبیاری مصرف نانو کود روی، مایکوریزا و ترکیب هر دو منبع کود باعث افزایش عملکرد دانه گردید (جدول ۳).

از جمله دلایل کاهش عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌توان به برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای اشاره نمود، چرا که در شرایط تنش خشکی به دلیل تخلیه آب قابل استفاده خاک میزان تجمع املاح در محیط ریشه افزایش می‌یابد که باعث کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه و بروز سمیت ویژه یونی و کمبود یون‌های غذایی می‌شود (Kafi *et al*., 2009).کافی و رستمی (Kafi and Rostami, 2007) خاطر نشان ساختند که کمبود آب در مرحله تشکیل طبق‌های گلرنگ، موجب کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم‌شدن دوام سطح برگ و کاهش عملکرد گردید. نتایج برخی از تحقیقات قبلی (Fathian and Ehsan Zade, 2013; Maghami *et al*, 2014;

(Noroozi and Kazemeini, 2013) نیز حاکی از آن است که گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی اغلب به دلیل کاهش تعداد طبق و تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه کمتری تولید می‌کند. فرخی‌نیا و همکاران (Farokhinia *et al*., 2011) نیز نشان دادند که تنش خشکی در گیاه گلرنگ با کاهش محتوی آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها از یک‌سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و سایر فرآیندهای مربوطه موجب اُفت عملکرد از طریق کاهش اجزای عملکرد شد، اما در تحقیق حاضر همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه گلرنگ احتمالاً از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی و تسریع بهبود این روابط به‌واسطه بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه شد. از طرفی، از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که محلول‌پاشی با نانو کلات روی با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به‌علت کمک به افزایش رشد رویشی، بهبود سیستم فتوسنتزی، افزایش سبزینگی و احتمالاً دوام سطح برگ منجر به افزایش کارایی فتوسنتزی برگ شده که نتیجه آن افزایش عملکرد گیاه است (Monica and Cremonini, 2009). حمزه‌ئی و همکاران(Hamzei *et al*., 2015) در گیاه کدوی تخمه‌کاغذی(*Cucurbita pepo* L.) دریافتند که رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی این گیاه تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طوری که کاهش سطوح آبیاری سبب کاهش عملکرد اقتصادی و درصد اسیدهای چرب دانه گردید. امیدی تبریزی (Omidi Tabrizi, 2012) و محسن‌نیا و جلیلیان (Mohsen Nia and Jalilian, 2012) اظهار داشتند که در شرایط کمبود آب عملکرد دانه گلرنگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. راعی و همکاران (Raie *et al*., 2015) اظهار داشتند که همزیستی با قارچ مایکوریزا و باکتری *ازتوباکتر* در شرایط تنش خشکی، میزان جذب عناصر غذایی نیتروژن و فسفر و نیز عناصر ریز مغذی را در گیاه گلرنگ بهبود بخشیده و از این طریق سبب افزایش رشد و نمو و مقدار کلروفیل برگ و متعاقب آن، افزایش میزان فتوسنتزی گیاه شده و از این طریق با افزایش طرح‌های اولیه طبق و به تبع آن تعداد طبق در بوته، در نهایت، کاهش پوکی دانه و افزایش وزن هزار دانه و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ را در پی داشته است. ساجدی و همکاران (Sajedi *et al*., 2010) با بررسی جذب برخی عناصر غذایی تحت تأثیر میکوریزا (*Glomus intraradices*)، سطوح مختلف روی و تنش خشکی در ذرت (*Zea mays* L.) دریافتند که با آبیاری معادل ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، تلقیح با میکوریزا و ۴۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار عملکرد مطلوب حاصل می‌شود.

درصد روغن: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد روغن گلرنگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و منابع کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$) (جدول ۲). با کاهش میزان آب آبیاری از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر درصد روغن به میزان ۵/۹، ۱۶ و ۲۲/۲ درصد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد که گیاه گلرنگ در برخورد با شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش میزان فتوسنتز برگی با کاهش انرژی لازم در گیاه برای ساخت موادی همچون روغن مواجه شده است، لذا درصد روغن در طی تنش خشکی کاهش یافته است. مسعود سینکی و همکاران (Masoudsinaki *et al*., 2007) نیز کاهش محتوی روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.) را در اثر تنش خشکی گزارش نموده‌اند.

بین منابع کودی نیز تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد روغن مشاهده گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با مصرف ترکیب نانو کود روی+ مایکوریزا بر درصد روغن افزوده شد، اگرچه تفاوت دو تیمار نانو کود و مایکوریزا از نظر این صفت معنی‌دار نبود. اما، کمترین و بیشترین درصد روغن به‌ترتیب متعلق به شاهد (عدم مصرف کود) و مصرف تلفیقی نانو کود روی+ مایکوریزا بود (جدول ۴). نتایج تحقیق برخی محققان نشان می‌دهد که عناصر ریزمغذی به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های مسئول بیوسنتز اسیدهای چرب عمل می‌کنند و با فعالسازی فرایندهای تشکیل اسیدهای چرب، افزایش جذب، انتقال عناصر و افزایش میزان روغن در گیاهان موجب بهبود ویژگی‌های کیفی گیاه می‌شوند (Scott *et al*., 2003; Thomas *et al*., 2009). در تحقیق حاضر نیز محلول‌پاشی با عنصر روی با رفع به موقع نیاز گیاه باعث افزایش درصد روغن گردید. نتایج آزمایش شیخ‌بگلو و همکاران(Sheykhbagloo *et al*., 2009) نیز حاکی از تأثیر مثبت عنصر روی (با غلظت پنج در هزار) در افزایش میزان روغن در شرایط تنش رطوبتی در گیاه ذرت است. امیدی و همکاران (Omidi *et al*., 2009) در بررسی اثر کاربرد *ازتوباکتر* و همزیستی میکوریزایی در ارزیابی صفات کیفی گلرنگ اظهار داشتند که بیشترین روغن دانه با میانگین ۲۱/۵۸ درصد در تیمار تلقیح با سویه *G. intraradices* و کمترین روغن دانه با میانگین ۱۹/۵۳ درصد در تیمار عدم تلقیح با قارچ *گلوموس* بود.

پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان پرولین (۲/۳ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) در سطح آبیاری ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با مصرف تلفیقی مایکوریزا + نانو کود و کمترین میزان پرولین (۰/۹۹ میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ) در سطح آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد (شکل ۱).

همچنین در هر سطح از آبیاری با افزایش مصرف کود میزان پرولین افزایش یافت که درصد افزایش آن از تیمار آبیاری پس از ۶۰، ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از عدم مصرف کود به مصرف تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود به‌ترتیب به میزان ۶۱/۶۶، ۱۸/۰۶، ۱۸/۶۱ و ۱۷/۹۴ درصد بود (جدول ۴). افزایش پرولین در گیاه

هنگام تنش، نوعی مکانیسم دفاعی محسوب می‌شود که از طریق فرآیند تنظیم اسمزی نقش مهمی در جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، پاک کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون سلولی، بردباری و تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهد (Kafi *et al*., 2009).

شکل ۱- تأثیر سطوح آبیاری و منابع کودی بر پرولین گلرنگ

Figure 1- Effects of irrigation levels and fertilizer resources on proline content in safflower

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

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

فتحیان و احسان زاده (Fathian and Ehsan Zade, 2013) با بررسی ارتباط برخی خصوصیات فیزیولوژیک شش ژنوتیپ گلرنگ در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه گلرنگ اثر معنی‌داری روی میزان پرولین برگ‌ها داشت، به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش (از ۸۰ به ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) تجمع پرولین در برگ‌ها افزایش یافت. ضمن آنکه بیشترین میانگین غلظت پرولین برگ در ژنوتیپ کوسه مشاهده شد. در تحقیق حاضر، میزان پرولین با کاربرد مایکوریزا افزایش نشان داد. چنین به نظر می‌رسد که همزیستی ریشه گیاهان در گیاهان تحت تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد که در نتیجه آن گیاهان کمتر دچار تنش می‌شوند. معمولا گیاهان مایکوریزا با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا در شرایط تنش خشکی کمتر دچار آسیب می‌شوند و در نتیجه با تغییر در میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به گیاهان بدون مایکوریزا گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (Ruiz-Lozano, 2003). افزایش سطح پرولین در هنگام روبه‌رو شدن با تنش خشکی در گیاه سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Masoudi-Sadaghiani *et al*., 2011) و گلرنگ (Hojati *et al*., 2011) نیز توسط برخی محققان گزارش شده است که با نتیجه آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد. در بررسی موحدی دهنوی و همکاران (Movahhedi Dehnavi *et al*., 2004) نیز افزایش تنش کم‌آبیاری و همچنین محلول‌پاشی عنصر روی (با غلظت سه در هزار) موجب افزایش پرولین در ارقام گلرنگ گردید. بنابراین، با توجه به نتایج تحقیقات مشخص است که عنصر روی در شرایط تنش کم‌آبیاری، نقش افزایش‌دهنده در امر تنظیم اسمزی به‌واسطه افزایش میزان پرولین و یا قندهای محلول دارد. همچنین، عنصر روی نیز در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدارت‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشاء از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند (Hemantaranjan, 1996).

قندهای محلول: همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، اثر ساده سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر محتوی قندهای محلول گلرنگ در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش آن‌ها در سطح

احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. به‌طورکلی، با افزایش تنش خشکی، میزان قندهای محلول برگ افزایش یافتند، هر چند بین سطوح مختلف آبیاری به‌ویژه تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که با کاربرد منابع کود، میزان قندهای محلول در برگ افزایش پیدا کرد. به‌طوری‌که با کاربرد نانو کود روی، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی مایکوریزا+ نانو کود روی در شرایط تنش شدید (آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، میزان قندهای محلول نسبت به عدم مصرف کود در همین سطح تنش خشکی (آبیاری پس از ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به‌ترتیب ۱۶/۹، ۲۵/۷ و ۱۸/۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲).

شکل ۲- تأثیر سطوح آبیاری و منابع کودی بر قندهای محلول گلرنگ

Figure 2- Effect of irrigation levels and fertilizer resources on soluble sugars in safflower

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

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

بسیاری از شرایط تنش‌زای محیطی بر متابولیسم قندها و پخش مواد فتوسنتزی در گیاهان در حال رشد اثر می‌گذارند. افزایش میزان قندهای محلول به عنوان شاخص فیزیولوژیک مهم در تنظیم اسمزی و مقاومت به تنش خشکی توسط محققان زیادی گزارش شده است. به طوری که در شرایط تنش خشکی، گیاهان تجمع مواد محلول را در سلول‌ها به‌منظور دسترسی بیشتر به آب افزایش می‌دهند (Yordanov *et al*., 2003). بدین‌ترتیب، افزایش قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی احتمالاً مربوط به انتقال کمتر از برگ‌ها، مصرف آهسته‌تر مواد فتوسنتزی تحت تأثیر کاهش رشد و همچنین دیگر تغییرات نظیر هیدرولیز می‌باشد (Kameli and Losel, 1996). پاتاکاس (Patakas, 2000) بیان نمود که قندها از اسمولیت‌های سازگار به‌شمار می‌آیند که در تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس سلول‌ها و پایدار نمودن پروتئین و غشای سلولی نقش عمده‌ای بر عهده دارند. در این تحقیق نیز روند فزاینده‌ای در مقدار پرولین و همسو با آن در قندهای محلول مشاهده شد. نتایج مشابه نیز توسط مقامی و همکاران (Maghami *et al*, 2014) در گلرنگ نیز مبنی بر افزایش قندهای محلول در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. در ارتباط با نقش مایکوریزا بر میزان قندهای محلول در تنش خشکی، گزارش‌های متعددی وجود دارد. بعضی از محققان بر این باورند که همزیستی با مایکوریزا باعث افزایش قندهای محلول در برگ گیاهان میزبان می‌شود و دلیل این امر را این گونه بیان می‌کنند که این ترکیبات با تجمع در سلول، باعث کاهش پتانسیل آبی برگ شده و گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008; Wu *et al*., 2007) در بررسی موحدی دهنوی و همکاران (Movahhedi Dehnavi *et al*., 2004) افزایش تنش کم‌آبیاری (بدون قطع آبیاری و قطع آبیاری در مرحله‌های رشد رویشی، گلدهی و گرده‌افشانی و همچنین پر شدن دانه) و محلول‌پاشی عنصر روی (با غلظت سه در

هزار)، سبب افزایش قند محلول در ارقام گلرنگ گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط اقلیمی شهرستان نقده کاربرد این ترکیبات باعث بهبود قابل توجه در برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه گلرنگ و میزان عملکرد تولیدی گیاه گلرنگ گردید. در اکثر شاخص‌های مورد بررسی، مصرف کود نانو کلات روی به‌دلیل کارایی جذب و انتقال بالا و همزیستی با قارچ مایکوریزا از طریق مهیا نمودن شرایط لازم برای جذب بیشتر عناصر معدنی و آب توانستند به خوبی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را تخفیف دهند. بدین‌ترتیب، با توجه به افزایش روز افزون کاربرد کودهای شیمیایی و خسارات جبران‌ناپذیری که استفاده بی‌رویه از این ترکیبات به محیط زیست و سلامت انسان وارد می‌کند و توجه جهانی به مفاهیم کشاورزی پایدار، فناوری نانو و کاربرد کودهای زیستی می‌توانند به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی مورد توجه و استفاده قرار گیرند. همچنین، با توجه به کاهش شدید منابع آب زیرزمینی و افت سطح آنها، کاهش بارندگی طی چند سال اخیر و کمبود آب در اکثر مناطق کشور، لزوم بازنگری در مدیریت تغذیه‌ای محصولات دانه روغنی نظیر گلرنگ که گیاهی مقاوم به تنش خشکی و شوری است و به دلیل داشتن تیپ‌های بهاره و پاییزه از آینده نویدبخشی برخوردار هستند، با در نظر گرفتن صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی ضروری به‌نظر می‌رسد.

References

1. Bagheri, H., Andalibi, B., and Azimi-Moghaddam, R. 2012. Effect of atrazine anti transpiration application on improving physiological traits, yield and yield components of safflower under rainfed condition. Journal of Crops Improvement 14 (2): 1-16. (in Persian with English abstract).
2. Bates, L. S., Waldren, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.
3. Baybordi, A. 2006. Zinc in soils and crop nutrition. Parivar Press. First Edition. 179 p. (in Persian).
4. Cho, K., Toler, H., Lee, J., Ownely, B., Stutz, J. C., Moore, J. L., and Auge, R. M. 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. Journal of Plant Physiology 163: 517-528.
5. Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., and Sasandoost, R. 2011. Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (3): 553-545. (In Persian with English abstract).
6. Fathi, A., and Zahedi, M. 2014 .The effect of spraying nanoparticles of iron oxide and zinc on growth and ionic content of two cultivars of maize (*Zea mays* L.) different levels of salinity in the soil. Iranian Journal of Field Crops Research, 110-117. (in Persian with English abstract).
7. Fathian Sh., and Ehsan Zade P. 2013. Association between some physiological characteristics and yield in spring safflower under two irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 43 (4): 649-659. (in Persian with English abstract).
8. Galle, A., Florez-Sarasal, I., Thameur, A., Paepe, R. D., Flexas, J., and Ribas-Carb, M. 2010. Effects of drought stress and subsequent rewatering on photosynthetic and respiratory pathways in *Nicotiana sylvestris* wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. Journal of Experimental Botany 61: 765-775.
9. Good, A. G., and Zaplachiniski, S. T. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiologia Plantarum 90 (1): 9-14.
10. Green, J. M., and Beestman, G. B. 2007. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology, Crop Protection 26: 320-327.
11. Habibzadeh, Y., Zardoshti, M. R., Pirzad, A., and Jalilian, J. 2013. Effects of mycorrhizal arboscular on grain yield and yield component of Mungbean (*Vigna radiate* (L.) Wilczk) underwater deficit stress. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), p. 38-47. (in Persian with English abstract).
12. 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. Journal of Agroecology 7 (1): 99-108. (in Persian with English abstract).
13. Hemantaranjan, A. 1996. Physiology and biochemical significance of zinc in plants. Advancement in Micronutrient Research, Scientific publishers, Jodhpurs, Rajasthan, India, pp. 151-178.
14. Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Karimi, M., and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum 33 (1): 105.
15. Irigoyen, J. J., Emerich, D. W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago Sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 67-72.
16. Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Soil fertility and biofertilizers. Ferdowsi University of Mashhad Press. Pp. 250. (in Persian).
17. Kadkhodaei, A., and Ehsanzade, P. 2011. Grain yield, leaf chlorophyll, proline and soluble carbohydrates content of linseed under different irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science 42 (1):5-131.

18. Kafi, M., and Rostami, M. 2007. Yield characteristics and oil content of three safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 1-132. (in Persian with English abstract).
19. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, A. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plant. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Iran. 502 pp. (in Persian).
20. Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agroecology Journal 4 (3): 201-206. (in Persian with English abstract).
21. Kameli, A., Losel D. M. 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. New Phytologist 132: 57-62.
22. Khalafallah, A. A., and Abo-Ghalia, H. H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4 (5):559-569.
23. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. Influence of biologic fertilizers on growth indices of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2):285-294. (in Persian with English abstract).
24. Kumar, V., and Spencer, M. E. 1992. Nucleotide sequence of an osmotin cDNA from the Nicotiana tabacum cv. white burley generated by the polymerase chain reaction. Plant Molecular Biology 9: 781-792.
25. Lal, A., and Edwards, G. E. 1996. Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C_4 species *Amaranthus cruentus* and *Zea mays*: electron transport, CO_2 fixation and carboxylation capacity. Australian Journal of Plant Physiology 23: 403-4.
26. Maghami, R., Zahedi, M., and Gheysari, M. 2014. Effects of nitrogen application and irrigation water on grain yield and water use efficiency of safflower in Isfahan. Journal of Plant Production and Processing 4 (11): 1-13. (in Persian with English abstract).
27. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. 889 pp.
28. Masoud sinaki, S., Majidi Heravan, E., Shirani Red, H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola. American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 2 (4):417-422.
29. Masoudi- Sadaghiani, F., Abdollahi Mandoulakani, B., Zardoshti, M. R., Rasouli Sadaghiani, M. H., and Tavakoli, A. 2011. Response of proline, souluble sugar, photosynthetitic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of crop Science 5: 55-60.
30. Mehrabi, Z., and Ehsanzadeh, P. 2011. A study on physiological attributes and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars under different soil moisture regimes. Journal of Crops Improvement 13 (2):75-88. (in Persian with English abstract).
31. Milady Lary, S., and Ehsanzadeh, P. 2010. The negative effect of drought on safflower grain yield through impact of photosynthetic efficiency and surfaces. Iranian Journal of Agricultural Sciences 41: 375-384. (in Persian with English abstract).
32. Mohsen Nia, O., and Jalilian, J. 2012. Effects of drought stress and fertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agroecology Journal 4 (3): 235-245. (in Persian with English abstract).
33. Monica, R. C., and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia 62: 161-165.
34. Monreal, J. A., Jimenez, E. T., Remesal, E., Morillo, R., and Garcia, S. 2006. Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. Environmental and Experimental Botany 54: 672-685.
35. Movahhedi Dehnavi, M., Moddares Sanavi, A. M., Sorooshzadeh, A., and Jalali Javaran, M. 2004. Changes in proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) and chlorophyll fluorescence in winter safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and manganese. Desert 9 (1): 93-110. (in Persian with English abstract).
36. Nabipour, M., Meskarbashee, M., and Yosefpour, H. 2007. The Effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorrius* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences 10: 421-426.
37. Ninganoor, B. T., Parameshwarapa, K. G., and Chetti, M. B. 1995. Analysis of some physiological characters and their association with seed yield and drought tolerance in safflower genotypes. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 8 (1): 46-49.
38. Noroozi, M., and Kazemeini, S. A. R. 2013. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. Journal of Field Crops Research 10 (4):781-788. (in Persian with English abstract).
39. Omidi, A., Mirzakhani, M., and Ardakani, M. R. 2014. Assessment of quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under the effect of Azotobacter and Mycorrhizal symbiosis. Journal of Agroecology 6 (2):324-338. (in Persian with English abstract).
40. Omidi, H., Naghdibadi, H. A., Golzad, A., Torabi, H., and Fotoukian, M. H. 2009. The effect of chemical andbio-

fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal Plants 8: 98-109. (in Persian with English abstract).
41. Omidi Tabrizi, A. H. 2012. Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. Seed and plant overproducing proline. Plant Science 167: 1375-1381. (in Persian with English abstract).
42. Pandey, A. C., Sanjay, S. S., and Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticlesin influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. Journal of Experience Nano science 5: 488-497.
43. Pasban Eslam, B. 2011. Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. Journal of Agricultural Sciences and Technology 13:327-338. (in Persian with English abstract).
44. Patakas, A. 2000. Changes in the solutes contributing to osmotic potential during leaf ontogeny in grapevine leaves. American Journal of Enology and Viticulture 51 (3): 223-226.
45. Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M., and Tavassoli, A. 2009. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glacum*) species notified. Iranian Journal Agriculture Science 3 (10): 67-78. (in Persian with English abstract).
46. Raie, Y., Shareati, J., and Wisany, W. 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different Irrigation. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25 (1): 65-84. (in Persian with English abstract).
47. Rajinder, S. D., 1987. Glutathione status and protein synthesis during drought and subsequent dehydration in Torula rulis. Plant Physiolgy 83: 816-819.
48. Romheld, V., and Marchner, H. 1998. Mobilization of iron in the Philosophers of different plant species in advances in plant nutrition. www.springlink.com.
49. Ruiz-Lozano J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. Mycorrhiza, 13:309-17.
50. Saeedi, G. H. 2008. The effect of some macro and microelements on grain yield and other agronomic characters on (*Sesamum indicum* L.) in Isfahan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 45: 379-402. (in Persian with English abstract).
51. Saeidi Aboueshaghi, R., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., and Baluchi, H. 2014. Effect of irrigation intervals and foliar application of iron and zinc on some physiological and morphological characteristics of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). Journal of Plant Process and Function 3 (7): 27-42. (in Persian with English abstract).
52. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, E., Sepehri, R., Najafian, G., and Haabani, A. 2011. The effect of terminal drought stress on physiological characteristics and source-sink relationship in two cultivar of wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Agricultural Science (4): 392-408. (in Persian with English abstract).
53. Sajedi, N. A., Ardakani, M. R., Sajedi, A., Bahrami, A. 2010. Absorption of some nutrient as affected by mycorrhizae, different levels of zinc and drought stress in maize. Iranian Journal of Field Crops Research, 8 (5):784-791. (in Persian with English abstract).
54. Scott, D., J., da Costa, B. M., Espy, S. C., Keasling, J. D., and Cornish, K. 2003. Activation and inhibition of rubber transferases by metal cofactors and pyrophosphate substrates. Phytochemistry 64: 3-134.
55. Seyed Sharifi, R., and Khorramdel, S. 2014. Effects of nano-zinc oxide and seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, yield components and grain filling period of soybean (*Glycine max* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. In Press. (in Persian with English abstract).
56. Sharma, A. K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrbis India, pp.407.
57. Sheykhbagloo, N., Hassanzadeh Gorttapeh, A., Baghestani, M., and Zand, B. 2009. Study the effect of zinc foliar application on the quantitative and qualitative yield of grain corn under water stress. Electronic Journal of Crop Production (2):59-74. (in Persian with English abstract).
58. Shojaei, H., and Makarian, H. 2014. The effect of nano and non-nano zinc oxide particles foliar application on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiate*) under drought stress. Journal of Iranian Field Crop Research (4): 727-737. (in Persian with English abstract).
59. Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, K., Messedi, D., Savoure, A., and Abdelly, C. 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Experimental Botany 61: 10-17.
60. Smith, S. E., and Read, D. J. 2008. Mycorrhiza Symbiosis. 3rd Ed., Academic Press, London.
61. Tavakoli, A. 2002. The evaluating effects of irrigation termination in different growth stages on yield and yield components of safflower cultivars. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tehran University. (in Persian with English abstract).
62. Thomas, J., Mandal, A., Raj Kumar, R., and Chordia, A. 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of tea (*Camellia* sp.). International Journal of Agricultural Research 4: 228-236.
63. Tohidi-Moghaddam, H., Sani, B., and Ghooshchi, F. 2004. The effect of nitrogen fixing and phosphate solubilizing microorganism on some quantitative parameters on soybean from sustainable agricultural point of views".

Proceeding of 8th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran, Guilan University, Iran.
64. Tousi, P., Tajbakhsh, M., and Esfahani, M. 2014. Effect of spray application of Nano-Fe chelate, amino acid compounds and magnetic water on protein content and fatty acids composition of oil of soybean (*Glycine max* L.) in different harvest time. Iranian Journal of Crop Sciences 16 (2): 5-136. (in Persian with English abstract).
65. Wu, Q. S., Xia, R. X., and Zou, Y. N. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal *Citrus* (*Poncirus trifoliata*) seedlings to drought stress. Plant Physiology 29: 543-549.
66. Yaghoubian, Y., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, E., Feiziasl, V., Esfandiari, E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar II) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Journal of Agroecology p. 63-73. (in Persian with English abstract).
67. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Plant Physiology p. 187-206.
68. Zuo, Y., and Zhang, F. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. Journal Plant Soil 339: 83-93.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 168-184

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۸۴-۱۶۸

Effects of Nano Chelated Zinc and Mycorrhizal Fungi Inoculation on Some Agronomic and Physiological Characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Drought Stress Conditions

E. Rezaei Chiyaneh[1*]- S. Khorramdel[2]- A. Movludi[3]- A. Rahimi[1]

Received: 14-09-2015
Accepted: 12-05-2016

Introduction

Zinc is an essential element for plants and animals and plays an important role in plants metabolic system. This element activates enzymes and involved in protein, lipids, carbohydrates and nucleic acid metabolism. Zinc has a major role in cell defenses against ROS and as a protective factor against several chemical compositions of oxidation such as membrane lipids, protein, chlorophyll, and enzyme having sulfhydryl and DNA. Zinc is an essential micronutrient that plays many important roles in various physiological and metabolic processes in all living organisms. It functions as a cofactor for over 300 enzymes and proteins involved in cell division, nucleic acid metabolism and protein synthesis.

Nanoparticles have received considerable attention due to their increased uptake and high rate of penetration in plants. Nanomaterials are classified as materials with at least one dimension less than 100 nm. Nonmaterial could to be applied in designing more soluble and diffusible sources of Zn fertilizer for increased plant productivity.

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) an oilseed crop is a member of the family Compositae or Asteraceae. Safflower, a multipurpose crop that has been grown for centuries in India for the orange-red dye (carthamin) extracted from its brilliantly colored flowers and for its quality oil rich in polyunsaturated fatty acids (linoleic acid, 78%). Safflower flowers are known to have many medicinal properties for curing several chronic diseases, and they are widely used in Chinese herbal preparations.

The mycorrhizal symbiosis is arguably the most important symbiosis on earth. The majority of these mycorrhizal interactions is mutually beneficial for both partners and is characterized by a bidirectional exchange of resources across the mycorrhizal interface. The mycorrhizal fungus provides the host plant with nutrients, such as phosphate and nitrogen, and increases the abiotic (drought, salinity and heavy metals) and biotic (root pathogens) stress resistance of the host.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of nano-zinc fertilizer and mycorrhizal fungi symbiosis on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions, an experiment was arranged as split plot based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, West Azarbaijan Province, Naghadeh city during growing season of 2013-2014. The main factor consisted of four irrigation levels (irrigation after 60, 110, 160 and 210 mm evaporation from pan) and sub factor included four fertilizer levels (nano fertilizer, mycorrhizal, mycorrhizal+nano fertilizer and control). Studied traits were number of head per plant, number of seed per head, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, oil percentage, soluble sugars and proline contents.

For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (DMRT) were performed using SAS version 9.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Results and Discussion

The results declared that increasing drought stress decreased yield and yield components (such as number of head per plant, number of seed per head and 1000-seed weight) significantly. But, application of fertilizer

1- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Medicinal Plants, Shahid Bakeri Higher Education Center of Miandoab, University of Urmia, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)

sources decreased the drought effects, so in irrigation levels, application of nano fertilizer, mycorrhizal and mycorrhizal+nano fertilizer increased these traits. The highest seed yield (2588 $kg.ha^{-1}$) was obtained in irrigation after 60 mm evaporation of pan with using mycorrhizal+nano fertilizer and the lowest amount (1836.6 $kg.ha^{-1}$) from irrigation after 210 mm evaporation of pan and control. Oil percentage decreased by increasing drought stress, but oil percentage with application of mycorrhizal+nano fertilizer significantly increased (11%) compared to control (without application fertilizers). Increasing drought stress and use of nano zinc fertilizer and mycorrhizal symbiosis, increased significantly soluble sugars and proline contents. Elicitation of results showed that inoculation of mycorrhizal under water stress conditions could be increase water and nutrients uptake by increasing uptake of root and could improve plant tolerance against to drought stress. On the other hand, given the role of zinc in plants in drought stress conditions, the existence enough amount of this nutrient is effective to adjust consistency.

Conclusions

The results of the study showed that the application of Nano chelated zinc fertilizer and mycorrhizal fungi had significant improvements on some physiological characteristics of safflower beside, yield and yield components also increased. Because of more zinc uptake and symbiosis with mycorrhizal fungi, water and minerals uptake increased thus decreased negative effects of drought stress. Due to global attention to sustainable agriculture, environment and human health, nanotechnology and biofertilizers can be as alternative fertilization methods. According to recent years conditions as decline in groundwater, reduce rainfall and water shortages, revising oilseeds nutritional management is necessary.

Keywords: Biological fertilizer, Nano technology, Proline, Seed yield, Soluble sugars

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 185-203

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۰۳-۱۸۵

اثر نوع و نحوه کاربرد تیمارهای کودی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی سیر

زهرا امین[۱]- سیف‌اله فلاح[۲*]- علی عباسی سورکی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۹

چکیده

کاربرد کودهای آلی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای در مدیریت پایدار بوم نظام‌های کشاورزی می‌باشد. از این رو به‌منظور بررسی تأثیر کود آلی و کودهای شیمیایی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی سیر، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ با سه تکرار انجام شد. تیمارهای کودی $N_{100}P$، $N_{150}P$ و $N_{200}P$ (به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع کود اوره+ نیاز فسفری)؛ $N_{100}PS$، $N_{150}PS$ و $N_{200}PS$ (به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع کود اوره+ نیاز فسفری+ نیاز گوگردی)؛ BCM_{100} ، BCM_{150} و BCM_{200} (به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع کود گاوی با کاربرد پخش سطحی)؛ SCM_{100}، SCM_{150} و SCM_{200} (به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع کود گاوی با کاربرد زیر سطحی) بودند. صفات مورد مطالعه شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، وزن خشک برگ، ارتفاع بوته، تعداد سیرچه در بوته، وزن سیرچه و عملکرد سیر بود. نتایج نشان دادند که کاربرد کود شیمیایی $N_{150}PS$ بیشترین میزان کلروفیل a با میانگین ۳/۶۶ میلی‌گرم بر گرم را سبب شد. بین تیمارهای SCM_{100} و SCM_{150} با تیمار $N_{100}P$ از نظر تأثیر بر میزان کاروتنوئید اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بر اساس مقایسات گروهی، وزن خشک برگ در تیمارهای کود آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی ۱۶/۳ درصد کاهش نشان داد. در حالی‌که، کاربرد گوگرد منجر به افزایش ۳/۵۷ درصدی وزن خشک برگ در مقایسه با تیمارهای بدون گوگرد شدند. تیمارهای شیمیایی $N_{200}P$ و $N_{200}PS$ به ترتیب با میانگین ۹۹۶۵ و ۹۷۱۵ کیلوگرم بر هکتار بیشترین عملکرد غده سیر را به دنبال داشتند، همچنین کاربرد زیرسطحی کود دامی توانست به میزان ۵/۶۳ درصد عملکرد این گیاه را نسبت به کاربرد سطحی افزایش دهد. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود برای کاهش مصرف کود شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی، کاربرد زیرسطحی کود دامی برای تولید کمی گیاه دارویی سیر توصیه می‌گردد، ولی چنانچه هدف دستیابی به حداکثر عملکرد غده سیر باشد حداقل ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود شیمیایی لازم است.

واژه های کلیدی: رنگدانه فتوسنتزی، کاربرد زیر سطحی، کود گاوی، گوگرد، مدیریت پایدار

مقدمه

گیاه سیر با نام علمی (*Allium sativum* L.) گیاهی است علفی، دائمی و بعد از پیاز دومین و پرمصرف‌ترین گیاه از جنس آلیوم است که به‌علت داشتن مواد معدنی از اهمیت غذایی بالایی برخوردار است (Baghalian *et al*., 2005).

ترکیب گوگردی سیر که به آن آلیسین گفته می‌شود مسئول فعالیت ضدقارچی، ضدباکتریایی، ضدسرطان این گیاه است و همچنین برای جلوگیری از فشار خون مفید است. عصاره این گیاه دارای اثرهای متعددی از جمله ضدباکتری (Sharma *et al*., 1977) ضد ویروس (Tsai *et al*., 1985) ضدقارچ (Yoshida *et al*., 1987) کاهنده لیپید و کلسترول سرم، کاهنده قند خون و ضد انعقاد (Eidi *et al*., 2004) می‌باشد.

عناصر غذایی نیتروژن و گوگرد موجب استفاده بهتر از کربوهیدرات‌ها و تشکیل پروتوپلاسم می‌شود و در چنین شرایطی که با بزرگ شدن دیواره سلولی همراه است ممکن است منجر به گسترش سطح برگ و استفاده کارآمد از تابش خورشیدی و در نتیجه تجمع بهتر و توزیع ماده خشک در برگ و شاخساره شود. از طرفی نیتروژن و گوگرد در بیوسنتز پروتئین و بسیاری از مولکول‌های زیستی نقش مهمی دارند. از این رو، استفاده ترکیبی نیتروژن و گوگرد باعث بهره‌وری بیشتر این عناصر در گیاه می‌شود و این در حالی است که

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: falah1357@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.51177

نیتروژن نقش فعالی در فتوسنتز گیاه دارد اما گوگرد به‌طور غیرمستقیم بر فتوسنتز تاثیر می‌گذارد و این امر از طریق بهبود بهره‌وری استفاده از نیتروژن موجود در خاک امکان‌پذیر است، به‌طوری که سرعت فتوسنتز در گیاه افزایش یافته و در نهایت تولید ماده خشک بیشتر می‌شود (Prabhakar *et al*., 2011).

فسفر از جمله عناصر کلیدی به‌شمار می‌رود که وظایف مهمی را در گیاه به عهده دارد. این عنصر در نقل و انتقالات انرژی در فرآیندهای متابولیکی گیاه، تقسیم سلولی، ساختمان فسفولیپیدهای دیواره سلولی، توسعه قسمت‌های زایشی گیاه و رشد و تکامل ریشه ها نقش دارد. نقش فسفر به‌عنوان پرمصرف‌ترین عنصرغذایی بعد از نیتروژن در گیاهان غیرقابل انکار است و کمبود آن رشد گیاه را به شدت محدود می‌سازد (Hasanzadeh *et al*., 2008). بعلاوه فسفر در ساختمان بسیاری از مواد مهم سلولی مانند اسید نوکلئیک نقشی ویژه دارد (Sharma *et al*., 1977). تغذیه فسفر از طریق تولید ریشه‌های عمیق‌تر و فراوان به گیاهان سود می‌رساند. بنابراین تامین این عنصر برای گیاه جهت بدست آوردن عملکرد مطلوب گیاه زراعی ضروری است. روش متداول در کشور برای تأمین نیاز فسفری گیاهان زراعی مصرف کودهای شیمیایی فسفری می‌باشد (Hasanzadeh *et al*., 2008). این عنصر از طریق مصرف کودهای فسفاته و کودهای حیوانی تامین می‌شود. فسفر اغلب به‌صورت فسفات‌های معدنی کم محلول و یا نامحلول و یا به‌صورت فسفر آلی در خاک وجود دارد که به سهولت برای گیاهان قابل استفاده نیستند. به عبارت دیگر کمبود غلظت فسفات‌های قابل جذب خاک‌های زراعی در کشور باعث شده است که از سال‌ها پیش تاکنون برای رفع کمبود فسفر موردنیاز گیاهان، این عنصر را به صورت کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه شود (Prabhakar *et al*., 2011).

اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی معدنی سریع‌ترین راه برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌باشد، اما پیامدهای کاربرد آن‌ها از جمله هزینه‌های زیاد مصرف کودهای شیمیایی، ایجاد آلودگی، تخریب محیط زیست و خاک نگران‌کننده می‌باشد (Zaidi *et al*., 2003). تحقیقات نشان داده است که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به علت اسیدی شدن خاک، افت خصوصیات مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و نبود ریز مغذی‌ها در کودهای NPK کاهش می‌دهد (Prabhakar *et al*., 2011). این در حالی است که توسعه کاربرد منابع دامی به‌جای منابع شیمیایی می‌تواند نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های زیستی، مواد آلی خاک، سلامت بوم نظام زراعی و افزایش کیفیت محصولات زراعی داشته باشد (Zaidi *et al*., 2003). مواد آلی حاصل از اضافه شدن کود دامی به خاک به دلیل اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک دارند به‌عنوان یکی از ارکان تغذیه‌ای گیاه و باروری خاک شناخته شده‌اند (Sparks, 2003; Tejada *et al*., 2008).

در آزمایشی در دو منطقه خسروشهر و بناب در آذربایجان شرقی نشان داده شد که بیشترین عملکرد پیاز (*Allium Cepa* L.) (۷۱/۱ تن در هکتار) در اثر مصرف ۶ تن در هکتار ورمی کمپوست به دست آمد (Bai Bourdi and Malakouti, 2005). در آزمایشی تحت شرایط آب و هوایی منطقه دماوند نشان داده شد که مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع شیمیایی نسبت به عدم مصرف کود وزن غده‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) را به میزان ۷/۵ درصد افزایش داد. در این آزمایش بیشترین عملکرد در واحد سطح با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدست آمد (Sabbagh *et al*., 2014). در بررسی اثر کودهای نیتروژنه و سولفاته، به این نتیجه رسیدند که با توجه به اثر آنتاگونیستی نیتروژن و گوگرد بیشترین عملکرد و بالاترین مقدار جذب نیتروژن و گوگرد توسط پیاز هنگام کاربرد مقادیر بالای نیتروژن (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) و مقادیر متوسط گوگرد (۴۰ کیلوگرم در هکتار) به دست می‌آید (Mollavali *et al*., 2009). در آزمایشی دیگر بر روی گیاه سیر نشان داده شد که مصرف نیتروژن نسبت به شاهد به افزایش وزن غده‌ها منجر می‌شود و بیشترین عملکرد غده در واحد سطح با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (Roozbahani and Mirzaei, 2006). نتایج تحقیقات نشان داد که مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب باعث بهبود ۱۵ و ۲۰ درصدی عملکرد اقتصادی سیر در مقایسه با شاهد شد (Mollafilabia *et al*., 2013). همچنین ال ریحایم (El-Rehim, 2000) بیشترین افزایش عملکرد خشک پیاز گیاه سیر را در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بدست آورد.

تحقیقات نشان داده است زمانی که استفاده از تغذیه گوگردی افزایش یابد مقدار گوگرد کل ذخیره شده به‌صورت سولفات از ۱۰ درصد به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. گوگرد کل گیاه شامل سولفات و ترکیبات آلی گوگرددار می‌باشد. اکسایش گوگرد در خاک ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه باعث کاهش pH و آزاد شدن عناصر غذایی می‌شود (Mollafilabia *et al*., 2013). نتایج برخی دیگر از بررسی‌های انجام شده بر گیاه سیر نشان می‌دهد که بیشترین قطر و وزن تر غده مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به ترتیب با ۸۳/۴۵ میلیمتر و ۷/۴۴ گرم بود. همچنین در اندازه‌گیری میزان عناصر موجود در غده نیز استفاده از گوگرد بر میزان آهن، روی و مس در سطح یک درصد و بر میزان منگنز در سطح پنج درصد دارای اثر معنی‌دار بود. به‌طوری‌که میزان آهن، روی، مس و منگنز همگی در مصرف ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد نسبت به سطوح ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و شاهد افزایش نشان داد (Sabbagh *et al*.,

2014).

اضافه کردن کودهای دامی جامد معمولاً به روش پخش سطحی و سپس اختلاط با خاک انجام می‌شود، این در حالی است که برخی گزارش‌ها حاکی از اثربخشی بهتر روش کاربرد زیرسطحی این نوع کودها است (Jacobsen *et al*., 1993).

نتایج پژوهشی حاکی از بیشتر بودن ۶ درصدی عملکرد گندم در شرایط کاربرد نواری کود نیتروژن در مقایسه با پخش سراسری آن بود (Jacobsen and Dubbs, 1987). در مطالعه دیگری در مونتانا معلوم شد که عملکرد جو در شرایط کاربرد ۳۳/۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن همراه بذر در مقایسه با عملکرد سراسری آن حدود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود (Jafarzadeh *et al*., 2014).

از آن‌جایی‌که سیر به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی و با اهمیت، کاربرد وسیعی در بین عموم دارد از سوی دیگر اطلاعات در خصوص نقش کودهای آلی در بهبود عملکرد این محصول اندک است بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات نحوه کاربرد کود دامی با کودهای شیمیایی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی سیر در شرایط آب و هوایی شهرکرد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد واقع در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۱۱۶ متر از سطح دریا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۳۹۳ با سه تکرار انجام شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌ی مرکبی از خاک عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر محل آزمایش تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه به همراه کود گاوی تهیه شده تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کود گاوی مورد استفاده

Table 1- Physical and chemical properties of used soil and cow manure

خصوصیت Properties	واحد Unite	خاک Soil	کود گاوی Cow manure
بافت	-	لومی رسی	-
EC	$dS\ m^{-1}$	0.79	4.3
Ph	–	7.9	9.8
OC	%	0.81	-
N	%	0.07	1.24
P*	kg^{-1} mg	7.3	0.63
K*	kg^{-1} mg	185	0.89

*برای کود گاوی فرم اکسید این عناصر گزارش شده است.

تیمارهای آزمایش شامل سه سطح نیتروژن ۱۰۰، ۱۵۰و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بعلاوه نیاز فسفری گیاه؛ سه سطح نیتروژن ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بعلاوه نیاز فسفری و گوگردی گیاه؛ پخش سطحی سه سطح نیتروژن ۱۰۰، ۱۵۰و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود گاوی و کاربرد زیرسطحی سه سطح نیتروژن ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود گاوی بودند. نیاز فسفری و گوگردی گیاه سیر نیز به ترتیب ۱۰۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. در جدول ۲ شرح تیمارهای کود ارائه شده است.

به‌منظور آماده نمودن بستر کاشت، در اسفند ۱۳۹۳ زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه بود، با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار شخم عمیق ایجاد کرده، و از دیسک به‌منظور خرد کردن کلوخه‌ها استفاده شد، سپس عمل تسطیح انجام شد. شخم عمیق و به منظور خرد کردن کلوخ‌ها از دو دیسک استفاده و سپس تسطیح انجام شد. برای گیاه سیر کرت‌هایی با ابعاد ۲/۵×۱/۵ مترمربع و فواصل ۱ متر ایجاد شد. در تیمارهای پخش سطحی کود گاوی با استفاده از شن کش کاملاً با خاک اختلاط داده شد. در تیمارهای کاربرد زیرسطحی نیز کود دامی در شیارهایی به عمق ۱۵ سانتی‌متر قرار داده شد. در تیمارهای کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل، گوگرد و ۵۰ درصد کود اوره (طبق تیمار مربوطه) به کرت‌های مورد نظر اضافه و باقیمانده کود اوره به‌صورت سرک یک ماه پس از کاشت بکار برده شد.

میانگین وزن سیرچه‌ها هنگام کاشت ۲-۳ گرم بود، سپس کشت سیر در ردیف‌هایی به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و فواصل سیرچه‌های روی ردیف ۱۲ سانتی‌متری در تاریخ چهاردهم اسفند و در عمق ۳ سانتی‌متری انجام شد. اولین آبیاری پس از کاشت انجام گردید و آبیاری به‌صورت غرقابی با توجه به شرایط محیطی و نیاز گیاه هر ۵ روز یکبار و سه مرحله وجین دستی علف هرز طی فصل رشد انجام شد.

جدول ۲- شرح تیمارهای آزمایشی
Table 2- Description of treatments

نام تیمار	شرح تیمار Treatment description
$N_{100}P$	۲۱۳ + ۲۱۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منبع اوره و سوپرفسفات تریپل 213 + 213 kg/ha in the form of urea and triple super phosphate, respectively
$N_{150}P$	۳۲۰ + ۲۱۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منبع اوره و سوپرفسفات تریپل 320 + 213 kg/ha in the form of urea and triple super phosphate, respectively
$N_{200}P$	۴۲۷ + ۲۱۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منبع اوره و سوپرفسفات تریپل 427 + 213 kg/ha in the form of urea and triple super phosphate, respectively
$N_{100}PS$	۲۱۳ + ۲۱۳ + ۹۹ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منبع اوره ، سوپرفسفات تریپل و گوگرد گرانوله 213 + 213 + 99 kg/ha in the form of urea , triple super phosphate and sulfur, respectively
$N_{150}PS$	۳۲۰ + ۲۱۳ + ۹۹ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منبع اوره، سوپرفسفات تریپل و گوگرد گرانوله 320 + 213 + 99 kg/ha in the form of urea , triple super phosphate and sulfur, respectively
$N_{200}PS$	۴۲۷ + ۲۱۳ + ۹۹ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منبع اوره، سوپرفسفات تریپل و گوگرد گرانوله 427 + 213 + 99 kg/ha in the form of urea , triple super phosphate and sulfur, respectively
BCM_{100}	۲۷ تن در هکتار کود گاوی با کاربرد پخش سطحی ha cow manure as broadcast application /27 ton
BCM_{150}	پخش سطحی ۴۰ تن کود دامی در هکتار ha cow manure as broadcast application/40 ton
BCM_{200}	پخش سطحی ۵۳ تن کود دامی در هکتار ha cow manure as broadcast application/53 ton
SCM_{100}	کاربرد زیرسطحی ۲۷ تن کود دامی در هکتار ha cow manure as subsurface application/27 ton
SCM_{150}	کاربرد زیرسطحی ۴۰ تن کود دامی در هکتار ha cow manure as subsurface application/40 ton
SCM_{200}	کاربرد زیرسطحی ۵۳ تن کود دامی در هکتار ha cow manure as subsurface application/53 ton

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی، وزن‌تر و خشک برگ در نهم خرداد ماه نمونه‌برداری تصادفی صورت گرفت. همچنین میانگین ارتفاع بوته سیر، در سه دوره رشدی تا قبل از مرحله برداشت به ترتیب در بیست و سوم فروردین ماه، بیست و سوم اردیبهشت ماه و بیست و سوم خرداد ماه به صورت تصادفی برای ۱۰ بوته تعیین شد.

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای در زمانی که ارتفاع بوته‌ها حدود ۲۰ سانتی‌متر شد، تعداد ۱۰ بوته از هر تیمار به طور تصادفی انتخاب و اندام هوایی آن‌ها برش داده شد و کلروفیل a، کلروفیل b و مجموع کلروفیل a و b و کاروتنوئید به روش زیر اندازه‌گیری شد.

استخراج رنگیزه‌های فتوسنتزی از برگ با استون ۸۰ درصد و به روش لیچتن تالر (Lichtenthaler, 1987) انجام گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر برگ و ماده خشک برگ، ابتدا تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب، پس از اندازه‌گیری وزن تر برگ در دمای ۷۵ درجه برای مدت ۴۸ ساعت در آون خشک و سپس وزن شدند (Noorbakhshian *et al*., 2007).

برای اندازه‌گیری تعداد سیرچه در بوته، ابتدا تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب، بعد از وزن شدن، مورد شمارش قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری عملکرد (در تاریخ دوم تیر ماه)، بوته‌های سیر در مساحت باقیمانده هر کرت برداشت و پس از توزین به‌صورت کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

محاسبات آماری داده‌های آزمایش شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS V9 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار کوددهی بر میزان کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار

کود شیمیایی $N_{150}PS$ اختلاف معنی‌داری را با تیمار کاربرد سطحی از منبع کود گاوی BCM_{100} نشان نداد. از طرفی، تیمارهای $N_{200}P$، $N_{200}PS$، BCM_{200} و SCM_{200} در رتبه دوم قرار داشتند و با تیمار کود آلی BCM_{100} تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۱).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و وزن خشک برگ گیاه سیر

Table 3- Analysis of variance (mean square) for fertilization effect on photosynthetic pigments and leaf dry weight of plant garlic

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	وزن خشک برگ Leaf dry weight
بلوک Block	2	0.04^{ns}	0.003^{ns}	0.04^{ns}	0.01^{ns}	0.00005^{ns}
تیمار کودی Fertilizer treatment	11	0.65^{**}	0.09^{**}	1.23^{**}	1.02^{**}	0.0002^{**}
خطا Error	22	0.03	0.008	0.034	0.02	0.00003
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.8	9.8	4.5	19.4	10.5
			مقایسات گروهی Group comparisons			
کود آلی در مقابل کودهای شیمیایی OM vs. CF	1	1.6^{**}(−0.1)	0.5^{**} (−0.02)	2.2^{**} (−0.37)	6.2^{**} (+0.02)	(−0.008) 0.0004^{**}
کاربرد زیرسطحی در مقابل سطحی SCM vs. BCM	1	0.03^{ns}(−0.4)	0.001^{ns} (−0.23)	0.06^{ns}(−0.7)	0.06^{ns}(+0.98)	(−0.011) 0.00007^{ns}
گوگرد در مقابل عدم گوگرد S vs. NS	1	0.7^{**}(+0.42)	0.07^{**}(-0.23)	5.6^{**} (+0.06)	3^{**} (−0.69)	(+0.002) 0.0005^{**}

ns و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد. اعداد مثبت و منفی داخل پرانتز بیانگر اختلاف میانگین گروه اول با گروه دوم است.

level of probability, respectively. Positive and negative numbers in parentheses are ns,** are not significant and significant at 1 % indicated the mean difference between the first and second group.

شکل ۱- تأثیر کوددهی بر کلروفیل a گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به‌ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به‌ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 1- Effect of fertilization on chlorophyll a of garlic plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

مقایسات گروهی حاکی از آن است که کودهای آلی در مقابل کودهای شیمیایی و همچنین کاربرد گوگرد در مقابل عدم کاربرد گوگرد در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۳)، همچنین تیمارهای کود شیمیایی با میانگین ۲/۹۸ درصد برتر از تیمار کود آلی بودند.

نیتروژن جزء مهم‌ترین عناصر غذایی پرمصرف در گیاهان است (۹). فزونی کلروفیل a در تیمارهای کود شیمیایی از منبع اوره $N_{150}PS$ و تیمار BCM_{100} ممکن است بدلیل فراهم بودن گوگرد مورد نیاز در آن‌ها بوده که منجر به متابولیسم و آزادسازی بهتر نیتروژن قابل دسترس شده است. سلطانی نژاد (Soltaninezhad, 2013) در طی بررسی‌های که بر روی گیاه خرفه (*Portulaca Oleracea*) انجام داد به این نتیجه رسید که استفاده از سیستم‌های جداگانه کود آلی و شیمیایی منجر به افزایش کلروفیل برگ شد.

کلروفیل b

مطابق نتایج تجزیه واریانس می‌توان بیان نمود که اثر کوددهی بر میزان کلروفیل b برگ گیاه داروئی سیر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). کلروفیل b در تیمارهای آلی از منبع کود گاوی با کاربرد پخش سطحی BCM_{100} و BCM_{200} اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کود شیمیایی $N_{150}PS$ و $N_{200}PS$ نداشتند (شکل ۲). علاوه بر این در مقایسات گروهی تیمارها مشخص شد که میزان کلروفیل b در سیستم کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی کاهش داشته است، و کاربرد گوگرد در مقابل عدم کاربرد گوگرد برای میزان کلروفیل b نیز افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). در واقع تشکیل کلروفیل b در گیاه سیر با کاربرد تیمار کود آلی BCM_{100} مشابه تیمار $N_{150}PS$ یا به عبارتی شرایطی است که ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به فرم کود شیمیایی بیشتری دریافت نموده است (شکل ۲).

شکل ۲- تأثیر کوددهی بر کلروفیل b گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به‌ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 2- Effect of fertilization on chlorophyll b of garlic plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

نیتروژن علاوه بر ایفا نقش در تشکیل پروتئین‌ها، یک جزء لازم برای مولکول کلروفیل است، عرضه کافی نیتروژن با رشد رویشی زیاد و رنگ سبز تیره ارتباط دارد (Sharma *et al*., 2001). از آنجایی که نیتروژن در ساختار کلروفیل b نیز دخالت دارد، بنابراین دلیل افزایش کلروفیل b شده در تیمارهایی که برتری کلروفیل b دارند را می‌توان به فراهمی بیشتر نیتروژن معدنی نسبت داد، در تیمارهای کود آلی پخش سطحی BCM_{100} احتمالاً دسترسی محدود گیاه به سایر عناصر غذایی از جمله فسفر موجب راندمان پایین نیتروژن و در نتیجه کاهش رشد برگ شده است و بنابراین در برگ‌های کوچک افزایش غلظت کلروفیل b مشاهده شده است. عمرانی (Omrani, 2015) در طی یک بررسی در گیاه خرفه مشاهده نمود که تأمین نیتروژن براساس نیاز گیاهی در تمامی تیمارهای کودی از منبع کودهای آلی (کود مرغی و کود گاوی) و شیمیایی (از منبع اوره و منبع سوپرفسفات تریپل) منجر به افزایش معنی‌داری کلروفیل a و b نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) شد. با افزایش میزان کود نیتروژن، میزان کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش یافته است (Eidi *et al*., 2004).

کلروفیل کل

با توجه به نتایج تجزیه واریانس میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار کوددهی قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های ارائه شده در شکل ۳ حاکی از آن است تیمار کودهای شیمیایی $N_{150}PS$ با تیمار کود گاوی با کاربرد سطحی BCM_{100} در سطح یکسانی قرار داشتند، این در حالی بود که تیمار کود شیمیایی $N_{150}PS$ برتری نسبت به سایر تیمارهای کودی نشان داد، همچنین تیمارهای آلی BCM_{200} و SCM_{200} تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در مقایسات گروهی مشاهده شد که کلروفیل کل در کرت‌های دریافت‌کننده کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی با کاهش ۹/۵۳ درصدی روبرو شده که علت آن می‌تواند محدودیت رشد گیاه باشد، همچنین میزان کلروفیل کل تیمارهای کاربرد گوگرد به میزان ۴/۳۷ درصد بالاتر از تیمارهای عدم کاربرد گوگرد بود (جدول ۳). با توجه به تأثیر معنی‌دار کوددهی بر میزان کلروفیل a (شکل ۱) و همچنین کلروفیل b (شکل ۲) افزایش کلروفیل کل تحت تأثیر کوددهی قابل انتظار است، در دو تیمار SCM_{100} و SCM_{150} نیز کاهش زیاد کلروفیل کل را می‌توان به کمی کلروفیل a و b نسبت داد.

شکل ۳- تأثیر کوددهی بر کلروفیل کل گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به ترتیب بیانگر کاربرد سطحی و زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 3- Effect of fertilization on total chlorophyll of garlic plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که میزان کاروتنوئید تحت تأثیر کوددهی قرار گرفت (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمارهای کود گاوی با کاربرد زیرسطحی SCM_{100} و SCM_{150} بدست آمده که البته این تیمارها با تیمار کود شیمیایی $N_{100}P$ اختلاف معنی‌داری نداشتند. با توجه به مقایسات گروهی مشخص شده که تیمارهای دریافت کننده کود آلی در مقابل کودهای شیمیایی منجر به افزایش ۲/۶۶ درصدی برای کاروتنوئید شدند، از طرفی، تیمارهای بدون گوگرد از میزان کاروتنوئید بیشتری نسبت به تیمارهای دارای گوگرد برخوردار بود ($p<$ ۰/۰۱) (جدول ۳).

در گیاه کاهش مقدار کلروفیل موجب کاهش جذب گاز کربنیک و ظرفیت فتوسنتزی می‌گردد (Javadipour *et al.*, 2011). در طی فتوسنتز، کاروتنوئیدها به عنوان محافظ عمل کرده، با ظهور نهایی رنگ گیاه و با کاهش کلروفیل، میزان کارتنوئید زیاد می‌شود (Deman, 1999). با توجه به کلروفیل a و کلروفیل b تیمارهای کاربرد سطحی و نواری و همچنین تیمارهای شیمیایی (شکل های ۱ و ۲) می‌توان اشاره نمود که زیاد شدن کاروتنوئید در تیمارهای پخش سطحی و یا تیمارهای شیمیایی بدون گوگرد مربوط به کاهش نیتروژن و در نتیجه کاهش ساخت و نگهداری کلروفیل‌ها می‌باشد جعفر زاده و همکاران (Jafarzadeh *et al.*, 2014) گزارش کردند عدم کاربرد نیتروژن باعث افزایش کاروتنوئید در گیاه دارویی همیشه بهار شد.

وزن خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کوددهی بر وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود وزن خشک برگ در تیمار آلی از منبع کود گاوی با کاربرد سطحی BCM_{200} و تیمار شیمیایی $N_{200}PS$ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار آلی از منبع کود گاوی با کاربرد

زیرسطحی SCM_{200} و تیمارهای شیمیایی $N_{200}P$، $N_{100}P$، $N_{150}PS$ و $N_{100}PS$ نداشتند.

شکل ٤- تأثیر کوددهی بر کاروتنوئید گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به‌ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به‌ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 4- Effect of fertilization on the carotenoids of garlic plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

بر اساس مقایسات گروهی انجام شده اختلاف کرت‌های دریافت کننده کود آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی برای وزن خشک برگ ۱۶/۳ درصد کاهش داشت، رها سازی آهسته نیتروژن از کودهای آلی و همچنین نقش گوگرد در متابولیسم بهتر نیتروژن می‌تواند دلیل این نتایج باشد. از طرفی، مقایسات نشانگر این است که، تیمارهای کاربرد گوگرد در مقابل عدم کاربرد گوگرد ۳/۵۷ درصد با افزایش روبرو بـود (جدول ۳).

شکل ٥- تأثیر کوددهی بر وزن خشک برگ گیاه سیر (٨٦ روز پس از کاشت). میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به‌ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به‌ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 5- Effect of fertilization on leaf dry weight of garlic plant (86 days after planting). Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

بالا بودن وزن خشک برگ در طول رشد برای تیمارهای BCM_{200} و $N_{200}PS$ را می‌توان به اثرات تیمارهای کودی و بالا بودن نیتروژن که به دنبال آن افزایش رشد رویشی و افزایش تعداد و اندازه برگ است نسبت داد، به نظر می‌رسد که تیمارهای آلی با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کود گاوی (سطحی و نواری) منجر به وضعیت نسبتاً مطلوب در تأمین نیتروژن معدنی شده در مرحله رویشی شده و با سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و تا حدودی بهبودی در میزان کلروفیل‌ها (شکل ۱، ۲ و ۳) شده باشد، در جدول ۶ نیز چنین ارتباط مستقیمی قابل مشاهده است. در تیمار شیمیایی نسبت به کود آلی $N_{200}PS$ احتمالاً برتری نیتروژن قابل دسترس برای گیاه در کوتاه‌ترین مدت (کود اوره) و گوگرد کافی موجب متابولیسم بهتر نیتروژن شده است، از اینرو می‌توان می‌توان برتری وزن خشک برگ را انتظار داشت. سو و همکاران (Xu *et al.*, 2005) گزارش کردند رشد با سطوح بالاتر از کود آلی در گیاه کلزا باعث رشد بهتر و منجر به عملکرد کل بهتری نسبت به مقادیر پایین‌تر آن است.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس جدول ۴ نشان داد که ارتفاع بوته (۳۸ ، ۶۸ و ۹۸ روز پس از کاشت) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کودی قرار گرفت ($P<۰/۰۱$). مطابق شکل ۷ تیمار شیمیایی $N_{100}P$، $N_{200}P$ و $N_{150}PS$، از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در تیمارهای آلی پخش سطحی از منبع کود گاوی BCM_{100} و BCM_{200} تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد زیرسطحی از منبع کود گاوی SCM_{100}، SCM_{150} وSCM_{200} نشان نداد. ارتفاع بوته (۶۸ روز پس از کاشت) در تیمار شیمیایی $N_{100}PS$ افزایش معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای کودی از منبع گاوی و کود شیمیایی نشان داد و این در صورتی بود که در تیمار کاربرد زیرسطحی گاوی SCM_{200}، تیمار کاربرد سطحی از منبع گاوی BCM_{100} کاهش ارتفاع بوته (۶۸ روز پس از کاشت) مشاهده شد (شکل ۷).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی بر ارتفاع بوته (۳۸، ٦٨ . ۹۸روز پس از کاشت)

Table 4- Analysis of variance (mean square) for fertilization effect on plant height in plant garlic (38, 68 and 98 days after planting)

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته (۳۸ روز پس از کاشت) Plant height (38 days after planting)	ارتفاع بوته (٦٨ روز پس از کاشت) Plant height (68 days after planting)	ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) Plant height (98 days after planting)
بلوک Block	2	3.5^{ns}	0.03^{ns}	0.5^{ns}
تیمار کودی Fertilizer treatment	11	7.3^{**}	10^{**}	23.3^{**}
خطا Error	22	1.32	0.95	1.06
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		11.6	3.2	2.03
		مقایسات گروهی Group comparisons		
کود آلی در مقابل کودهای شیمیایی OM vs. CF	1	1^{ns}(+0.77)	19.6^{**} (-0.4)	19^{**} (-0.94)
کاربرد زیرسطحی در مقابل سطحی SCM vs. BCM	1	1.3^{ns}(+0.55)	13.9^{**} (-0.14)	10^{**} (+0.05)
کاربرد گوگرد در مقابل عدم کاربرد گوگرد S vs. NS	1	4.5^{ns}(-0.06)	0.02^{ns} (+2.8)	40^{**} (+1.96)

ns و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد. اعداد مثبت و منفی داخل پرانتز بیانگر اختلاف میانگین گروه اول با گروه دوم است.

ns,** are not significant and significant at 1 % level of probability, respectively.

Positive and negative numbers in parentheses are indicated the mean difference between the first and second group.

ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) در تیمار کود گاوی با کاربرد سطحی BCM_{150} با تیمارهای شیمیایی $N_{100}PS$ و $N_{150}PS$ و در تیمار کود گاوی با کاربرد سطحی BCM_{150} با تیمار کاربرد زیرسطحی گاوی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمارهای شیمیایی $N_{100}P$ و $N_{200}PS$ کمترین ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) به‌دست آمد (شکل ۷).

با توجه به مقایسات گروهی ۶۸ روز پس از کاشت، سیستم کودهای شیمیایی در مقابل سیستم کودهای آلی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P<۰/۰۵$) و سیستم کود گاوی با کاربرد زیرسطحی در مقابل پخش سطحی نیز کاهش معنی‌داری نشان داده شد (جدول ۴). در مقایسات گروهی برای ۹۸ روز پس از کاشت مشخص شده که کودهای آلی در مقابل کودهای شیمیایی کاهش و کاربرد زیرسطحی کود گاوی در مقابل پخش سطحی آن با افزایش همراه شد و همچنین کاربرد گوگرد در مقابل عدم کاربرد گوگرد توانست ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) را افزایش دهد (جدول ۴).

از آن‌جایی‌که کود شیمیایی اوره در کوتاه مدت به شکل قابل جذب در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و موجب افزایش عملکرد می‌گردد، به نظر می‌رسد که در تیمارهای شیمیایی، به‌علت اینکه نیتروژن به فرم قابل جذب در در طی رشد رویشی گیاه سیر بوده است، احتمالاً توانسته است با در دسترس قرار دادن نیتروژن معدنی شده در رنگدانه‌های فتوسنتزی و اندام‌های هوایی، منجر به افزایش ارتفاع بوته در بعضی از تیمارهای شیمیایی شود، اما در کود گاوی نواری با تأمین نیتروژن معدنی شده در طی دوره رشد گیاه منجر به افزایش ارتفاع نهایی بوته شده است (شکل ۷).

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود به علت استفاده از کود اوره به عنوان سرک در طی رشد، تیمارهای شیمیایی نسبت به تیمارهای آلی افزایش ارتفاع داشته، در حالی‌که میزان مواد غذایی در کلیه تیمارهای کودی مورد استفاده برای رشد رویشی گیاه مناسب بود. از طرفی، دلیل افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای شیمیایی $N_{100}PS$ را می‌توان به دسترسی سریع گیاه به نیتروژن قابل جذب نسبت داد. در این ارتباط نیز عمرانی (Omrani, 2015) در طی پژوهشی گزارش نمود که ارتفاع بوته در گیاه خرفه تیمارهای شیمیایی به دلیل دسترسی به نیتروژن معدنی شده به فرم قابل جذب گیاهان در برداشت نهایی منجر به رشد رویشی گیاه شده و در نهایت باعث بهبود ارتفاع بوته شده است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کوددهی بر تعداد سیرچه در بوته، وزن سیرچه و عملکرد در گیاه سیر

Table 5- Analysis of variance (mean square) for fertilization effect on clove number/plant, clove weight per plantand yeild in plant garlic

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سیرچه در بوته Clove number per plant	وزن سیرچه Clove weight	عملکرد Yield
بلوک Block	2	0.14^{ns}	2.2^{ns}	493859^{*}
تیمار کودی Fertilizer treatment	11	5.2^{**}	1.17^{**}	3400019^{*}
خطا Error	22	0.19	0.08	107107
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5	7.15	4.08
		مقایسات گروهی Group comparisons		
کود آلی در مقابل کودهای شیمیایی OM vs. CF	1	0.2^{ns} (+0.15)	1.7^{**}(-0.05)	188744^{ns}(+898.2)
کاربرد زیرسطحی در مقابل سطحی SCM vs. BCM	1	1.5^{**} (+0.56)	0.17^{ns}(+0.2)	6140534^{**} (+414.5)
گوگرد در مقابل عدم گوگرد S vs. NS	1	31.4^{**}(+0.91)	2.9^{**}(-0.7)	5030^{ns} (+125.3)

ns و ** به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد. اعداد مثبت و منفی داخل پرانتز بیانگر اختلاف میانگین گروه اول با گروه دوم است.

ns,** are not significant and significant at 1 % level of probability, respectively.

Positive and negative numbers in parentheses are indicated the mean difference between the first and second group.

شکل ٦- تأثیر کوددهی بر ارتفاع بوته گیاه سیر (۳۸، ٦٨ و ۹۸ روز پس از کاشت). میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به‌ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 6- Effect of fertilization on on plant height garlic (38, 68 and 98 days after planting). Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

تعداد سیرچه در بوته

مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس می‌توان اظهار داشت که اثر تیمار کوددهی بر تعداد سیرچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۸) گویا این مطلب است که بیشترین تعداد سیرچه در تیمارهای آلی BCM_{150}، SCM_{100}، SCM_{150} و تیمار شیمیایی $N_{100}P$ مشاهده شد که از نظر آماری اختلافی معنی‌داری نشان ندادند. با توجه به مقایسات گروهی، سیستم کود گاوی زیرسطحی در مقابل پخش سطحی ۶/۴ درصد افزایش را نشان داد و همچنین کاربرد گوگرد در مقابل عدم گوگرد نیز افزایش ۱۰/۸ درصدی داشت (جدول ۵).

افزایش معنی‌داری تعداد سیرچه در تیمارهای آلی BCM_{150}، SCM_{100} و SCM_{150} احتمالاً می‌تواند بر بازار پسندی گیاه دارویی سیر اثر بگذارد. با توجه به شکل ۸ می‌توان بیان نمود در طی تشکیل سیرچه تیمارهای آلی توانسته‌اند عناصر پرمصرف را به همراه برهمکنش آن با دیگر عناصر غذایی موجب متابولیسم بهتر گیاه و افزایش تعداد سیرچه در این تیمارها شود. نوربخشیان و همکاران (Noorbakhshian *et al.*, 2007) در تحقیق خود، سیر همدان را

با تعداد متوسط سیرچه ۱۳/۷۴ عدد در پیاز در صدر جدول ژنوتیپ‌های خود قرار داد.

وزن سیرچه

با توجه به نتایج آنالیز واریانس داده‌ها در جدول ۵ می‌توان بیان نمود که اثر کوددهی بر وزن سیرچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تیمارهای آلی از منبع کود گاوی با کاربرد سطحی BCM_{200} و کاربرد زیر سطحی SCM_{200} و تیمار کود شیمیایی $N_{200}P$ از نظر وزن سیرچه در یک سطح قرار گرفتند. تیمارهای شیمیایی $N_{150}P$ و $N_{100}PS$ نیز نتایج یکسانی را با تیمار آلی با کاربرد زیرسطحیSCM_{200} نشان دادند (شکل ۹). براساس مقایسات گروهی می‌توان بیان نمود که سیستم کودهای آلی در مقابل سیستم کودهای شیمیایی با کاهش ۱/۲ درصدی و کاربرد گوگرد در مقابل عدم کاربرد گوگرد با کاهش ۱۹/۲ درصدی روبه‌رو شد (جدول ۵).

شکل ۷- تأثیر کوددهی بر تعداد سیرچه در بوته گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N، P و S به ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به‌ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 7- Effect of fertilization on number of clove per plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

شکل ۸- تأثیر کوددهی بر وزن سیرچه گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N ، P و S به‌ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به‌ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 8- Effect of fertilization on plant clove weight of garlic plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

نتایج برخی مطالعات نشان داده است که استفاده از انـواع مـواد آلی در خاک به دلیل بهبود خلل و فرج و ظرفیت نگهداری رطوبـت در خاک، افزایش عملکرد سیر را موجب می‌شـود (Jacobsen and Dubbs, 1987). با توجه به شکل ۹ می‌توان بالا بودن وزن سیرچه در بوته در تیمارهای BCM_{200} و $N_{200}P$ را پایین بودن تعداد سیرچه در این تیمارها نسبت داد شکل (۱۰). در این پژوهش وزن سیرچه و تعداد سیرچه رابطه معکوسی داشتند ($y= -0.218x+5.92$ ، y= وزن سیرچه، X= تعداد سیرچه) (جدول ۶)، یعنی در تیمارهایی که تعـداد سیرچه کم می‌باشد گیاه با بالا بردن وزن سیرچه‌ها و در غده‌هایـی که وزن سیرچه کم می‌باشد گیاه با افزایش تعداد سیرچه از کـاهش عملکرد جلوگیری به‌عمل آورده است.

عملکرد

طبق نتایج تجزیه واریانس جدول ۵ عملکرد تحت تأثیر کوددهی قرار گرفت (P<۰/۰۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل ۱۰ حاکی از آن است تیمارهـای شـیمیایی $N_{200}P$ و $N_{200}PS$ دارای بیشـترین عملکرد بودند. تیمارهای آلی با منبع کود گاوی با کاربرد زیرسطحی SCM_{100} و SCM_{150} و کاربرد سطحی از منبع کود گاوی BCM_{200} بدون اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شیمیایی $N_{100}P$ و $N_{100}PS$ در مرتبه بعدی قرار داشتند. در مقایسات گروهی نیز مشخص شـد کـه سیستم کود گاوی با کاربرد زیرسطحی در مقابل پخش سطحی این کود در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۵).

شکل ۹- تأثیر کوددهی بر عملکرد گیاه سیر. میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. N ، P و S به ترتیب بیانگر نیتروژن، فسفر و گوگرد از منبع کود شیمیایی می‌باشند. BCM و SCM به ترتیب بیانگر پخش سطحی و کاربرد زیرسطحی کود گاوی است.

Figure 9- Effect of fertilization on yield of garlic plant. Means with different letter, are significantly different (p≤0.05) based on LSD test. N, P and S the nitrogen, phosphorus and sulfur are the source of chemical fertilizer, respectively. BCM and SCM are broadcast and subsurface application of cow manure, respectively.

نیتروژن یک ماده معدنی است که به دلیل نقش در ساختار مـواد آلی گیاهان به مقدار زیاد به آن نیاز دارند (Hossain *et al*., 2005) افزایش معنی‌دار عملکرد در تیمارهای شـیمیایی$N_{200}P$ و $N_{200}PS$ را می‌توان به اثرات معدنی شدن و قابلیـت دسترسـی نیتـروژن معـدنی تیمارهای نیتروژن نسبت داد. بـه نظـر مـی‌رسـد کـه در تیمارهـای شیمیایی به دلیل در دسـترس قـرار گـرفتن نیتـروژن معـدنی شـده مصنوعی در طی مرحله زایشی و تشکیل سیرچه می‌توانـد دلیلـی بـر افزایش عملکرد در طی برداشت در تیمارهای یاد شده باشد. از آنجایی که غده سیر مورد مصرف واقع می‌شود می‌توان چنین بیان داشت که کاربرد مقادیر نیتروژن متناسب با برطرف نمودن نیازهای گیاه به سایر عناصر غذایی در پایان فصل رشد نیز افزایش عملکرد گیاه را بـدنبال دارد (Shafea *et al*., 2011). بهمنـی و همکـاران (Mansor Bahmani *et al*., 2013) نشان دادند که کلیـه تیمارهـای دریافـت کننده کود اوره نسبت به شاهد بر عملکرد پیـاز افـزایش معنـی‌داری داشته‌اند. در این آزمایش با افزایش مصرف نیتـروژن تـا سـطح ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد افزایش و با افزایش بیشتر نیتروژن مصرفی عملکرد کاهش یافت احتمـالاً مسـمویت گیـاه در اثـر مصـرف زیـاد نیتروژن باعث کاهش عملکرد شده است. پژوهشی دیگر بر روی پیاز نشان داد که در اثر مصرف کودهای شیمیایی عملکرد غده با افزایش روبـرو شـده اسـت (Mahmoodabadi *et al*., 2013). مگـدی و همکاران (Magdi *et al*., 2009) افزایش ۳۶/۶ درصد عملکرد غـده پیاز را در اثر مصرف کود آلی نسبت به شاهد گزارش کردند.

بررسی ضرایب همبستگی بین وزن خشک برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید) نشان داد که این صفت همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل (به‌ترتیب ۰/۳*، ۰/۵۳** و ۰/۵۴**) برخوردار بود، این در حالی است که همبستگی وزن خشک برگ با کاروتنوئید رابطه‌ای منفی و معنی‌داری (۰/۵۶**-) داشت. روابط همبستگی ارتفاع بوته (۳۸ روز پس از کاشت) و ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) با وزن خشک برگ منفی و معنی‌دار نبود. ولی این در صورتی بود که ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) با ارتفاع بوته (۶۸ روز پس از کاشت) همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۶**) را نشان داد (جدول ۶). رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری بین تعداد سیرچه و ارتفاع بوته (۳۸ روز پس از کاشت) (۰/۳*) مشاهده شد. از آنجایی که تجمع ماده خشک برگ در طول رشد همبستگی مثبت و معنی‌داری را برای کلروفیل‌ها نشان داده می‌توان این‌گونه بیان نمود که در مرحله رویشی به دلیل تأمین نیتروژن معدنی شده از منبع آلی و شیمیایی (اوره) و برهمکنش سایر عناصر غذایی با یکدیگر باعث افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی شد و با تولید برگ بیشتر منجر به افزایش تجمع ماده خشک برگ شده باشد.

جدول ٦- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در گیاه دارویی سیر

Table 6- Correlation coefficients between traits in medicinal garlic plant

صفات	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoids	وزن خشک برگ Leaf dry weight	ارتفاع بوته (۳۸ روز پس از کاشت) Plant height (38 days after planting)	ارتفاع بوته (۶۸ روز پس از کاشت) Plant height (68 days after	ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) Plant height (98 days after	تعداد سیرچه در بوته Clove number per plant	وزن سیرچه در بوته Clove weight per plant	عملکرد Yield
کلروفیل a Chlorophyll a	1										
کلروفیل b Chlorophyll b	0.7**	1									
کلروفیل کل Total chlorophyll	0.8**	0.7**	1								
کاروتنوئید Carotenoids	-0.7**	0.8**	-0.7**	1							
وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.3*	0.53**	0.54**	-0.56**	1						
ارتفاع بوته (۳۸ روز پس از کاشت) Plant height (38 days after planting)	0.43**	0.2	0.2	-0.2	-0.002	1					
ارتفاع بوته (۶۸ روز پس از کاشت) Plant height (68 days after planting)	-0.1	-0.02	-0.16	-0.08	0.06	-0.2	1				
ارتفاع بوته (۹۸ روز پس از کاشت) Plant height (98 days after planting)	0.1	0.05	0.1	-0.2	-0.002	-0.1	0.6**	1			
تعداد سیرچه در بوته Clove number per plant	0.01	-0.1	0.13	0.04	0.2	0.3*	0.1	0.1	1		
وزن سیرچه Clove weight per plant	0.01	-0.17	0.13	0.04	0.2	0.17	0.13	0.16	0.1	1	
عملکرد Yield	0.05	-0.06	-0.1	0.02	0.32*	0.01	0.3	-0.1	0.2	0.3*	1

** و * به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

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

ولی رابطه معکوس و معنی‌داری بین وزن خشک برگ و کاروتنوئید مشاهده شده که احتمالاً دلیل این امر را می‌توان به ارتباط کلروفیل‌ها با کاروتنوئید دانست چون با افزایش کلروفیل‌ها (شکل ۱، ۲ و ۳)، کاروتنوئیدها کاهش یافته پس بعید نیست در صورت افزایش وزن خشک برگ (شکل ۶) با کاهش کاروتنوئید مواجه شد (شکل ۴).

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود همبستگی مثبت و معنی‌داری (*۰/۳۲) بین عملکرد و وزن خشک برگ وجود داشت. عملکرد و وزن سیرچه رابطه مثبت و معنی‌داری (*۰/۳) داشتند. با توجه به نتایج همبستگی بین عملکرد و وزن خشک برگ و وزن سیرچه در بوته می‌توان اظهار نمود که سیستم کوددهی از منبع آلی و شیمیایی توانسته است منجر به تأمین مطلوب نیتروژن و برهم‌کنش عناصر غذایی با یکدیگر شود که نهایتاً با جذب مواد معدنی از طریق غده باعث وضعیت نسبتاً مطلوب وزن خشک برگ (شکل ۶) و همین امر باعث شده که بین عملکرد (شکل ۱۰) و وزن سیرچه در بوته رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شود (شکل ۹).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که نحوه و کاربرد کودهای آلی و کودهای شیمیایی اثر زیادی بر عملکرد غده گیاه سیر داشته است. در شرایط استفاده از کود آلی عملکرد غده مشابه کودهای شیمیایی بود. همچنین تغییری در عملکرد کمی سیر ایجاد نکرد. این در حالی است که کاربرد زیرسطحی کود دامی توانست به میزان ۵/۶۳ درصد عملکرد این گیاه را نسبت به کاربرد سطحی افزایش دهد. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که برای کاهش مصرف کود شیمیایی در اکوسیستم‌های زراعی، کاربرد زیرسطحی کود دامی برای تولید کمی گیاه دارویی سیر توصیه می‌گردد، ولی چنانچه هدف دستیابی به حداکثر عملکرد غده سیر باشد حداقل ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود شیمیایی لازم است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مساعدت مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

References

1. Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., and Idowu, O. J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. Journal of Plant Nutrition 27: 1163-1181.
2. Baghalian, K., Ziai, S. A. Naghavi, M. R., and Naghdi Badi, H. 2005. Pre-planting evaluation of allicin content and botanical traits in Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Journal of Medicinal Plants 4(13):50-5. (in Persian).
3. Bai Bourdi, A., and Malakouti, M.J. 2005. Effect of different organic fertilizers (animal manure, compost, and vermicompost) on the yield and quality of red onion in Khosrowshahr and Bonab. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 21 (1): 33-43. (in Persian).
4. Deman, J. M. 1999 Principles of food chemistry (3th ed). Aspen publishers, Inc. Maryland. (in Persian).
5. Eidi, A., Eidi, M., Oryan, S., and Esmaeili, A. 2004. Effect of garlic (*Allium sativum*) extract on levels of urea and uric acid in normal and streptozotocin-diabetic rats Iranian Journal of Pharmaceutical Research 3:52-52 (in Persian).
6. El-Rehim, G. H. A. 2000. Effect of phosphorus fertilization on yield and quality of onion bulb under Egypt condition. Assiut Journal of Agricultural Sciences 31: 115-121.
7. Ghnaya, A. B., Charles, G., Hourmant, A., Hamidaj, B., and Branchard, M. 2009. Physidogical behavior of four rapeseed cultivar (*Brassica napus* L.) submitted to metal stree. Comptes Rendus Biologies 332: 363-370.
8. Hasanzadeh, E., Mazaheri, D., Chaeichi, M.R., and Khavazi, K. 2008. Efficiency of phosphorus solubilizing bacteria and phosphorus chemical facilizer on yield and yield components of barley cultivar. Karoon dar Kavir. Pajouhesh-va-Sazandegi. (77 in Agronomy and Horticulture) 20 (4): 111-118 (in Persian).
9. Hassegawa, R. H., Fonseca, H., Fancelli, A. L., da Silva, V. N., Schammass, E. A., Reis, T. A., and Correˆa, B. 2008. Influence of macro-and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. Journal of Food Control 19: 36-43.
10. Hossain, M. F., White, S. K., Elahi, S. F., Sultana, N., Choudhury, M. H. K., Alam, Q. K., Rother, J. A., and Gaunt, J. L. 2005. The efficiency of nitrogen fertilizer for rice in Bangladeshi farmers. Field Crops Research 93: 94-107.
11. Islam, M. J., Hossain, A. K. M. M., Khanam, F., Majumder, U. K., Rahman, M. M., and Saifur, M.R. 2001. Effect of mulching and fertilization on growth and yield of garlic at dinajpur in Bangladesh. Asian Journal of Plant Science 6 (1): 98-101.
12. Jackson, G. D., and Dubbs A. L. 1987. Spring wheat and barley response to urea fertilizer placement and nitrogen rate. Montana Agresearch Journal 4: 10-13.
13. Jacobsen, J. S., Tanaka, D. L., and Bauder J. W. 1993. Spring wheat response to fertilizer placement and nitrogen rate with limited moisture. Communications in Soil Science and Plant Analysis 24:187-195.
14. Jafarzadeh, L., Omidi, H., and Bostani, A., 2014. The study of drought stress and bio fertilizer of nitrogen on some

biochemical traits of Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis* L.). Journal of Plant Researches 27 (2): 180-193. (in Persian).
15. Javadipour, Z, Movahhedi Dehnavi, M. L., and Balouchi, H. R .2011. Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. The European Journal of Clinical Pharmacology 6 (2): 35-56. http://ejcp.gau.ac.ir (in Persian).
16. Lichtenthaler, H. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods of Enzymology 148: 350-383.
17. Magdi, A. A., Mohamed, M., and Mohamed, F. 2009. Enhanced yield and quality of onion (*Allium Cepa L. cv Giza6*) produced using organic fertilization. Assiut University Bulletin for Environmental Researches 12 (1): 9-19.
18. Mahmoodabadi, M., Rashidi, O. L., and Fekri, M. 2013. Application of alfalfa residue, poultry manure and potassium fertilizer on some soil properties and onion yield. Journal of Water and Soil 27 (2): 452-461.
19. Mansor Bahmani, S., Saffari, V. R., and Maghsoudi Moud, A. A. 2013. Effect of the Amount and Time of Partitioning of Nitrogen Fertilizer on the Yield and Nitrate Content of Onion in Out-Season Production in. Journal of Horticultural Science 27 (4): 400-410. (in Persian).
20. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2 nd Ed. Academic Press, London.
21. Mazaheri, D., and Majnoon Hosseini, N. 2008. The effect of different levels of nitrogen and plant density on yield and yield components of two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Hamadan, the Tenth Congress of crop sciences, Tehran, Tehran University Aboureihan (in Persian).
22. Mollafilabia, A., Khorramdel, S., and Shoorideh, H. 2013. Effect of different nitrogen fertilizers and various mulches rates on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.). Journal of Agroecology 4 (4): 316-326 (in Persian).
23. Mollavali, M., Bolandnazar, S., and Tabatabei S. J. 2009. Effect of ammonium nitrate and potassium sulphate on growth and yield characteristics of onion. Journal of Agricultural Science 27-238. (in Persian).
24. Noorbakhshian, S., Mousavi, A., and Bagheri, H. R. 2007. Evaluation of agronomic traits and path coefficient analysis of yield for garlic cultivars. Agronomy Journal 77: 10-18 (in Persian).
25. Omrani, B. 2015. The response of production and shelf-life of purslane plant to nitrogen and phosphorus supply from different fertilizer sources. M.Sc. thesis of agroecology. Faculty of agriculture. Shahrekord University. P: 141 (in Persian).
26. Pant, H. K., and Reddy, K. R. 2003. Potential internal loading of phosphorus in awetland constructed in agricultural land water research. Water Research 37: 965-972.
27. Pire, R., Ramirez, H., Riera, J., and Gómez de, T. N. 2001. Removal of N, P, K and Ca by an onion crop (*Allium cepa* L.) in a silty-clay soil, in a semiarid region of Venezuela. Acta Horticulturae 555: 103-109.
28. Prabhakar, J. H., Ram, M., Khan, M. A., Kiran, U., and Mahmooduzzafar Abdin, M. Z. 2011. Impact of organic manure and chemical fertilizers on artemisinin content and yield in A*rtemisia annua* L. Industrial Crops and Products 33: 296-301.
29. Roozbahani, A. M., and Iirzaei, M. 2006.The effects of plant density and nitrogen fertilizer amounts as top dressing on yield of potato damavand. Journal of New Findings in Agriculture 1 (1): 13-21. (in Persian).
30. Sabbagh, H., Khorrami Vafa, M., Jalali Honarmand, S., and Beheshti Al Agha, A., 2014. the effect of thiobacillus bacteria , sulfur and manure on the concentration of some minerals in the bulb garlic , herbs and Sustainable Agriculture National Conference, Hamedan, Community Hegmataneh Environmental Assessment (in Persian).
31. Sarmadnya, Gh., and Koochaki, A. 2011. Crop physiology. Publications University of Mashhad, 400.
32. Shafea, L., Saffari, M., Emam, Y., and Mohammadinejad, G. 2011. Effect of nitrogen and zinc Fertilizers on leaf zinc and chlorophyll contents, grain yield and chemic al composition of two maize (*Zea mays* L.) hybrids**.** Seed and Plant Production Journal 27 (2): 235-246. (in Persian).
33. Sharma, N. K., Khaddar, V. K., Misra, S. Y., Sharma, O. R., and Yadav, R. A. 2001. Agronomic efficiency of sulphur fertilizers and its effect on seed yield and chemical comosition of soybean in black clay soil under rained conditions. Research on Crops 2: 25-29.
34. Sharma, V. D., Sethi, M. S., Kumar, A., and Rarotra, J. R. 1977. Antibacterial property of *Allium sativum* L. in vivo and in vitro studies. Indian Journal of Experimental Biology 15: 466-468.
35. Soltaninezhad, F. 2013. Effect of solitary and integrated application of urea fertilizer and cattle manure on cadmium concentration and yield of purslane (*Portulaca oleraceae* L.) medicinal plant. M.Sc. thesis of Agroecology. Faculty of Agriculture. Shahrekord University. 107p. (in Persian).
36. Sparks, D. L. 2003. Environmental soil chemistry. Elsevier Science Press. 367 p.
37. Tejada, M., Gonzalez, J. L., Garcia-Martinez, A. M., and Parrado, J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology 99: 1758-1767.
38. Tsai, Y., Cole, L. L., Davis, L. E., Lock wood, S. J., Simmons, V., and Wild G. C. 1985. Antiviral properties of garlic: in vitro effects on influenza B herpessimplex and coxsackie viruses. Planta Medica 4: 460-461.
39. Xu, H. L., Wang, R., Xu, R.Y., Mridha, M. A.U., and Goyal, S. 2005. Yield and quality of leafy vegetables grown with organic fertilizations. Acta Horticulturae 627: 25-33.

40. Yoshida, S., Kasuga, S., Hayashi, N., Ushiroguchi, T., Matsuura, H., and Nakagawa S. 1987. Antifungal activityofajoene derived from garlic. Applied and Environmental Microbiology 53: 615-617.
41. Zaidi, A., Saghir Khan, M., and Amil, M. D. 2003.Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journal of Agronomy 19: 15- 21.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 185-203

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۰۳-۱۸۵

The Effect of Type and Application Method of Fertilizer Treatments on Growth and Yield of Medicinal Garlic

Z. Amin[1]- S. Fallah[2]*- A. Abbasi Surki[3]

Received: 04-11-2015
Accepted: 08-02-2016

Introduction

Garlic is the second and the most commonly used plant after onion from allium which is very important according to the food value because of its medical and mineral properties. On the other hand, macro nutrients such as nitrogen can cause better accumulation of dry matter with the development of leaf area and the efficient use of solar radiation and distribute it in the leaves and shoots. The usage of organic fertilizers such as cow manure is one of the most important nutritional strategies in the sustainable management in agricultural ecosystems.

Materials and Methods

The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications, at the research farm of agricultural college of Shahrekord University in 2015. Treatments consisted of $N_{100}P$, $N_{150}P$, and $N_{200}P$ (100,150, and 200 kg N/ha in the form of urea + phosphorus requirement, respectively); $N_{100}PS$, $N_{150}PS$, and $N_{200}PS$ (100, 150, and 200 kg N/ha in the form of urea + phosphorus requirement + sulfur requirement, respectively); BCM_{100}, $BCM_{100,}$ and BCM_{100} ((100, 150, and 200 kg N/ha in the form of cow manure as broadcast application); SCM_{100}, $SCM_{100,}$ and SCM_{100} ((100, 150, and 200 kg N/ha in the form of cow manure as subsurface application). In this experiment, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, dry weight of leaf, plant height (38 , 68 and 98 days after planting), number clove per plant, clove weight and garlic yield were measured. All analyses were performed based as randomized complete block design. The data was analyzed using one-way ANOVA and mean comparison was performed by LSD test. The F-test was considered significant at $p < 0.05$ between treatments for fertilizer treatment.

Results and Discussion

The results showed that the effects of fertilization treatments on chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, dry weight of leaf, plant height (38, 68 and 98 days after planting), number of clove plant and clove weight were significant. Treatment of 150 kg N/ha in the form of urea plus sulfur with an average of 3.66 mg/g was the highest amount of chlorophyll a but it did not have significant difference with BCM_{100} treatment. Additionally, the formation of chlorophyll b in garlic with the use of organic fertilizer (BCM_{100} treatment) is similar to those of which 50 kg per hectare more nitrogen was used in the form urea fertilizer. Total chlorophyll of whole plots receiving organic manures decreased by 10.5% compared with chemical fertilizers, also organic treatments BCM_{200} and SCM_{200} did not have significant difference for total chlorophyll. Based on these comparisons, the amount of total chlorophyll of sulfur treatments was by 5.81 higher than treatments with lack of sulfur. Carotenoids in cow manure treatment (SCM_{100} and SCM_{150}) with 100 kg N/ha in the form of urea did not have significant difference. But the amount of carotenoids of other organic and chemical treatments compared with these treatments significantly decreased. For plant height (38 days after planting) in BCM_{100} (10.86 cm) and BCM_{200} (11.83 cm) treatment did not show a significant difference with the SCM_{100} and SCM_{200} treatments. The plant height (68 days after planting) in $N_{100}PS$ with an average of 34.3 cm had a significant increase compared with other fertilizing treatments. Differences of receiving plots of organic fertilizers compared with chemical fertilizers for leaf dry weight has a decrease of 16.3%. Chemical treatments ($N_{200}P$ and $N_{200}PS$ with the average of 9965 and 9715 kg per hectare, respectively) had the highest yield, as well as subsurface application could increase the mean of yield by 5.63 percent in compared with the broadcast application.

1- M.Sc. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
2 and 3- Professor and Assistant Professor, respectively, Faculty of Agriculture, Shahrekord University
(*- Corresponding Author Email: falah1357@yahoo.com)

Conclusions

In general it can be concluded which the subsurface application of cow manures in compared to broadcast application had the highest amount of garlic production. Also, in the highest level of nitrogen fertilizer (200 kg nitrogen per hectare), the highest yield was obtained with treatments of chemical fertilizers. However at the level of 150 kg nitrogen per hectare, manure particularly subsurface application was superior to other nitrogen resources. Thus, in order to reduce the use of chemical fertilizers in agricultural ecosystems, subsurface application of manure is recommended to suitable produce garlic plant, but if the goal is to achieve the maximum yield of garlic bulb at least 200 kg N ha^{-1} in the form of chemical fertilizer is required.

Keywords: Cow manure, Photosynthetic pigment, Subsurface application, Sustainable management

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 204-215

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۱۵-۲۰۴

محلول‌پاشی کود پتاسیم به‌منظور کاهش اثرات شوری آب آبیاری در سیب‌زمینی

حمید ملاحسینی[۱]- امیرهوشنگ جلالی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول پاشی پتاسیم و دفعات آن، در کاهش اثرات شوری آب آبیاری (۶/۱ دسی زیمنس برمتر)، آزمایشی در سال ۱۳۹۲ در مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای محلول پاشی شامل تیمار شاهد، سولفات پتاسیم (K_2SO_4(۱۰ppm و اکسید پتاسیم (K_2O (۲/۵ ppm و دفعات محلول پاشی شامل سه مرحله‌ی کامل شدن رشد رویشی (شروع گل‌دهی)، مرحله رشد سریع غده‌ها (ظهور کامل گل‌ها) و مرحله حجیم شدن غده‌ها (دو هفته پس از مرحله ظهور کامل گل‌ها) بود. برهمکنش محلول پاشی پتاسیم و دفعات محلول پاشی، به جز بر صفات تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده، بر سایر صفات مرتبط با عملکرد و همچنین کارآیی مصرف آب تأثیر معنی‌دار داشت. تیمار سولفات پتاسیم با سه نوبت محلول پاشی و تیمارهای اکسید پتاسیم با دو و سه نوبت محلول پاشی، به‌ترتیب با عملکردهای قابل فروش ۴۵۴۵۰، ۴۲۷۰۰ و ۴۷۱۵۰ کیلوگرم غده در هکتار نسبت به سایر تیمارها برتری معنی‌دار داشتند. میانگین وزن غده در تیمارهای سه نوبت محلول پاشی سولفات پتاسیم، و دو و سه نوبت محلول‌پاشی اکسید پتاسیم، نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۹، ۱۷ و ۲۱ درصد افزایش وزن داشت. سه نوبت محلول پاشی سولفات پتاسیم و سه نوبت محلول پاشی اکسید پتاسیم با کارآیی مصرف آب ۴/۵ کیلوگرم بر متر مکعب نسبت به تیمار شاهد ۲۷ درصد افزایش داشت. نتایج این پژوهش نشان داد محلول‌پاشی پتاسیم می‌تواند به‌عنوان یک راهکار عملی برای کاهش اثرات شوری در گیاهی با نیاز پتاسیم بالا مانند سیب‌زمینی مطرح باشد.

واژهای کلیدی: اکسید پتاسیم، سولفات پتاسیم، عملکرد، کارآیی مصرف آب

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی یک ساله و آتوتتراپلوئید از خانواده سولاناسه (Solanaceae) است (Ahmadvand and Hassanabadi, 2006) که مصرف سرانه آن در کشور به بیش از ۳۵ کیلوگرم بالغ می‌گردد معمولاً تولید سیب زمینی بدون کاهش عملکرد در شوری‌های آب آبیاری ۲-۱ دسی‌زیمنس برمتر انجام می‌شود و در شوری‌های ۴-۲ دسی زیمنس بر متر، عملکردی معادل ۷۴ درصد شرایط ایده آل به دست می‌آید (Van Hoorn *et al.*, 1993). کاهش۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد عملکرد به ترتیب در هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ۲/۵، ۳/۸ و ۵/۹ دسی‌زیمنس بر متر برای این محصول گزارش شده است (Kotuby-Amacher *et al.*, 1997).

در ارتباط با توانایی گونه های گیاهی برای حفظ سطح پتاسیم و تحمل آن‌ها به شوری ارتباط مثبت گزارش گردیده و بر این اساس بی نظمی‌های تغذیه ای ناشی از افزایش شوری را می‌توان با افزایش کود پتاسیم جبران کرد (Weimberg *et al.*, 1982). در گونه‌های متحمل‌گیاهی‌در شرایط افزایش شوری جذب انتخابی پتاسیم افزایش می‌یابد (Pettigrew, 2008) که این مطلب بیانگر سازوکارهای ویژه گیاهان برای حفظ سطح پتاسیم بافت‌های گیاهی در شرایط افزایش شوری است. توانایی گیاهان برای حفظ نسبت پتاسیم به سدیم درون سلولی در یک حد مشخص، برای تحمل به شوری یک ضرورت محسوب شده (Zhu, 2003) و برخی اوقات از این نسبت به عنوان شاخص تحمل به شوری استفاده می‌گردد (Raman *et al.*, 1986). عملکرد سیب زمینی در واکنش به تنش شوری با توجه به نوع رقم استفاده شده و سطح تنش شوری، می‌تواند کاهشی از ۲۰ تا ۸۵ درصد داشته باشد (Ahmadvand and Hassanabadi, 2006). اثرات شوری می‌تواند هم در مرحله آغاز غده دهی و هم در مرحله رشد غده‌ها مطرح باشد، بنابراین تعداد غده و اندازه غده‌ها دو جزء مهم عملکرد هستند که در اثر شوری کاهش می‌یابند (Satyanarayana and Arora, 1985). تسریع فرایند پیری در اندام‌های هوایی و

۱ و ۲- به‌ترتیب مربی و استادیار پژوهش در بخش تحقیقات خاک و آب و بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jalali51@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.51406

زودرسی ناخواسته از دلایل کاهش اندازه غده‌ها محسوب می‌شود (Levy, 1992).

سیب‌زمینی به‌عنوان یک گیاه پتاسیم دوست از ۳۵ تا ۵۰ روز پس از سبز شدن، روزانه ۱۲ کیلوگرم پتاسیم در هکتار از خاک برداشت نموده که حتی در خاک‌های با رس و پتاسیم فراوان، تأمین این مقدار پتاسیم برای سیب‌زمینی دشوار است (Azari *et al.,* 2004). واکنش ارقام و ژنوتیپ‌های گیاهی به کمبود پتاسیم یکسان نیست. جذب پتاسیم در ارقام سیب زمینی با کارآیی بالای جذب پتاسیم تا دو برابر بیشتر از ارقام ناکارآمد است (Trehan and Sharma, 2002). تنش شوری نه تنها باعث کاهش جذب پتاسیم شده، بلکه انتقال پتاسیم از ریشه‌ها به اندام‌های هوایی را مختل می‌کند که نتیجه این فرآیند افزایش غلظت پتاسیم در ریشه‌ها و کاهش آن در اندام‌های هوایی است (Kant and Kafkafi, 2002). با توجه به کاهش انتقال پتاسیم به اندام‌های هوایی در شرایط تنش شوری، محلول پاشی اندام‌های هوایی نیز یکی از رویکرد های مناسب جهت تأمین نیاز گیاه و افزایش عملکرد سیب زمینی محسوب می‌شود. در پژوهشی تأثیر چهار سطح محلول پاشی کود پتاسیم شامل صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد پتاسیم (به شکل سولفات پتاسیم) بر عملکرد سیب‌زمینی (رقم Kara) بررسی شد. در این پژوهش افزایش غلظت پتاسیم تا یک درصد باعث افزایش ۲۵ درصدی عملکرد سیب زمینی گردید (El-Sawy *et al.,* 2000). نتایج مشابهی مبنی بر تأثیر مثبت کاربرد کود پتاسیم بر کاهش اثرات منفی شوری در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Benlloch *et al*., 1994)، ذرت (*Zea mays* L.) (Botella *et al*., 1997)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Jabeen and Ahmad, 2009)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Ramani and Apte 1997) و برخی ارقام چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) (Zaki *et al*., 2014) گزارش شده است.

در اکثر مناطق مرکزی کشور، کشت سیب زمینی با آب چاه‌هایی انجام می‌شود که شوری آن‌ها به تدریج به بالاتر از حد آستانه تحمل سیب زمینی رسیده است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر محلول پاشی کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب زمینی (رقم Ramos) در شرایط شوری آب آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر محلول پاشی کود پتاسیم و دفعات محلول پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان واقع در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیای ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۴۵ متر اجرا گردید. بر اساس آمار ۲۰ ساله هواشناسی این ایستگاه، متوسط بارندگی و دمای سالیانه این ایستگاه به ترتیب برابر ۱۱۰ میلی‌متر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. برخی ویژگی‌های آب و خاک محل آزمایش در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری استفاده شده در آزمایش

Table 1- Mean of chemical characteristics of the water used in the experiment

شوری Salinity (dS m^{-1})	SAR	میلی اکی والان در لیتر (meq l^{-1})					pH
		Na^+	HCO^{3-}	Cl^-	SO_4^{2-}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	
6.10	17.00	65.00	26.00	28.00	58.00	29.10	7.80

دو عامل بررسی شده در این پژوهش که در قالب آزمایش فاکتوریل و طرح پایه بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار شکل گرفتند عبارت بودند از: مصرف کود پتاسیم شامل تیمار شاهد (محلول پاشی آب)، محلول پاشی سولفات پتاسیم (K_2SO_4) ۱۰ قسمت در میلیون) و اکسید پتاسیم محلول در آب (K_2O) (۲/۵ قسمت در میلیون) ساخت شرکت (Uretici Firma اسپانیا)، دفعات محلول پاشی شامل محلول پاشی در یک، دو و سه نوبت بود. زمان‌های محلول‌پاشی عبارت بودند از مرحله رشد رویشی کامل (۴۶ روز پس از سبز شدن- آغاز گلدهی)، مرحله رشد سریع غده‌ها (۶۲ روز پس از سبز شدن - ظهور کامل گل‌ها) و مرحله حجیم شدن غده‌ها (۸۰ روز پس از سبز شدن- دو هفته پس از مرحله ظهور کامل گل‌ها در مزرعه). از رقم راموس (تهیه شده از مزارع تکثیر بذر مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان) استفاده شد. زمین قبل از آزمایش به صورت آیش بود.

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین قبل از کشت بود. هر کرت شامل چهار ردیف سیب‌زمینی با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول سه متر (مساحت نه متر مربع) بود. پس از آماده‌سازی زمین و فراهم شدن شرایط محیطی، در تاریخ پنجم اسفند غده‌های کامل (۶۰ و ۷۰ گرمی با قطر تقریبی ۶-۴ سانتی‌متر) سیب‌زمینی پس از ضدعفونی با قارچ‌کش بنومیل($C_{14}H_{18}N4O_3$) ۲/۵درصد (به‌صورت پودر وتابل۵۰ درصد)کشت شدند. کاشت به‌صورت دستی با فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف و در عمق ۱۵ سانتی‌متری انجام شد.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2– Soil characteristics in site of experiment

ویژگی‌های خاک Soil characteristics	مقدار (Amount)
بافت (Texture)	Loam
شن(٪) Sand	11
سیلت (٪) Silt	40
رس (٪) Clay	48
هدایت الکتریکی $EC(dS\ m^{-1})$	3.5
اسیدیته pH	7.9
مواد آلی (٪) Organic matter	0.30
فسفر $P\ (mg\ kg^{-1})$	12.6
پتاسیم $K\ (mg\ kg^{-1})$	428
نیتروژن (%) N	0.075

براساس آزمون خاک نیازی به افزودن کود پتاسیم نبود. دویست کیلوگرم فسفات به صورت سوپر فسفات تریپل $Ca(H_2Po_4)_2$ دارای۴۶ درصد P_2O_5، قبل از کشت به زمین اضافه شد. دویست کیلوگرم نیتروژن خالص به‌صورت کود اوره (NH_2CONH_2) با۴۶ درصد نیتروژن در سه مرحله‌ی دو برگی (پس از سبز شدن کامل مزرعه)، مرحله ۶-۵ برگی (هنگام خاک‌دهی پای بوته) و مرحله رشد سریع غده‌ها (کامل شدن رشد رویشی) به کرت‌ها اضافه گردید. آبیاری زمین پس از سبز شدن محصول بر اساس تخلیه ۵۰ درصد از رطوبت ظرفیت مزرعه در عمق نفوذ ریشه انجام گردید. آبیاری هنگامی که رطوبت ناحیه ریشه به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه رسید انجام شد. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه نوترون متر (Model 503DR HYDROPROBE, Australia) و برای اندازه‌گیری حجم آب از دبی‌سنج (File-Rite 285-820 Digital flow meter, USA) استفاده گردید. شاخص بهره‌وری آب آبیاری بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (Tanner and Sinclair, 1983):

$$\text{Irrigation Water Productivity} = Y/WC \qquad (۱)$$

در این فرمول Y عملکرد اقتصادی محصول و WC (Water consumption) مقدار آب مصرفی است. برای کنترل علف های هرز از علف‌کش ترفلان ($C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$) به میزان ۱/۲ لیتر در هکتار استفاده گردید. در طی فصل رشد، علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شد. غده های سیب‌زمینی ۱۵خرداد برداشت شد. ۱۰ روز قبل از تاریخ برداشت، عملیات سرزنی اندام های هوایی جهت ضخیم شدن پوست غده و جلوگیری از صدمات هنگام برداشت انجام گردید.

در زمان برداشت، دو متر از ردیف‌های وسط هر کرت جهت برآورد عملکرد استفاده گردید. غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های غیرقابل‌فروش در نظر گرفته شد. جهت اندازه گیری وزن خشک و برآورد شاخص برداشت، یک متر از مساحت هر کرت که دربرگیرنده غده‌ها (به‌صورت برش داده شده) و اندام‌های هوایی بود، برداشت و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. پس از قطعه قطعه کردن ۱۰ عدد غده سیب زمینی، درصد ماده خشک غده از تفاوت وزنی غده تازه و غده ها پس از قرار گرفتن در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ از جوان‌ترین برگ‌های هر بوته (ساعت ۸-۶ صبح) استفاده و از طریق دستگاه محفظه فشار (Arimad-2 Japan) در طی فاصله زمانی اولین تا آخرین محلول پاشی محاسبه و میانگین اعداد ملاک قرار گرفت. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2010) انجام و میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مربوط به صفات مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. تاثیر تیمارهای محلول پاشی پتاسیم، دفعات محلول‌پاشی و برهمکنش محلول پاشی و دفعات محلول‌پاشی، بر صفات تعداد غده در هر بوته و درصد ماده خشک غده معنی‌دار نبود (در سطح پنج درصد). برهمکنش استفاده از محلول‌پاشی پتاسیم و دفعات استفاده از آن تأثیر معنی‌دار بر عملکرد قابل فروش (در سطح پنج درصد) و عملکرد غیرقابل‌فروش (در سطح یک درصد) داشت.

جدول۳- تجزیه واریانس صفات مختلف در گیاه سیب زمینی

Table 3 - Analysis of variance for different characteristics in Potato plants

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (MS)						
		عملکرد قابل فروش Salable yield	عملکرد غیر قابل فروش Non-salable yield	وزن غده ها Tuber weight	تعداد غده در بوته Tuber number plant $^{-1}$	شاخص برداشت Harvest index	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter	کارایی مصرف آب Water use efficiency
تکرار Replication	3	504.19 ^{ns}	25.10 ^{ns}	112.56 ^{ns}	104.11 ^{ns}	31.27 *	13.10 ^{ns}	1.08 ^{ns}
محلول پاشی Foliar application (A)	2	733506 **	270010 *	214.10 *	102.01 ^{ns}	46.17 **	15.14 ^{ns}	1.13 *
دفعات محلول پاشی Times (B) of foliar application	2	311142 **	2030 *	187.11 *	113.23 ^{ns}	15.30 *	3.04 ^{ns}	1.11 *
محلول پاشی × دفعات محلول پاشی A×B	4	200345 *	224505 **	341.54 **	119.40 ^{ns}	17.71 *	6.05 ^{ns}	1.23 **
خطا Error	24	162013	68598	121.19	149.6	5.98	2.50	0.16
ضریب تغییرات CV%		17.31	15.58	18.5	19.50	14.40	13.11	19.09

ns: در سطح پنج درصد غیرمعنی دار ، *: در سطح پنج درصد معنی دار ، **: در سطح یک درصد معنی دار

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

مقایسه میانگین‌های مربوط به عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش در جدول ۴ نشان داده شده است. تیمارهای سولفات پتاسیم با سه نوبت محلول‌پاشی و تیمارهای اکسید پتاسیم با دو و سه نوبت محلول‌پاشی، عملکرد غده، به‌طور معنی‌دار عملکردی بیش از سایر تیمارها داشتند، اما بین این سه تیمار از نظر آماری (پنج درصد) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). بنابراین هر یک از سه

تیمار فوق به ترتیب ۲۹، ۲۲ و۳۴ درصد عملکرد بیشتری نسبت به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) تولید نمودند. دو نوبت محلول پاشی اکسید پتاسیم عملکرد قابل فروش مشابه با تیمارهای سه نوبت محلول‌پاشی تولید نمود و عملکرد غیر قابل فروش این تیمار نیز تفاوت معنی‌داری با تیمارهای سه نوبت محلول پاشی نداشت.

اصولا روند تغییرات عملکرد غیرقابل‌فروش در تیمارهای مختلف مشابه با عملکرد قابل فروش بود. با توجه به اینکه شوری آب آبیاری استفاده شده در این پژوهش معادل ۶/۱ دسی زیمنس برمتر بود، انتظار افت عملکردی معادل ۵۰ درصد دور از انتظار نبود (Kotuby-Amacher *et al.*, 1997)، اما با توجه به نتایج بدست آمده به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی پتاسیم توانسته است بخشی از این کاهش عملکرد را جبران نماید و برای جبران این افت عملکرد حداقل دو نوبت محلول پاشی لازم است.

نتایج مشابهی مبنی بر افزایش ۲۵ درصدی عملکرد غده با محلول پاشی سولفات پتاسیم با غلظت یک درصد گزارش شده است (El-Sawy *et al.*, 2000). تنش شوری عمدتاً از طریق کاهش فتوسنتز و ایجاد یون‌های سمی اثرات مضر خود بر گیاه را تحمیل می‌کند (Trehan and Sharma, 2002). استفاده از پتاسیم کافی در چنین شرایطی نه تنها برای حفظ پتانسیل اسمزی، تداوم حرکت مواد پرورده در آوندهای آبکش (Patrick *et al.*, 2001) و بارگیری (Loading) این آوندها (Marschner, 2012) لازم است بلکه نقش مهمی در سمیت‌زدایی یون‌های سدیم دارد (Mullins and Burmester, 1995). به‌علاوه یون‌های سمی مثل سدیم در شرایط تنش شوری باعث آسیب به غشاءهای سلولی شده و دسترسی سلول به عناصر غذایی مختلف را مختل می‌نماید، افزایش پتاسیم در این حالت و سمیت‌زدایی یون‌های سمی می‌تواند نقش مثبتی در جذب سایر عناصر غذایی داشته باشد (Akram *et al.*, 2009). نوع کود پتاسیم مصرفی نیز می‌تواند در تعدیل اثرات شوری نقش داشته باشد. به‌عنوان مثال در پژوهشی محلول‌پاشی پنبه به‌منظور کاهش اثرات شوری با چهار نوع کود پتاسیم شامل سولفات پتاسیم، سولفیت پتاسیم، کلرید پتاسیم و نیترات پتاسیم انجام و بهترین تیمار در این زمینه، نیترات پتاسیم پنج درصد تشخیص داده شد (Mullins and Burmester, 1995). باید به این نکته نیز توجه داشت که بخشی از تاثیر مثبت تیمارهای محلول پاشی پتاسیم در گیاهی مثل سیب زمینی، به نیاز بالای این گیاه به پتاسیم وابسته است (Azari *et al.*, 2004) به‌گونه‌ای که برخی از پژوهش‌ها نشان داده نیاز این گیاه به پتاسیم، ۱/۵ برابر نیتروژن و ۵-۴ برابر فسفر است (Perrenoud, 1993).

جدول ٤- تأثیر برهمکنش تیمارهای محلول پاشی پتاسیم و دفعات آن بر عملکرد قابل فروش، عملکرد غیرقابل فروش و میانگین وزن غده‌ها

Table 4- Interactions effects of potassium foliar application and its times on yield of sales yield, non- sales yield and average tuber weight

کود پتاسیم K fertilizer	دفعات محلول پاشی Times of spraying	عملکرد قابل فروش Salable yield (kg ha^{-1})	عملکرد غیر قابل فروش Non-salable yield (kg ha^{-1})	میانگین وزن غده‌ها Average tuber weight (g)
شاهد (Control)	1s	35124c	2410b	140.50c
سولفات پتاسیم Potassium sulfate (10 ppm)	1s	35705c	2615b	148.60b
	2s	40108b	3789a	154.20b
	3s	45450a	3951a	167.25a
LSD (5%)		5901	150.2	18.6
اکسید پتاسیم potassium oxide (2.5 ppm)	1s	37543b	2719b	150.00b
	2s	42700ab	3470ab	165.31a
	3s	47150a	4141a	169.21a
LSD (5%)		4360	652.6	3.5

اعداد با حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری تفاوتی ندارند (LSD 5%). 1s، 2s و 3s به ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی

Means of each column with similar letters are not significantly different (LSD 5%).1S, 2S and 3S including once, two and three times foliar application.

برخلاف صفت تعداد غده (جزئی از عملکرد که قبل از محلول پاشی در مرحله آغاز گلدهی و حدود یک ماه قبل از شروع رشد سریع غده‌ها شکل گرفته)، وزن غده‌ها مهم‌ترین جزء عملکرد بود که به‌طورمعنی‌دار (پنج درصد) تحت تأثیر برهمکنش محلول پاشی و دفعات آن قرار گرفت (جدول ۳). میانگین وزن غده‌ها در تیمارهای سولفات پتاسیم و سه نوبت محلول‌پاشی و اکسید پتاسیم با دو و سه نوبت محلول پاشی به‌ترتیب برابر با ۱۶۷، ۱۶۵ و ۱۶۹ گرم بود که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۱۹، ۱۷ و ۲۱ درصد افزایش وزن نشان دادند (جدول ۴). در رابطه با اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد، صفت تعداد غده در هر بوته از جمله صفاتی است که قبل از استفاده از تیمارهای آزمایش شکل گرفته و تأثیر نپذیرفتن آن از تیمارهای آزمایش طبیعی به‌نظر می‌رسد. در مورد درصد ماده خشک غده نیز برخی از گزارش‌ها

حاکی از عدم تأثیر کاربرد کود پتاسیم در این صفت بوده (Reisi and Khajehpour, 1992) و برخی نیز به همبستگی منفی این صفت با افزایش بیش از حد طبیعی پتاسیم اشاره دارند (Allison *et al.*, 2001). بنابراین تغییرات عملکرد ناشی از بکارگیری تیمارهای مختلف محلول‌پاشی، عمدتاً از طریق بررسی وزن غده‌ها امکان‌پذیر است. تسریع فرایند پیری در اندام های هوایی و زودرسی ناخواسته از دلایل کاهش اندازه غده‌ها محسوب می‌شود (Levy, 1992). تنش شوری با کاهش پتاسیم در اندام‌های هوایی همراه است (Kant and Kafkafi, 2002) و با توجه به نقش مثبت این عنصر در بارگیری و انتقال مواد فتوسنتزی در آوندهای آبکش (Patrick *et al.*, 2001) کمبود این عنصر در اندام‌های هوایی بر خلاف کمبود نیتروژن و فسفر منجر به تجمع قندهایی مثل ساکارز در سلول‌های برگ می‌گردد (Hermans *et al.*, 2006). بنابراین تجمع قندها در برگ‌ها و اندام‌های هوایی و عدم انتقال آن‌ها به اندام‌های زیرزمینی را می‌توان از دلایل کاهش وزن غده‌ها در شرایط تنش شوری و کمبود پتاسیم محسوب کرد و تعدیل این تاثیرات منفی می‌تواند موجب افزایش وزن غده‌ها شود. در برخی از پژوهش‌ها نیز نقش مثبت پتاسیم در افزایش وزن غده‌ها به نقش این عنصر در افزایش جذب آب در غده‌ها نسبت داده شده است (Perrenoud, 1993).

شاخص برداشت در تیمارهای مختلف دامنه‌ای از ۶۹/۱ تا ۷۵/۴ درصد داشت (شکل ۱). تیمار شاهد و حتی تیمارهای یک بار محلول پاشی پتاسیم (سولفات یا اکسید پتاسیم) به‌طور معنی‌دار (پنج درصد) کمترین مقادیر شاخص برداشت را نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی داشتند (شکل ۱).

شکل ۱- تأثیر برهمکنش تیمارهای مختلف محلول پاشی پتاسیم و دفعات آن بر شاخص برداشت.SP1، SP2 و SP3 به‌ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (۱۰ قسمت در میلیون) و OP1، OP2 و OP3 به ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی اکسید پتاسیم (۲/۵ قسمت در میلیون). (LSD =۱/۰۵).

Figure 1– The effect of the interaction of different treatments and times of potassium foliar application on harvest index. SP1, SP2 and SP3 including potassium sulfate (10 ppm) once, two and three times foliar application, respectively, and OP1, OP2 and OP3 including potassium oxide (2.5 ppm) once, two and three foliar application, respectively. (LSD=1.05).

این امر بیانگر تأثیر سوء آبیاری با آب شور بر اختصاص مواد فتوسنتزی به غده ها است. در حالی که دو و سه نوبت محلول‌پاشی پتاسیم (به‌ویژه در مورد اکسید پتاسیم) با افزایش معنی‌دار (پنج درصد) شاخص برداشت همراه بود. این افزایش در تیمارهای محلول پاشی سولفات پتاسیم (سه نوبت) و محلول‌پاشی دو و سه نوبت اکسید پتاسیم نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب برابر بود با ۴/۷، ۷ و ۸/۸ درصد. شاخص برداشت در سیب‌زمینی از ۹ درصد در ارقام وحشی تا ۸۱ درصد در ارقام جدید تغییر می‌کند ولی برای ارقام جدید سیب‌زمینی معمولاً عدد ۷۵ درصد برای شاخص برداشت سیب‌زمینی در مقابل ۵۰ درصد برای غلات ذکر می‌گردد (Vreugdenhil *et al.*, 2007) همان‌گونه که در رابطه با وزن غده‌ها اشاره شد، افزایش شوری با کاهش پتاسیم برگ‌ها و در نتیجه تجمع قندها در برگ‌ها از اختصاص آن به اندام‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند (Hermans *et al.*, 2006; Kant and Kafkafi, 2002). بنابراین نسبت عملکرد اقتصادی (همان وزن غده‌ها) به کل وزن خشک تولیدی در این شرایط کاهش می یابد.

یکی از اثرات مثبت محلول‌پاشی پتاسیم در شرایط تنش شوری، افزایش کارآیی مصرف آب در این شرایط بود (شکل ۲). این اثر مثبت

به‌ویژه برای محلول‌پاشی بیش از یک دو بار قابل توجه بود. تیمارهای سه نوبت محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و سه نوبت محلول‌پاشی اکسید پتاسیم با کارآیی مصرف آب ۴/۵ کیلوگرم بر متر مکعب نسبت به تیمار شاهد ۲۷ درصد کارآیی مصرف آب بیشتر داشتند. این در حالی بود که تیمارهای دوبار محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و یا اکسید پتاسیم تفاوت معنی‌داری (پنج درصد) با تیمار شاهد و یا یک بار محلول‌پاشی پتاسیم نداشتند. کارآیی مصرف آب برای سیب‌زمینی کشت شده در پاییز، زمستان و بهار به‌ترتیب ۹–۸، ۸–۶ و ۱۴–۱۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده، اما مقدار آن برای ایران با توجه به شرایط کشت از ۱/۹۲ تا ۵/۲۵ کیلوگرم برمترمکعب متفاوت بوده است (Nasseri and Bahramloo, 2009). اثرات شوری بر محتوای آب گیاه و کارآیی مصرف آب از اثرات پیچیده شوری محسوب می‌شود. تنش شوری با محدود کردن تبادل هوا بین روزنه‌ها و اتمسفر خارج آن تا به‌طور جزئی کارآیی مصرف آب را بهبود می‌بخشد اما در عین حال ورود دی اکسیدکربن به داخل گیاه و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Shannon, 1997) بنابراین این که این توازن به کدام طرف تغییر می‌کند به مقاومت گیاه و سطح شوری بستگی دارد (Ahmad *et al*., 2014). پتاسیم نقش موثری در باز و بسته شدن روزنه‌ها داشته و محلول‌پاشی آن می‌تواند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد (Kaya *et al*., 2001). گزارش‌های زیادی نیز مبنی بر افزایش رطوبت نسبی و آماس سلول‌های برگ با افزایش پتاسیم برگ در محصولاتی مثل گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت، لوبیا و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) وجود دارد (Ahmad *et al*., 2014; Akram *et al*., 2009).

شکل ۲- تأثیر برهمکنش تیمارهای مختلف محلول پاشی پتاسیم و دفعات آن بر کارآیی مصرف آب. SP1 ، SP2 و SP3 به‌ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول پاشی سولفات پتاسیم (۱۰ قسمت در میلیون) و OP1، OP2 و OP3 به ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی اکسید پتاسیم (۲/۵ قسمت در میلیون). (LSD =۱/۱).

Figure 2– The effect of the interaction of different treatments and times of potassium foliar application on water use efficiency. SP1, SP2 and SP3 including potassium sulfate (10 ppm) once, two and three times foliar application, respectively, and OP1, OP2 and OP3 including potassium oxide (2.5 ppm) once, two and three foliar application, respectively. (LSD=1.1).

پایش وضعیت پتانسیل آب برگ در فاصله زمانی اولین محلول پاشی (شروع گل‌دهی) تا آخرین محلول پاشی (۲ هفته پس از گل‌دهی کامل) نشان‌دهنده تأثیر مثبت سه نوبت محلول‌پاشی پتاسیم بر وضعیت آب برگ بود (شکل ۳). متوسط پتانسیل آب برگ در این دوره زمانی در تیمار شاهد نسبت به دو تیمار سه نوبت محلول‌پاشی سولفات و اکسید پتاسیم به ترتیب ۲۶ و ۲۰ درصد منفی‌تر بود و به‌نظر می‌رسد برگ‌ها در تیمارهای محلول‌پاشی به‌طور معنی‌دار (پنج درصد) از نظر رطوبتی وضعیت بهتری داشتند. بهبود کارآیی مصرف آب بابد بازتابی در شرایط رطوبتی گیاه نیز داشته باشد. بهبود وضعیت رطوبتی برگ‌ها در تیمارهای سه بار محلول پاشی پتاسیم را می‌توان به نقش مثبت پتاسیم در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌های نسبت داد (Kaya *et al*., 2001). به هر صورت افت ۰/۳ مگاپاسکالی آب برگ سیب‌زمینی در مواجه با تنش شوری شش دسی زیمنس برمتر در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است (Heuer and Nadler, 1998). به‌طور مشابه محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در گیاه آفتابگردان باعث بهبود پتانسیل آب برگ شده و افزایش عملکرد این گیاه در شرایط تنش شوری را به همراه داشته است (Akram *et al*., 2009). تاثیر بهبود وضعیت آب برگ‌ها را می‌توان در دوام شاخص سطح برگ نیز

مشاهده کرد (شکل ۴). سه تیماری که بـالاترین مقـادیر عملکـرد را تولید نمودند (سه بار محلول‌پاشی)، حداکثر شاخص سطح برگ خود را که در هفته ۱۴ پس از کشت ایجاد شده بود را به مدت بیشتری حفظ نمودند. افت شاخص سطح برگ در سایر تیمارها در اواخر دوره رشد با سرعت بیشتری صورت گرفت.

شکل ۳- تأثیر برهمکنش تیمارهای مختلف محلول‌پاشی پتاسیم و دفعات آن بر پتانسیل آب برگ. SP1، SP2 و SP3 به‌ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و OP1، OP2 و OP3 به ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول پاشی اکسید پتاسیم. (LSD =۰/۲۵).

Figure 3– The effect of the interaction of different treatments and times of potassium foliar application on leaf water potential. SP1, SP2 and SP3 including potassium sulfate (10 ppm) once, two and three times foliar application, respectively, and OP1, OP2 and OP3 including potassium oxide (2.5 ppm) once, two and three foliar application, respectively. (LSD=0.25).

شکل ٤- تأثیر برهمکنش تیمارهای مختلف محلول‌پاشی پتاسیم و دفعات آن بر شاخص سطح برگ.SP1 ، SP2 و SP3 به‌ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی سولفات پتاسیم و OP1، OP2 و OP3 به‌ترتیب یک، دو و سه نوبت محلول‌پاشی اکسید پتاسیم

Figure 4– The effect of the interaction of different treatments and times of potassium foliar application on leaf area index. SP1, SP2 and SP3 including potassium sulfate (10 ppm) once, two and three times foliar application, respectively, and OP1, OP2 and OP3 including potassium oxide (2.5 ppm) once, two and three foliar application, respectively.

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه می‌توان گفت مواجه شدن با مسئله شوری آب و خاک در کشور ما امری غیرقابل اجتناب است. نحوه مدیریت شوری بستگی تام به نوع محصول و شناخت فیزیولوژی عملکرد آن دارد. در پژوهش حاضر گیاه سیب‌زمینی به عنوان گیاهی پتاسیم دوست و در عین حال حساس به شرایط شوری مورد توجه قرار گرفت و نتایج نشان داد محلول‌پاشی پتاسیم به ویژه در دو یا سه نوبت (با توجه به نوع کود محلول‌پاشی شده) می‌تواند در تعدیل اثرات مضر شوری مفید بوده و منجر به افزایش عملکرد غده شود. در رابطه با محلول‌پاشی پتاسیم ذکر چند نکته ضروری است. نخست این که با توجه به حساسیت سیب‌زمینی به بیماری‌های قارچی و محلول‌پاشی قارچ‌کش‌های مختلف، می‌توان محلول پاشی توام این قارچ‌کش‌ها و کودهای پتاسیم‌دار را برای شرایط تنش شوری آزمون کرد تا امکان استفاده عملی‌تر از پژوهش ممکن گردد دوم آن که شوری در نظر گرفته شده برای این پژوهش ۶/۱ دسی زیمنس برمتر بود که شوری قابل توجهی برای محصول سیب‌زمینی محسوب می‌شود. شاید برای سطوح شوری پایین‌تر (۵-۴ دسی زیمنس برمتر) دفعات کمتر محلول پاشی قابل توصیه باشد که نیاز به پژوهش بیشتر دارد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان برای حمایت‌های لازم جهت اجرای این تحقیق تشکر و قدر دانی می‌نمایند.

References

1. Ahmad, M., Akhtar, J., Anvar-Ul-Haq, M., Mran, S., and Jacobsen, S. E. 2014. Soil and foliar application of potassium enhances fruit yield and quality of tomato under salinity. Turkish Journal of Biology 38: 208-218.
2. Ahmadvand, R., and Hassanabadi H. 2006. Evaluation of promising potato clones in terms of resistance levels the major virus diseases. Research Reports Seed and Plant Improvement Institute. 68 Pp. (in Persian).
3. Akram, M. S., Ashraf, M., and Akram N. A. 2009. Effectiveness of potassium sulfate in mitigation salt-induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sunflower. Flora 204: 471-483.
4. Allison, M. F., Fowler, J. H., and Allen E. J. 2001. Responses of potato to potassium fertilizers. Journal of Agriculture Science Cambridge 4: 407-426.
5. Azari, M., Baybordi, A., and Malakooti, M. J. 2004. The necessity of potassium fertilization on potato. Technical Bulletin 434, Sana Publications, Tehran, Iran. 18 Pp. (in Persian).
6. Benlloch, M., Ojeda M. A., Ramos J., and Rodriguez-Navarro, A. 1994. Salt sensitivity and low discrimination between potassium and sodium in bean plants. Plant and Soil. 166: 117-123.
7. Botella, M. A., Martinez V., Pardines J., and Cerda, A. 1997. Salinity induced potassium deficiency in maize plants. Journal of Plant Physiology, 150: 200-205.
8. El-Sawy, B. I., Radawan E. A., and Hassan N. A. 2000. Growth and yield of potato as affected by soil and foliar potassium application. The Journal of Agricultural Science, Mansoura University 25: 5843-5850.
9. Hermans, C., Hammond, J. P., White P. J., and Verbruggen N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? Trends in Plant Science 11: 610-617.
10. Heuer, B., and Nadler, A. 1998. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. Plant Science 137: 43-51.
11. Jabeen, R., and Ahmad, R. 2009. Alleviation of adverse effects of salt stress by foliar application of sodium antagonistic essential minerals on cotton. Pakistan Journal of Botany 41: 2199-2208.
12. Kant, S., and Kafkafi, U. 2002. Potassium and abiotic stresses in plants. The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, Rehovot, Israel. http://www. ipipotash.org.
13. Kaya, C., Kirnak, H. and Higgs, D. 2001. Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. Journal of Plant Nutrition 24: 357-367.
14. Kotuby-Amacher, J., Koenig, R., and Kitchen, B. 1997. Salinity and plant tolerance. Utah Univ. Exten. Logan Utah, 8pp.
15. Levy, D. 1992. The response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to salinity: plant growth and tuber yields in the arid desert of Israel. Annals of Applied Biology 120: 547-555.
16. Marschner, P. 2012. Marschners mineral nutrition of higher plants. London Elsevier. 231 Pp.
17. Mullins, G. L., and Burmester, C. H. 1995. Response of cotton to the source of foliar potassium. In: Richer, D.A. (ed), Proc. Beltwide Cotton Conf., San Antonio, TX. National Cotton Council of America, Memphis, pp. 1313-1315.

18. Nasseri, A., and Bahramloo, R. 2009. Potato cultivar Marfona yield and water use efficiency responses to early season water stress. International Journal of Agriculture and Biology 11: 201-204.
19. Patrick, J. W., Zhang, W. H., Tyerman, S. D., Offler, C. E., and Walker, N. A. 2001. Role of membrane transport in phloem translocation of assimilates and water. Australian Journal of Plant Physiology 28: 695-707.
20. Perrenoud, S. 1993. Fertilizing for High Yield Potato. IPI Bulletin8. 2nd Edition. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
21. Pettigrew, W. T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiol. Plantarum 133: 670-681.
22. Raman, S. N., Desai, D., Solanaki, J. B. and Bhatt, S. M. 1986. The Na/K ratio as index of salt stress in rice culture. International Rice Research Newsletter 11: 1-30.
23. Ramani, S., and Apte, S. K. 1997. Transient expression of multiple genes in salinity-stressed young seedlings of rice (*Oryza sativa* L.). Biochemical and Biophysical Research Communications 233: 663-667.
24. Reisi, F., and Khajehpour, M. R. 1992. The effects of N, P, and K fertilizers on the growth and yield of Kozima potato. Iranian Journal of Agriculture Science 23: 35-45. (in Persian).
25. SAS Institute. 2010. SAS user's guide. SAS Inst., Cary, NC.
26. Satyanarayana, V., and Arora, P. N. 1985. Effect of nitrogen and potassium on yield and yield attributes of potato (Var. Kufri Bahar). Indian Journal of Agronomy 30: 292-295
27. Shannon, M. 1997. Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy 60: 75-120.
28. Tanner, C. B., and Sinclair, T. R. 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-research? P.1-27.In H.M. Taylor et al. (ed.) Limitations to efficient water use in crop production. American Statistical Association, Madison, WI.
29. Trehan, S. P., and Sharma, R. C. 2002. Potassium uptake efficiency of young plants of three potato cultivars as related to root and shoot parameters. Communications in Soil Science and Plant Analysis 33: 13-18.
30. Van Hoorn, J. W., Katerji, N., Hamdy, A., and Mastrorilli, M. 1993. Effect of saline water on soil salinity and on water, stress, growth and yield of wheat and potatoes. Agriculture and Water Management 23: 247-265.
31. Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Mackerron, K. L. L., Taylor, M. A., and Ross, H. A. 2007. Potato biology and biotechnology. Advances and perspectives. First edition Elsevier Ltd. 823Pp.
32. Weimberg, R., Lerner, H. R. and Poljakoff-Mayber, A. 1982. A relationship between potassium and proline accumulation in salt-stressed Sorghum bicolor. Physiologia Plantarum 55: 5-10.
33. Zaki, N. M., Hassanein, M. S., Amal, G., Ebtesam, A., El-Housini, M., and Tawfik, M. 2014. Foliar application of potassium to mitigate the adverse impact of salinity on some sugar beet varieties. 2: Effect on Yield and Quality. Middle East Journal of Agriculture Research 3 (3): 448-460.
34. Zhu, J. K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology 6: 441-445.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 204-215

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۱۵-۲۰۴

Foliar Application of Potassium Fertilizer to Reduce the Effects of Salinity in Potato

H. Molahoseini[1]- A. H. Jalali[2*]

Received: 13-11-2012
Accepted: 06-04-2016

Introduction

The potato of commerce (*Solanum tuberosum* L.) is an annual dicot species. It is an autotetraploid with 4x=48 chromosomes. In Iran the consumption per capita of potato is over the 35 kg. Potato production is usually done without reducing yield in the irrigation water salinity 1-2 dS m^{-1}, but 4.2 dS m^{-1} salinity reduces yield by 26 percent. 10, 25 and 50 percent yield reduction have been reported in soil electrical conductivity 2.5, 3.8 and 5.9 dS m^{-1}, respectively . Between the ability of plant species to maintain potassium levels and their tolerance to salinity is positive correlation and on this basis nutritional irregularity due to increased salinity can be compensated by increasing of potassium fertilizer. In tolerant plant species, during times of increased salinity, selective absorption of potassium increased. The ability of plants to maintain a certain level of K/Na within the cell is essential for salt tolerance and sometimes of these ratios is used as indicators of salinity tolerance. Potato yield in response to salt stress, according to a variety of uses, can be reduced from 20 to 85 percent. Harmful effects of salinity in the beginning stages of tubers and tuber growth stage are important, therefore, tuber number and tuber size are two important components of yield which may reduce in the effect of salinity. Accelerate the aging process of the shoot, unwanted earliness, are of the reasons for the reduction in tuber size.

Materials and Methods

A field experiment was conducted in the agricultural and natural resources research center (31° 32´ N, 51° 51´ E), Isfahan, Islamic Republic of Iran. According to twenty years statistics, rainfall and temperature means for experiment location were 110 mm and 25 °C, respectively. The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized block design with four replications. The treatments were three levels of foliar K application (control, K sulphate 10 ppm, and 2.5 ppm of potassium oxide), and the number of times foliar spray were included in one (start flowering), two (full emergence of flowers), and three (two weeks after full flowering stage) times. Potato (CV. Ramus) was planted in plots 1.5 × 6 m in February 24 and harvested in 24 May in the both years. Row and plant spacing's were 75 and 20 cm, respectively. Irrigation (furrow) was applied when the soil moisture in the root zone declined to 60-65 percent of field capacity. To determine the irrigation time tensiometers placed at 15- and 30-cm depths responded to changes in soil water. To measure the tuber yield (after eliminating the edges), the whole tuber yield was measured on each plot. Tubers with size less than 35 mm were considered as non-salable tuber yield. An irrigation water productivity index based on the formula Tanner and Sinclair (1983) was calculated. Irrigation Water Productivity = Y/WC. In this formula, Y is the product of economic performance and WC is the consumed water. During the interval between the first and last spray, pressure chamber apparatus(Arimad-2 Japan) for measuring the youngest leaves water potential was used (hours 8-6 am). During the growing season, weeds were hand-weeding. The data were subjected to analysis of variance by SAS and means Fisher's Protected LSD (5%) was used for mean separation.

Result and Discussions

The results of this study showed that salable yield with three times K sulfate spraying (Ps×3S), and potassium oxide treatments sprayed with two and three times (Po×2S and Po×3S) were significantly more than to other treatments, but did not find statistically significant differences among these three treatments. Tuber weight was the most important component that significantly affected by the interaction of potassium sprayed and its frequency. Three times foliar sprays of potassium sulfate (Ps×3S) and two and three times potassium oxide foliar application (Po×2S and Po×3S), showed 19, 17 and 21% increase in compared to the control treatment, respectively. Control, and even once treated by foliar potassium (Sulphate or potassium oxide) had lower harvest

1, 2- Research trainer, and Assistant Professor, Soil and Water Research, and Horticulture Crops Research Departments respectively, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: Jalali51@yahoo.com)

index values than the other treatments. The negative effect of irrigation with saline water on assimilate partitioning to the tuber is cause of the reduction of harvest index. Water use efficiency with foliar application of three times potassium sulfate or potassium oxide was 27% higher than the control treatment (4.5 kg m^{-3}). The use of sufficient potassium in such a situation is not only necessary to maintain osmotic potency, the continuation of assimilates in phloem, and loading these vessels but also plays an important role in detoxification of sodium ions. In salinity stress, accelerated aging and earliness shoot unintentionally, are the reasons for the reduction in tuber size.

Conclusions

The results showed that foliar application of potassium, especially in two or three times (depending on the type of fertilizer application) can result in harmful effects of salinity and leads to an increase in tuber yield. In relation to foliar K application, some cases are necessary: First, due to the sensitivity of potato to fungal diseases, foliar application of fungicides and K fertilizers can be simultaneously tested in salt stress conditions. Second, the salinity considered for this study was 6.1 dS m^{-1}. This amount of salinity to the potatoes is too much so it may be recommendable to spray less frequently at lower salinity levels.

Keywords: Harvest index, Salinity, Water use efficiency, Yield

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 216-230

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۳۰-۲۱۶

اثر تاریخ کاشت بر فنولوژی و شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد بادام‌زمینی تحت تاثیر کودهای زیستی و شیمیایی

علی سپهری[1*] - حسن شهبازی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲

چکیده

اثر تاریخ کاشت و مصرف کودهای زیستی و شیمیایی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرددانه بادام‌زمینی طی آزمایشی به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی۹۲-۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا همدان بررسی شد. سه تاریخ کاشت اول خرداد ،۱۰ خرداد و۲۰ خرداد بعنوان کرت اصلی و مصرف کود زیستی و شیمیایی در چهار سطح شامل مصرف کود شیمیایی فسفاته کامل و۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه+ کود زیستی نیتروژنه، کود شیمیایی نیتروژنه کامل و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفاته+ کود زیستی فسفره، ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفاته+ کاربرد توام کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره و استفاده کامل ۱۰۰ در صد از کودهای شیمیایی بعنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اثرات تاریخ کاشت، کود و اثرات متقابل تاریخ کاشت و کود برای حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر سرعت رشد محصول، حداکثر ماده خشک کل، دوام سطح برگ، عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. برای میزان سبزینگی برگ، روز تا گلدهی، روز تا غلاف‌دهی، روز تا رسیدگی اثرات متقابل تاریخ کاشت و کود معنی‌دار نبود. در تاریخ کاشت دوم برای حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر سرعت رشد محصول، حداکثر ماده خشک کل، دوام سطح برگ روند تیمارهای مصرف انفرادی کود زیستی نیتروژنه و کود زیستی فسفره مشابه تاریخ کاشت اول بود، ولی از لحاظ مقدار کاهش داشت. در تاریخ کاشت سوم شاخص‌های حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر سرعت رشد محصول، حداکثر ماده خشک کل نسبت به تاریخ کاشت اول به ترتیب ۶۴، ۷۶ و ۷۱ درصد کاهش نشان دادند. حداکثر مقادیر شاخص های مذکور در تاریخ کاشت اول و با تیمار مصرف ۱۰۰٪ کود شیمیایی و کاربرد توام کود شیمیایی و زیستی نیتروژنه+ فسفره حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص های رشد، عملکرد، کاربرد تلفیقی کود، کود زیستی

مقدمه

بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) یکی از بقولات یکساله می‌باشد که در نواحی حاره‌ای تا معتدل جهت استحصال روغن دانه و مصرف آجیلی کشت می‌گردد. دانه بادام‌زمینی از نظر کیفیت روغن و پروتئین بسیار خوب بوده و می‌تواند نقش مهمی در بهبود تغذیه مردم کشورهای فقیر داشته باشد (Khajeh pour , 2007). با توجه به محدودیت سطح زیر کشت بادام‌زمینی در کشور، بهترین راه افزایش عملکرد این گیاه استفاده از روش‌های به‌زراعی می‌باشد. انتخاب تاریخ کاشت مناسب یکی از فنون زراعی است که با رعایت آن، سهم زمان کاشت در تولید عملکرد به حداکثر رسیده و از آنجایی که طول مراحل مختلف نموی تابعی از دو عامل اصلی دما و طول روز است، می‌توان تاریخ کاشت را به نحوی تغییر داد که مراحل مختلف نمو گیاه با وضعیت دما و طول روز موجود طی فصل رشد، انطباق یافته و از رشد رویشی و زایشی مطلوبی برخوردار گردد (Khajeh pour , 2000 and seiedi). با تاخیر در کاشت سویا (*Glycine max*) تعداد گره بارور و تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش عملکرد دانه است (Harville and Board,1999). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت موجب کاهش تولید ماده خشک، شاخص سطح برگ، میزان رشد محصول و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)می‌شود (Lak *et al.,* 2009). شناخت و تجزیه تحلیل رشد و اطلاع از میزان مشارکت اجزاء آن در چگونگی رشد گیاهان زراعی لازمه‌ی دستیابی به عملکرد مطلوب است

۱-دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۲-دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: sepehri110@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.51529

(Gulerer, 2001). با تاخیر در کاشت به دلایل زیادی از جمله دمای بالا در اوایل رشد، کاهش زمان گلدهی، کاهش تابش‌های خورشیدی، عملکرد دانه آفتابگردان کاهش می‌یابد(Daneshian *et al.,* 2008). کاشت دیر هنگام سبب کوتاهی رشد رویشی در مرحله شروع گلدهی می‌شود (Hashemie jazi *et al.,* 2001). تأخیر در زمان کاشت، در طول دوره رشد رویشی و زایشی گیاه سویا اثر داشته و باعث کاهش تولید ماده خشک (TDW)، شاخص سطح برگ (LAI)، میزان رشد محصول (CGR) و عملکرد دانه می‌شود. تاخیر در کاشت منجر به کاهش ماده خشک کتان روغنی می‌شود علت این امر را می‌توان افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت مطلوب دانست که باعث افزایش تجمع ماده خشک گیاهی و افزایش عملکرد و ماده خشک در این تاریخ می‌شود (Garsid, 2004).

امروزه به دلیل افزایش اهمیت مسائل زیست محیطی توجه زیادی به کودهای زیستی برای جایگزینی کودهای شیمیایی شده است (Kader *et al.,* 2002). در نظام های کشاورزی پایدار، کاربرد کودهای زیستی از اهمیت ویژه‌ای در تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار بوده و علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، محلول کردن فسفر و پتاسیم و مهار عوامل بیماری زا با تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Sharma, 2003). کودهای زیستی متشکل از باکتری ها و قارچ های مفیدی هستند که هر یک به منظور خاصی، مانند تثبیت نیتروژن و رهاسازی یون های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آن ها تولید می‌شوند. این باکتری‌ها بیش از یک نقش داشته و علاوه برکمک به جذب عنصری خاص باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌های گیاه و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Han *et al.,* 2006). یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است. کود زیستی فسفره (حاوی ریز جانداران فسفات) با افزایش دوام سطح برگ (LAD) منجر به افزایش استفاده از انرژی خورشید و در نتیجه فتوسنتز بالاتر گیاه شد (Malboobi, 2009). استفاده از کود نیتروژن با قابلیت رهاسازی آهسته رشد اندام های هوایی سویا را تحریک نموده و موجب ایجاد (LAI) بیشتر در مراحل زایشی، به‌ویژه در طی مرحلهٔ پرشدن دانه شده و نهایتاً عملکرد دانه را افزایش داد (Kaushal *et al.,* 2006). مصرف کودهای زیستی موجب افزایش معنی دار شاخص سطح برگ شده است (Khorramdel *et al.,*2008). این تحقیق به‌منظور بررسی برهمکنش کودهای زیستی و شیمیایی در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار تحت تأثیر تاریخ کاشت با تأکید بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد گیاه بادام‌زمینی در همدان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان بصورت اسپیلت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی در جدول ۱ اشاره شده است. رقم مورد بررسی بادام‌زمینی رقم فلوری اسپانیش بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان تهیه شد. منطقه مورد بررسی از نظر اقلیمی جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه، با میانگین بارندگی سالیانه ۳۳۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۲۴ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین ماه سال بر اساس آمار هواشناسی ۵۵ ساله است. سه تاریخ کاشت ۱خرداد ،۱۰ خرداد و۲۰ - خرداد بعنوان کرت اصلی و کود زیستی در چهار سطح شامل ۱) کود شیمیایی فسفاته کامل و۵۰ درصدکود شیمیایی نیتروژنه+ کود زیستی نیتروژن، ۲) کود شیمیایی نیتروژنه کامل و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفاته+ کود زیستی فسفر، ۳) ۵۰ درصدکود شیمیایی نیتروژنه و۵۰ درصدکود شیمیایی فسفاته+ کاربرد توام کودهای زیستی نیتروژن و فسفر، ۴) استفاده کامل ۱۰۰ درصد از کودهای شیمیایی (شاهد) در کرت فرعی در نظر گرفته شدند. از کود زیستی نیتروژنه بارور ۱ و کود زیستی فسفره بارور ۲ که از شرکت زیست‌فناور سبز تهیه شده بود استفاده گردید. به ازاء هر۱۰۰ کیلوگرم کود شیمیایی، ۱۰۰ گرم کود زیستی در تیمارهای مختلف مصرف شد. پس از آغشته کردن بذور به کودهای زیستی عملیات کاشت بلافاصله انجام گردید. کود زیستی فسفره بارور ۲ حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *پانتوا آگلومرانس*[1] و *سودوموناس پوتیدا*[2] می‌باشد که به‌ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث حل ترکیب‌های فسفره نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌شود. کود نیتروژنه ازتو بارور ۱ نیز نوعی کود زیستی حاوی باکتری حل‌کننده نیتروژن است که باکتری‌های مفید این کود زیستی همیار با گیاه بوده و در ناحیه ریزوسفری اطراف ریشه به تثبیت ازت به‌صورت آمونیاک می‌پردازند. آبیاری مزرعه توسط سیستم تحت فشار به روش بارانی انجام شد. شش ردیف کاشت با فواصل بین پشته‌های ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی پشته ها ۴۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. برای بررسی روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد نمونه‌برداری‌هایی در فواصل زمانی دو هفته یک بار از ۳۰ روز پس از کاشت انجام شد و

1- Pantoea agglomerans
2- Pseudomonas putida

به این منظور دو ردیف کناری و نیم‌متر از بالا و پایین هر کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته و از سایر قسمت‌های هر کرت پنج بوته از سطح خاک قطع و سطح برگ و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. در مجموع تا پایان دوره رشد هفت مرحله نمونه‌برداری تخریبی صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی مدل (اسپاد- مینولتا) استفاده گردید. بدین صورت که در مرحله قبل از گلدهی تعداد ده بوته بطور تصادفی از هر کرت انتخاب و میزان سبزینگی بر حسب عدد اسپاد (SPAD) اندازه گیری شد. تعیین روند تجمع وزن خشک کل (TDM) تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) سرعت رشد محصول (CGR) بر اساس روابط زیر انجام گرفت.

$$LAI = Exp\ (a' + b'\ x + c'\ x^2\ ) \quad (۱)$$

$$CGR = NAR \times LAI \quad (۲)$$

$$TDM = Exp\ (a + b\ x + c\ x^2) \quad (۳)$$

در این معادله‌ها a، b، c، a'، b' و c' ضرایب معادلات رگرسیونی مربوطه و x زمان پس از کاشت بر حسب روز و NAR فتوستز خالص برحسب گرم در متر مربع در روز می‌باشد. در این تحقیق حداکثر مقادیر مربوط به شاخص‌های سطح برگ، سرعت رشد محصول و وزن خشک کل در تیمارهای مختلف مورد آنالیز و مقایسه میانگین قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SAS (Ver 9.1) صورت گرفت.

جدول۱- مشخصات فیزیکی وشیمیایی خاک محل آزمایش

Table1- Physical and chemical characteristics of the soil in the experimental site

رس Clay %	سیلت Silt %	شن Sand %	فسفر P (mg Kg-1)	پتاسیم K (mg Kg-1)	ازت کل N %	کربن آلی OC %	EC (S m^{-1})	نوع بافت Texture
24	32	44	7.4	201	0.078	0.78	0.278	Lom

نتایج و بحث

روز تا گل‌دهی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر تاریخ کاشت، کود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل تاریخ کاشت و کود بر تعداد روز تا گلدهی معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت ۱ خرداد و ۱۰ خرداد تفاوت معنی‌داری از این لحاظ وجود ندارد ولی تاریخ کاشت سوم کمترین تعداد روز تا گلدهی را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در تاریخ کاشت سوم گیاهان ۴ روز زودتر از تاریخ کاشت اول به گل رفتند. افزایش دما به موازات تاخیر در زمان کاشت سبب کوتاه شدن طول دوره رشد و تسریع در گلدهی می‌گردد (Fanaei *et al.*, 2008). در بررسی تیمارهای کودی، اثر تیمار تلفیقی کود زیستی و شیمیایی نیتروژنه+ فسفره با کود شیمیایی کامل مشابه بود (جدول۳). استفاده از کودهای زیستی اثرات مثبتی برعرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی گیاه داشته و به تبع آن به جذب بهتر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن کمک کرده و باعث افزایش رشد و گلدهی می‌شود (Pouryousef *et al.*, 2010). باکتری‌های موجود در کود زیستی نیتروژنه علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف با سنتز و ترشح مواد محرک رشد و همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف موجب رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی گیاه می‌شوند. این مساله سبب تولید آسیمیلات بیشتر و انتقال آنها به دانه می‌گردد (Gutierrez, 2001). باکتری‌های حل‌کننده فسفات علاوه بر کمک به جذب عنصر فسفر، موجب جذب سایر عناصر و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک رشد و افزایش کمی و کیفی محصول می گردند (Mehrvarz and Chaichi , 2008).

روز تا غلاف دهی

بین تاریخ‌های مختلف کاشت و کود از نظر تعداد روز تا غلاف‌دهی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. اثر متقابل تاریخ کاشت و کود بر روی صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد کمترین تعداد روز از کاشت تا غلاف‌دهی بدست آمد، به‌طوری که گیاهان در این تاریخ کاشت نسبت به تاریخ کاشت اول خرداد، ۶ روز و نسبت به تاریخ کاشت دوم، ۳ روز زودتر به مرحله غلاف‌دهی رسیدند (جدول۳). تاخیر در کاشت سبب برخورد مراحل رویشی و زایشی گیاه با درجه حرارت بالا و تابش خورشید و طول روز متفاوت می‌شود. در کاشت به موقع گیاه دارای اندام‌های رویشی بزرگتری بوده و قادر است مقصد زایشی بزرگتری را تغذیه کرده و به میزان کافی مادهٔ خشک به آن اختصاص دهد در نتیجه، عملکرد افزایش می‌یابد (Fallah , 2008). در تاریخ کاشت دیر هنگام گیاه قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ مناسب، وارد فاز زایشی گردیده، لذا با کاهش دریافت انرژی نورانی توسط برگ‌ها عملکرد کاهش می‌یابد

(Khadem Hamza *et al.,* 2004)). تأخیر در کاشت سبب تسریع گلدهی، کاهش فاز زایشی و رویشی و باعث کوتاه شدن دوره روز تا غلاف‌دهی شده و تسریع در رسیدگی می‌شود (Thurling , 1977 and Dass). در بررسی تیمارهای کودی، مصرف کامل کود شیمیایی بیشترین تعداد روز تا غلاف‌دهی را داشت و پس از آن تیمار تلفیقی کود زیستی و شیمیایی نیتروژنه+ فسفره با کمترین اختلاف نسبت به کود شیمیایی کامل قرار داشت. کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، گیاه را در جذب سایر عناصر یاری کرده که در نتیجه آن رشد اندام هوایی و انشعابات جانبی گیاه افزایش پیدا می‌کند (Selosse *et al.,* 2004)). باکتری‌های پزودوموناس علاوه بر تاثیر بر ریشه زایی و رشد ریشه، باعث بهبود و رشد اندام‌های هوایی و افزایش دوره رویشی سویا می‌شود (Wahyudi , 2011).

روز تا رسیدگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، کود در سطح احتمال یک درصد معنی دار ولی اثر متقابل تاریخ کاشت و کود روی صفت تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تاریخ کاشت۱۰ خرداد با تاریخ کاشت اول خرداد در تغییر تعداد روز تا رسیدگی نداشته و بیشترین تعداد روز تا رسیدگی را به خود اختصاص دادند. تاریخ کاشت مناسب در مناطق مختلف، ضمن تاثیر بر میزان رشد رویشی و زایشی گیاه باعث افزایش بازدهی فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و ذخیره آنها در دانه‌ها و افزایش عملکرد می‌شود (Azari and Khajepour , 2003). تاریخ کاشت سوم نسبت به تاریخ کاشت اول، ۸ روز زودتر به مرحله رسیدگی رسید(جدول ۳). در بررسی تیمارهای کودی ، کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفره با کود شیمیایی کامل تفاوتی از این لحاظ نشان نداد و اثر افزایشی کود نیتروژنه + فسفره باعث تکمیل شدن دوره رشد زایشی و رسیدن دانه گردید.

جدول۲- تجزیه واریانس اثر تاریخ کاشت و کود بر صفات مورد بررسی بادام زمینی

Table 2- Analysis variance of the effects of planting date and fertilizer on evaluated traits of peanut

			میانگین مربعات MS		
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	روز تا گلدهی Days to flowring	روز تا غلاف‌دهی Days to podding	روز تا رسیدگی Days to maturity
Replication	بلوک(تکرار)	2	1.00	31.00	3.52
Planting date	تاریخ کاشت	2	58.58**	83.25**	156.86**
Error(a)	خطای(a)	4	0.58	2.00	3.52
Fertilizer	کود	3	98.11**	62.25**	113.28**
Palnting date×Fertilizer	تاریخ کاشت × کود	6	0.25^{ns}	1.25^{ns}	0.45^{ns}
Error (b)	خطای(b)	18	9.98	1.44	10.67
C.V (%)	ضریب تغییرات(%)	-	7.31	2.57	2.66

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت و کود بر صفات مورد بررسی بادام زمینی

Table 3- Mean comparison of the effects of planting date and fertilizer on evaluated traits of penut

S.O.V	منابع تغییر	روز تا گلدهی days to flowring	روز تا غلاف دهی days to podding	روز تا رسیدگی days to maturity
Planting date	تاریخ کاشت			
22May	1 خرداد	45.41a	78.75	126.00a
31 May	10خرداد	43.08ab	76.50b	123.25a
10 June	20خرداد	41.00b	73.50c	118.83b
Biofertilizer	کود زیستی			
Nitrogen biofertilizer	زیستی نیتروژنه	39.00c	73.33d	118.55c
Phosphorus biofertilizer	زیستی فسفره	42.22b	75.00c	121.22cb
N+P biofertilizer	زیستی N+P	44.88ab	77.33b	124.33ab
100% chemical	شیمیایی کامل	46.55a	79.33a	126.66a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

Means followed with the same letters within each column are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$).

ارتوباکترها از طریق تولید متابولیت‌های محرک رشد مانند اکسین، سیتوکینین، جیبرلین می‌تواند بر رشد رویشی گیاه تاثیر گذاشته و آن را افزایش دهد (Carletti, 2002). کاربرد میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر نیز مسیر و انتشار فسفر را کوتاه نموده و موجب سهولت دسترسی عنصر فسفر برای گیاه گردد، در نتیجه موجب بهبود تغذیه‌ای سایر عناصر می‌شود (Moradi *et al.,* 2008).

میزان سبزینگی برگ

اثرات اصلی هر یک از تیمارهای تاریخ کاشت و کود در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل تاریخ کاشت و کود برای میزان سبزینگی برگ معنی دار نشد (جدول۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین میزان سبزینگی برگ در تاریخ کاشت اول معادل ۳۷/۵۱ اسپاد و کمترین سبزینگی برگ معادل ۳۵/۳۵ اسپاد در تاریخ کاشت سوم حاصل شد (شکل۱). در بررسی کودها در تیمار مصرف کود شیمیایی کامل سبزینگی برگ معادل ۳۷/۸۰ اسپاد و تیمار تلفیقی کاربرد توام کود زیستی و شیمیایی نیتروژنه+ فسفره سبزینگی برگ معادل ۳۶/۵۶ دارای بیشترین و تیمار کود زیستی فسفره کمترین میزان سبزینگی برگ معادل۳۳/۵۱ اسپاد را به خود اختصاص دادند (شکل۲). تاریخ کاشت سوم به دلیل برخورد با شرایط نامناسب محیطی اختلاف معنی‌داری با سایر تاریخ‌های کاشت داشت. تاخیر در کاشت نخود و مواجه شدن گیاه با افزایش دما میزان سبزینگی برگ را کاهش می‌دهد (Pezashkpour *et al.,* 2005). در بررسی تیمارهای کودی، کاربرد توام کود زیستی و شیمیایی نیتروژنه+ فسفره از نظر آماری با مصرف کامل کود شیمیایی دارای اختلاف معنی داری نبود و با ۵/۰۶ درصد اختلاف نسبت به مصرف کامل کود شیمیایی بر سایر تیمارهای کودی برتری نشان داد. مصرف توام نیتروژن و فسفر نسبت به مصرف تنهایی اثر تشدید کنندگی بر میزان سبزینگی برگ داشت و باعث شد میزان سبزینگی در تیمار تلفیقی کود زیستی نیتروژنه+ فسفره افزایش یابد. افزایش مقدار سبزینگی را می‌توان به تأمین بهتر عنصر نیتروژن نسبت داد. نیتروژن در ساختار سبزینگی برگ، ارتباط مثبت داشته و اثر معنی‌داری بین نیتروژن برگ و میزان سبزینگی وجود دارد (Ghorbakli *et al.,* 2006). بنابراین تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و به‌ویژه نیتروژن، افزایش رشد سبزینه‌ای گیاه و در نتیجه فتوسنتز را بدنبال خواهد داشت. گیاه تلقیح شده با سودوموناس افزایشی در میزان سبزینگی برگ نسبت به گیاه بدون تلقیح را پس از ۴۵ روز نشان داد. آنها علت را به افزایش فراهمی آهن در اثر تولید سیدروفور توسط سودوموناس نسبت دادند (Sharma, 2003).

شکل۱- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر سبزینگی برگ

* حرف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است

Figure 1- Mean comparison of the effects of planting date on leaf chlorophyll

*Common letter on the columns indicate no significant difference between treatments by Duncan test ($p<0.05$).

شکل۲- مقایسه میانگین اثر کود بر میزان سبزینگی برگ

* حرف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است

Figure 2- Mean comparison of the effects of fertilizers on leaf chlorophyll

*Common letter on the columns indicate no significant difference between treatments by Duncan test ($p<0.05$).

شاخص سطح برگ

تغییرات سطح برگ در هر سه تاریخ کاشت روند مشابهی داشت به‌طوری‌که ابتدا سیر صعودی و پس از رسیدن به حداکثر میزان خود سیر نزولی را طی نمود (شکل ۳). تجزیه واریانس حداکثر شاخص سطح برگ نشان داد که اثرات اصلی هر یک از تیمارهای تاریخ کاشت و کود و اثرات متقابل تاریخ کاشت و کود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت اول با مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی معادل (۳/۵۵) و سپس در تیمار کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفاته (۳/۰۶) به‌دست آمد. با تأخیر ۱۰ و ۲۰ روز در کاشت حداکثر شاخص سطح برگ در کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفاته به‌ترتیب کاهش ۲۳ و ۲۵ درصدی را نسبت به تاریخ کاشت اول نشان داد. در تاریخ کاشت دوم نیز کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفاته اختلاف معنی‌داری را با مصرف کامل کود شیمیایی نشان داد (جدول۵). در مصرف مجزای کودها، کود زیستی نیتروژنه در تاریخ کاشت دوم نسبت به کود زیستی فسفره حداکثر شاخص سطح برگ بیشتری را به خود اختصاص داد، به‌نظر می‌رسد که نیتروژن موجب فراهمی بیشتر مواد پرورده برای گیاه از طریق سطح برگ بیشتر شده است. شیب نزولی نمودار مذکور نشان می‌دهد که سطح برگ تا انتهای فصل به‌علت پیری و ریزش رو به کاهش می‌گذارد. در تاریخ کاشت سوم تاخیر در کاشت باعث کاهش قابل توجهی در سطح برگ شد. به‌نظر می‌رسد با توجه به تاثیر مستقیم سطح برگ بر قابلیت تولید مواد فتوسنتزی، کاهش شاخص سطح برگ موجب محدودیت در توان تولیدی منبع و در نهایت عملکرد گیاه گردد. همبستگی میزان رشد گیاه به افزایش سطح برگ در بسیاری از مطالعات آمده است (Singh, 1997). حداکثر شاخص سطح برگ را در مرحله غلاف دهی کامل تا شروع دانه بندی بر روی سویا گزارش شده است (Jian Jin, 2010). هر اندازه سطح برگ گیاه در زمان مذکور بیشتر باشد به همان اندازه گیاه قادر به استفاده بهتر و بیشتر از تشعشع خورشیدی بوده و توان تولید مواد فتوسنتزی بیشتری پیدا می‌کند، در نهایت بر دانه‌های موجود در غلاف و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (Sharma and Johri, 2002). در این مطالعه اگرچه کاربرد کود شیمیایی کامل حداکثر شاخص سطح برگ را در هر سه تاریخ کاشت به خود اختصاص داد ولی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره نیز سبب افزایش حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به کاربرد مجزای کودها شد. این اثر ممکن است به علت افزایش میزان جذب کود نیتروزن و یا تولید تریپتوفان پیش‌ساز هورمون اکسین توسط میکروارگانیسم های کودهای زیستی باشد. کودهای زیستی حاوی باکتری‌های *آزوسپیریلیوم*، *سودوموناس* و ازتوباکتر از طریق همیاری با ریشه گیاهان، موجب افزایش سطح جذب رطوبت شده و با شبکه گسترده ریشه‌ای از طریق جذب آب و املاح ، موجب افزایش سطح برگ گیاه می‌شود (Sprent, and Sprent 1990). تلفیق کودهای شیمیایی و بیولوژیک باعث افزایش حداکثر شاخص سطح برگ ذرت شده است (Rizwan *et al.*, 2008).

شکل ۳- روند تغییرات شاخص سطح برگ در واکنش به سه تاریخ کاشت (D1 ،تاریخ کاشت اول خرداد D2، تاریخ کاشت ۱۰ خرداد D3 ، تاریخ کاشت ۲۰ خرداد) و سطوح کود (F1 ،کود شیمیایی فسفاته کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه+ کودزیستی نیتروژنه. F2،کود شیمیایی نیتروژنه کامل + ۵۰ درصدکود شیمیایی فسفاته + کود زیستی فسفره. F3،۵۰ درصدکود شیمیایی نیتروژنه و۵۰ درصدکود شیمیایی فسفاته + کاربرد توام دوکود زیستی نیتروژنه + فسفره .F4، شاهد(۱۰۰٪مصرف کامل کودهای شیمیایی).

Figure 3- Trend of leaf area index in response to the three planting dates (D1: 22 May; D2: 31 May; D3: 10 June) and leveles of fertilizer (F1: complete phosphorus chemical fertilizer + 50% nitrogen chemical fertilize + nitrogen biofertilizer, F2: complete nitrogen chemical fertilizer + 50% phosphorus chemical fertilizer + phosphorus biofertilizer, F3: 50% nitrogen chemical fertilizer and 50% phosphorus chemical fertilizer + nitrogen-phosphorus biofertilizers, F4: control (100% chemical fertilizer).

سرعت رشد محصول

روند تغییرات سرعت رشد محصول نشان دادکه سرعت رشد محصول روند تقریباً مشابهی با روند تغییرات سطح برگ دارد (شکل۴). افزایش CGR در طول فصل رشد را می توان به افزایش سطح برگ و کاهش CGR را به کاهش فتوسنتز خالص و ریزش برگ‌ها نسبت داد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس حداکثر سرعت رشد محصول نشان داد که اثرات اصلی هر یک از تیمارهای تاریخ کاشت و کود و همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت و کود برای حداکثر سرعت رشد محصول در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت اول خرداد و کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+فسفره با حداکثر (۱۳/۶۸)گرم در متر مربع در روز، و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی بدست آمد. در همان تاریخ کاشت مصرف انفرادی کود زیستی نیترورنه با ۸/۸۸ گرم در متر مربع در روز، کمترین مقدار سرعت رشد محصول را دارا بود (جدول۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در تاریخ کاشت دوم کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفره از نظر آماری اختلاف معنی‌داری از لحاظ حداکثر سرعت رشد محصول با مصرف ۱۰۰٪ کود شیمیایی نداشت. در تاریخ کاشت مذکور مصرف مجزای کود زیستی فسفره کمترین سرعت رشد محصول را ایجاد نمود (جدول۵). در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد تیمارهای تلفیقی کود زیستی با کود شیمیایی کامل تفاوت معنی دار نداشتند. کشت‌های تاخیری به دلیل کافی نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب نور و گرمای انتهای فصل از سرعت رشد محصول کمتری کاسته می‌شود (Kobata ,1990). آزوسپریلوم علاوه بر قابلیت تثبیت نیتروژن، با تولید مواد محرّک رشد سبب بهبود رشد ریشه و متعاقب آن افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی گردیده و از این طریق در افزایش سطح برگ و در نتیجه سرعت رشد محصول تأثیر دارد (Tilak, 2005). مصرف توام اسید هیومیک و *پزودوموناس پوتیدا* باعث افزایش pH خاک شده و در نتیجه قابلیت دسترسی فسفر افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین تأکید کردند که مصرف توأم اسید هیومیک و باکتری *پزودوموناس پوتیدا* باعث افزایش عملکرد دانه سویا شده است (Winarso *et al.,* 2011).

ماده خشک کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت، کود و همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت و کود برای تجمع ماده خشک کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول۴). بیشترین مادهٔ خشک کل از تاریخ کاشت اول خرداد و کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه و فسفره و مصرف کود شیمیایی کامل حاصل شد. در تاریخ کاشت دوم کاربرد توام دو کود زیستی با کود شیمیایی کامل اختلاف معنی‌داری داشت. مصرف مجزای کودها نیز نتوانست ماده خشک کل را در حد مصرف کامل کود شیمیایی افزایش دهد. در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد ماده خشک کل به کمترین مقدار خود رسید و تفاوتی بین تیمارهای مصرف کود زیستی مشاهده نشد (جدول ۵).

شکل ٤- روند تغییرات سرعت رشد محصول در واکنش به سه تاریخ کاشت (D1، تاریخ کاشت اول خرداد D2، تاریخ کاشت ۱۰ خرداد D3، تاریخ کاشت ۲۰ خرداد) و سطوح کود (F1، کود شیمیایی فسفاته کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه + کودزیستی نیتروژنه F2، کود شیمیایی نیتروژنه کامل + ۵۰ درصدکود شیمیایی فسفاته + کود زیستی فسفره F3، ۵۰ درصدکود شیمیایی نیتروژنه و۵۰ درصدکود شیمیایی فسفاته + کاربرد توام دوکود زیستی نیتروژنه + فسفره F4، شاهد (۱۰۰٪مصرف کامل کودهای شیمیایی).

Figure 4- Trend of crop growth rate in response to the three planting dates (D1: 22 May; D2: 31 May; D3: 10 June) and leveles of fertilizer (F1: complete phosphorus chemical fertilizer + 50% nitrogen chemical fertilize + nitrogen biofertilizer, F2: complete nitrogen chemical fertilizer + 50% phosphorus chemical fertilizer + phosphorus biofertilizer, F3: 50% nitrogen chemical fertilizer and 50% phosphorus chemical fertilizer + nitrogen-phosphorus biofertilizers, F4: control (100% chemical fertilizer).

جدول٤- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تاثیر تاریخ کاشت و کودهای زیستی در بادام زمینی

Table 4- Analysis variance of the effects of planting dates and fertilizer on evaluated traits of penut

		میانگین مربعات MS					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سبزینگی برگ Leaf greennes	حداکثر شاخص سطح برگ LAI maximum	حداکثر سرعت رشد محصول CGR maximum	حداکثر ماده خشک کل TDW maximum	دوام شاخص سطح برگ LAI duration	عملکرد دانه Grain yield
بلوک (Rep)	2	9.12	1.25	33.45	25455.87	4084.92	682.41
تاریخ کاشت(D) (Planting date)	2	14.19**	9.85**	224.01**	375889.63**	30448.01**	15124.72**
خطای اصلی Error(a)	4	0.83	0.048	7.60	3656.81	195.54	37.72
کود (F) Fertilizer	3	20.57**	1.86**	14.36**	21075.83**	5945.94**	1119.30**
تاریخ کاشت x کود (D×F)	6	0.28 ns	0.19**	3.83**	4218.36**	335.20**	298.79**
خطای فرعی Error (b)	18	0.29	0.025	0.95	685.64	21.12	4.36
ضریب تغییرات C.V(%)	–	4.49	8.07	3.85	8.04	3.74	4.42

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

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

جدول۵- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مورد بررسی تحت تاثیر تاریخ های مختلف کاشت و مصرف کود در بادام زمینی

Table 5- Comparison of mean effects of planting date and fertilizer on evaluated traits of peanut

تاریخ کاشت Planting date	کود Fertilizer	سبزینگی برگ Leaf greennes (SPAD)	حداکثر شاخص سطح برگ LAI_{max}	حداکثر سرعت رشد محصول CGR_{max} ($g\ m^{-2}\ day^{-1}$)	ماده خشک کل TDW ($g\ m^{-2}$)	دوام شاخص سطح برگ LAID (day)	عملکرد دانه Grain yield ($g\ m^{-2}$)
1 خرداد 22 May	زیستی نیتروژنه N biofertilizer	35.93de	2.33c	8.88cd	407.27c	146.33c	74.38d
	زیستی فسفره P biofertilizer	37.13c	2.26cd	8.26bc	474.33b	137.00d	79.08c
	زیستی N+P N+P biofertilizer	37.13c	3.06b	13.68a	549.67a	170.66b	96.5b
	شیمیایی کامل 100% Chemical	39.86a	3.55a	12.06ab	537.33a	208.66a	105.40a
10 خرداد 31 May	زیستی نیتروژنه N biofertilizer	35.13ef	2.02d	7.11d	321.93d	119.83e	32.22g
	زیستی فسفره P biofertilizer	36.03de	1.46e	4.95e	263.00e	104.16f	41.29f
	زیستی N+P N+P biofertilizer	36.76cd	2.17cd	8.18d	361.70d	141.50cd	49.61e
	شیمیایی کامل 100% Chemical	38.46b	2.84b	8.72cd	431.00bc	176.16b	53.25d
20 خرداد 10 June	زیستی نیتروژنه N biofertilizer	33.66g	1.09f	2.22f	116.50g	54.20I	10.39j
	زیستی فسفره P biofertilizer	34.73f	1.02f	2.15f	124.00fg	58.60I	12.17ij
	زیستی N+P N+P biofertilizer	35.80de	1.20f	2.91f	150.00fg	69.78h	14.29hi
	شیمیایی کامل 100% Chemical	37.20c	1.33e	3.26f	168.33f	86.70g	16.21h

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

Means followed with the same letters within each column are not significantly different by Duncan test ($p<0.05$).

روند تغییرات ماده خشک کل گیاه نشان داد در تاریخ کاشت اول، تیمار کاربرد توام دو کود زیستی و مصرف کامل کود شیمیایی تا حدود ۱۱۰ روز پس از کاشت، بیشترین افزایش ماده خشک را به جهت استفاده بهتر از شرایط محیطی دارا بوده و در زمان ۱۱۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت به علت ورود به مرحله رسیدگی دانه‌ها، شیب تجمع کند می‌شود (شکل۵). به‌نظر می‌رسد که ادامه این روند خصوصاً در تاریخ های کاشت دوم و سوم به دلیل کاهش سطوح فتوسنتزی و برخورد با دماهای پایین آخر فصل بیشتر است. نتایج نشان داد که تاخیر در کاشت به دلیل کاهش طول دوره رشد و مصادف شدن مراحل زایشی با گرمای آخر فصل موجب کاهش تجمع ماده خشک شده است. بدیهی است تاریخ کاشت از طریق تغییر در طول روز، دما، میزان فتوسنتز و تنفس بر خصوصیات رشدی و تجمع ماده خشک تولیدی تأثیر می‌گذارد. شاخص سطح برگ تحت تأثیر کود زیستی نیتروکسین می‌تواند با افزایش فتوسنتز و عناصر غذایی درون گیاه

تأثیر مثبتی بر سطح برگ، رشد و تولید ماده خشک آفتابگردان داشته باشد (Ahmed *et al.*, 2010). تلفیق فسفات خاک با باکتری حل کننده فسفات و تیوباسیلوس باعث افزایش تجمع ماده خشک در گیاه لوبیا، می‌شود زیرا اسیدهای آلی تولید شده بوسیله باکتری‌های حل کننده فسفات و تولید آنزیم فسفاتاز به‌وسیله این باکتری‌ها و اسید فسفریک تولید شده توسط فعالیت باکتری‌های تیوباسیلوس می‌توانند بر فسفات خاک اثر گذاشته و باعث حلالیت فسفر و در نتیجه افزایش ماده خشک شوند (Gaind and Gaur, 1991).

شکل ۵- روند تغییرات ماده خشک کل در واکنش به سه تاریخ کاشت (D1، تاریخ کاشت اول خرداد D2، تاریخ کاشت ۱۰ خرداد D3، تاریخ کاشت ۲۰ خرداد) و سطوح کود (F1، کود شیمیایی فسفاته کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنه + کودزیستی نیتروژنه. F2،کود شیمیایی نیتروژنه کامل + ۵۰ درصدکود شیمیایی فسفاته + کود زیستی فسفره. F3، ۵۰ درصدکود شیمیایی نیتروژنه و۵۰).

Figure 5- Trend of total dry matter in response to the three planting dates (D1: 22 May; D2: 31 May; D3: 10 June) and leveles of fertilizer (F1: complete phosphorus chemical fertilizer + 50% nitrogen chemical fertilize + nitrogen biofertilizer, F2: complete nitrogen chemical fertilizer + 50% phosphorus chemical fertilizer + phosphorus biofertilizer, F3: 50% nitrogen chemical fertilizer and 50% phosphorus chemical fertilizer + nitrogen-phosphorus biofertilizers, F4: control (100% chemical fertilizer).

دوام شاخص سطح برگ

دوام شاخص سطح برگ میزان دوام سطوح فتوسنتزکننده گیاه را نشان می‌دهد و می‌تواند شاخص مناسبی از تولید باشد. این صفت برای اثرات اصلی و متقابل تاریخ کاشت و کود در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). بیشترین دوام شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت اول خرداد با مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی ۲۰۸/۶۶ و کاربرد توام کودهای زیستی نیتروژنه + فسفره معادل ۱۷۰/۶۶ به‌دست آمد (جدول۵). کمترین دوام شاخص سطح برگ را کود زیستی فسفره به خود اختصاص داد. در هر سه تاریخ کاشت کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفره با تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی اختلاف معنی‌دار نشان داد و مقادیر دوام سطح برگ با مصرف کامل کود شیمیایی بیشتر بود. مصرف مجزای کود زیستی فسفره و کود زیستی نیترونه نیز نسبت به مصرف کامل کود شیمیایی اختلاف نشان دادند (جدول ۵). ولی در تاریخ کاشت سوم با تا خیر در کاشت به دلیل افزایش درجه حرارت، شاخص سطح برگ سریع به حداکثر مقدار خود رسیده و بلافاصله کاهش یافت. با تاخیر در کاشت از مقدار حداکثر شاخص سطح برگ کاسته شده و دوام سطح برگ نیز کاهش می‌یابد. اگرچه مصرف کود زیستی نیتروژنه به تنهایی نتوانست دوام سطح برگ را به حد مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی برساند ولی در مصرف توام با کود زیستی فسفره دوام سطح برگ را برای تاریخ‌های کاشت اول و ۱۰ خرداد ارتقاء داد. کودهای زیستی با افزایش جذب نیتروژن و افزایش کارایی نیتروژن در فرآیند فتوسنتز و افزایش سطح سبز گیاه نقش به سزایی ایفا می نمایند که افزایش رشد را به دنبال خواهد داشت. همچنین کود زیستی فسفره از طریق تولید عناصر مختلف غذایی ، تنظیم اسیدیته، ترشحات حل‌کننده را به صورت محلول در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Rademacher , 1994). افزایش تعداد برگ و سطح برگ ذرت در اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی، با یافته های حاصل از این آزمایش مطابقت دارد. این پژوهشگران دلیل این امر را به بهبود جذب عناصر از خاک نسبت داده اند (Aziz *et al.*, 2010).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت، کود و همچنین اثرات متقابل تاریخ کاشت و کود در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد (جدول۴). تاریخ کاشت اول خرداد با مصرف کامل کود شیمیایی با عملکرد دانه معادل۴۰ /۱۰۵ گرم در متر مربع و کاربرد توام کود زیستی نیتروژنه+ فسفره با عملکرد دانه به میزان۹۶/۵۰ گرم در مترمربع دارای بیشترین مقدار

بودند. در تاریخ کاشت ۲۰ خرداد مصرف کود زیستی نیتروژنه به‌صورت انفرادی کمترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. تاریخ کاشت ۱۰ خرداد روندی مشابه تاریخ کاشت اول را داشت با این تفاوت که مقادیر عملکرد دانه نسبت به تاریخ کاشت اول کمتر بود. در تاریخ کاشت سوم کود زیستی نیتروژنه کمترین عملکرد دانه را داشت و تفاوت زیادی بین تیمارهای کودی مشاهده نشد (جدول۵). عملکرد گیاه با طول دوره رشد گیاه رابطه مستقیمی دارد. هرچه مدت رشد، طولانی تر می شود مقدار تشعشع جذب شده توسط گیاهان بیشتر بوده و باعث افزایش عملکرد گیاه می شود. از این رو یکی از دلایل کاهش عملکرد کاهش طول دوره رشد گیاهان است به‌طوری که کاهش یافتن اندازه کانوپی از حد مطلوب و کوتاه شدن دوره رشد رویشی از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه در تاریخ کاشت های تأخیری ذکر گردیده است (Diepenbrock, 2001; Stapper and Hocking, 2001). بررسی مطالعات انجام شده روی کاربرد کودهای زیستی و تلفیق آنها با کودهای شیمیایی نشان می‌دهد که استفاده از کودهای زیستی دارای اثرات مثبتی بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان است. عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به گیاه، به‌ویژه نیتروژن باعث افزایش رشد و گلدهی می‌شود، همچنین عنصر فسفر در کنار نیتروژن موجب افزایش رشد زایشی می‌گردد (Rahimzade , 2009). افزایش رشد و بهبود ساختار و فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک موجب دسترسی مطلوب گیاه به آب و عناصر غذایی در طیف وسیعی از گیاهان می‌شود (Akhtar and Siddiqui , 2009). تجمع مواد آلی توسط باکتری‌ها در خاک باعث افزایش دسترسی به عناصر غذایی شده، به‌طوری که این شرایط موجب زیادتر شدن تعداد دانه در غلاف و به خصوص افزایش معنی دار وزن هزار دانه گردیده است و در نتیجه عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Falah *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد تاریخ کاشت اول خرداد نسبت به سایر تاریخ های کاشت در اکثر تیمارها بیشترین رشد و عملکرد را به خود اختصاص داد. روند شاخص‌های فیزیولوژیک در پاسخ به مصرف کودهای زیستی در سطوح مختلف نمایانگر تاثیر این کودها در ایجاد سطح برگ مطلوب وتجمع ماده خشک مناسب و در نهایت افزایش عملکرد است. به‌طوری که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنه+ فسفره در اکثر صفات با مصرف کود شیمیایی کامل تفاوت چندانی نداشته و می توان به جای مصرف کود شیمیایی کامل از کودهای زیستی نیتروژنه+ فسفره بطور تلفیقی استفاده نمود. استفاده توام از کودهای زیستی و شیمیایی ضمن فراهم کردن شرایط تغذیه‌ای بهینه برای گیاه و حفظ عملکرد دانه باعث کاهش ۵۰ درصدی استفاده از کودهای شیمیایی شد، این مسئله در راستای کشاورزی پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌تواند مفید باشد. لذا به‌نظر می‌رسد کودهای زیستی به کار رفته جایگزین مناسبی برای حداقل نیمی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره در تولید بادام زمینی در همدان و شرایط مشابه باشند.

References

1. Ahmed, A. G., Orabi, S. A., and Gaballah, M. S. 2010. Effect of bio-N-P fertilizer on the growth, yield and some biochemical components of two sunflower cultivars. International Journal of Academy Resources 2: 271-277.
2. Akhtar, M. S., and Siddiqui, Z. A. 2009. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and Rhizobium sp. On the growth, nodulation, yield and root- rot disease complex of chickpea under field condition. African Journal of Biotechnology 8 (15): 3489-3496.
3. Azari, A., Khajepour, M. R. 2003. Effect of planting pattern on growth, development, grain yield and yield components of sunflower cv. Kooseh in Isfahan. Journal of Science and Technology in Agriculture and Natural Resources 7: 155-167. (In Persian with English abstract).
4. Aziz, T., Ullah, S., Sattar, A., Nasim, M., Farooq, M., and Mujtaba khan, M. 2010. Nutrient Availability and maize (*Zea mays* L.) growth in soil amended with organic manures. International Journal of Agriculture and Biology 12: 621-624.
5. Board, J. E., and Harville, B. G. 1999. Path analysis of the yield formation process for Late-planting soybean. Agronomy Journal 89: 739-741.
6. Carletti, S. 2002. Use of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in plant micropropagation. www.Ag.Auburn. Edu/argentina/pdfmanuscripts/ carletti. Pdf.
7. Daneshian, J., Jamshidi, E., Ghalavand, A., and Farrokhi, E. 2008. Determination of the suitable plant density and planting date for new hybrid (CMS-26 × R-103) of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 10 (1): 72-87. (in Persian with English abstract).
8. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Areview. Field Crops Research 67: 35-49.
9. Falah, S., Ghalavand, A., and Khajepour, M. 2007. The effect of mixing manures with soil and mixes it with chemical fertilizer on *Zea mays* L. yield and yield components in Khorramabad. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 40: 123-242. (in Persian with English abstract).

10. Fallah, S. 2008. Effect of planting date and plant density on yield and yield components in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in dry condition of Khorram Abad. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 45: 123-135. (in Persian with English abstract).
11. Fanaei, H. R., Galavi, M., Ghanbari Bongar, A., Solouki, M., and Naruoei-Rad, M. R. 2008. Effect of planting date and seeding rate on grain yield and yieldcomponents in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under Sistanconditions. Iranian Journal of Crop Science 10 (2): 15-30
12. Gaind, S., and Gaur. 1991. Thermotolerant phosphate Solution micro organisms and their interaction with mang bean. Plant and Soil 133: 141-149.
13. Garsid, A. 2004. Sowing time effects on the development, yield and oil of flaxseed in semi-arid tropical. Australian Journal of Productive Agriculture 23: 607-612.
14. Ghorbanli, M., Sh. Hashemi Moghaddam, Sh., and Fallah, A. 2006. Study of Interaction Effects of Irrigation and Nitrogen on Some Morphological and Physiological Characteristic of Rice Plant (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Sciences. Islamic Azad University. 12 (2): 415-428. (in Persian with English abstract).
15. Gulerer, M., Sait-Adak, M., and Ulukan, H. 2001. Determining relation ships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). European Journnal of Agronomy 14: 161-166.
16. Gutierrez-Manero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouachi, J., Tadeo, F. R., and Talon M. 2001. The plant-growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce highamounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum 111: 206-211.
17. Han H., Supanjani, K., and Lee, D. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant Soil Environment 52 (3): 130-136.
18. Hashemi Jazi, M. 2001. Effect of planting date on Developmental stages and some agronomic and physiological characteristics of 5 soybean varieties in second culture. Iranian Journal of Crop Sciences 3 (4): 3-8. (in Persian with English abstract).
19. Hocking, P. J., and Stapper, M. 2001. Effect of sowing time and nitrogen on canola and nitrogen fertilizer on Indian mustard. I. Dry matter production, grain yield and yield components. Australian Journal of Agricultural Research, 52: 623-634.
20. Jin, J., Liu, X., Wang, G., Mi, L., Shen, Z., Chen, X., Stephen, J., and Herbert, S. J. 2010. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. Field Crops Research 115: 116 -123.
21. Kader, M. K., Mmian, H., and Hoyue, M. S. 2002. Effects of azotobacter inoculants on the yield and nitrogen uptake by wheat. Journal of Biological Sciences 2: 250-261.
22. Kaushal, T., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., and Ohyama, T. 2006. Effect of placement of slow- release fertilizer (Lime nitrogen) applied at different rates on growth, N2 fixation and yield of soybean (*Glycine max*). Journal of Agronomy and Crop Science 192: 417-426.
23. Khadem Hamza, H. R., Karimi, M., Rezaei, A. S. M., and Ahmadi, M. 2004. Effect of plant density and planting date on agronomic traits, yield and yield components of soybean. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35 (2): 357-367. (in Persian with English abstract).
24. Khajeh pour, M. R., and Seiedi, F. 2000. The effects of planting date on grain yield and yield components oil sunflower cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources 4 (2):117-127. (in Persian with English abstract).
25. Khajeh pour, M. R. 2007. Industrial plants. Isfahan University of jahad publishers. pp350.
26. Khorramdel S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Ghorbani, R. 2008. Application effects of biofertilizers on the growth indices of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Crops Research 6 (2): 285-290. (in Persian with English abstract).
27. Kobata, T., and Moriwaki, N. 1990. Grain growth rate as a function of dry matter production rate an experiment with two rice cultivars under different radiation enviroments. Journal of Crop science 59: 1-7.
28. Lack, M. R., Ghanbari, A. A., Dorri, H. R., and Ghadiri, A. 2009. Effect of Planting Date on Seed Yield and Fusarium Root Rot Diseases Severity in Chitti Bean in Khomein. Seed and Plant Production 25 (3): 273-284. (in Persian with English abstract).
29. Malboobi, M. A., Owlia, P., Behbahani, M., Sarokhani, E., Moradi, S., Yakhchali, B., Deljou, A., and Morabbi Heravi, K. 2009. Solubilization of organic and inorganic phosphates by three highly efficient soil bacterial isolates. World Journal of Microbiology and Biotechnology 25: 1471-1477.
30. Mehrvarz, S., and Chaichi, M. R. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare* L.). American Eurasian Journal of Agricultural and Enviroment Science 3 (6): 855-860.
31. Moradi, M., Madani, H., Malboobi, M. A., and Pilevari khamami, R. 2008. Compare the efficiency of biological and chemical phosphorous in sunflower cultivation in climatic conditions in Arak. New findings in agriculture, 3 (2): 168-178. (in Persian with English abstract).

32. Pezeshkpour, P., Ahmadi, A. R., and Daneshvar, M. 2005. Effects of planting dates on grain yield and yield compontent, SPAD reading as indicator and light influnce bottom of the canopy. Abstracts of articles in the First National Conference on cereals. Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. 210-211. (in Persian with English abstract).
33. Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M. R., Rahimi, A., and Tavakoli, A. 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata Forsk*). Electronic Journal of Crop Production 3 (2): 193-213. (In Persian with English abstract).
34. Rademacher, W., 1994. Gibberellin formation in microorganisms. Plant Growth Regulation 15: 303-14.
35. Rahimzadeh, S. 2009. Investigate the effect of biological fertilizer on yield and quality of medicinal plant (Dracocephalum *moldavica*) under the farm conditions. Mster thesis Agricultural Faculty Kordestan University. (In Persian).
36. Rizwan, A., Arshad, M., Khalid, A., and Zahir, A. 2008. Effectiveness of organic Biofertilizer supplemented with chemical fertilizer for improving soil water retention, aggregate stability, growth and nutrient uptake of maize. Journal of Sustainable Agriculture 34: 57-77.
37. Selosse, M. A., Baudoin, E., and Vandenkoornhyse, P. 2004. Symbiotic microorganisms, akey for ecological success and protection of plants. Comptes Rendus Biologies 327: 639-648.
38. Sharma, A. K., and Johri, B. N. 2002. Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and soils. Oxford and IBH Publishing. New Delhi. P. 308.
39. Sharma, A. K. 2003. Biofertilizers for sustainable agriculture. Arobios, India Sciences 6 (4): 344-358.
40. Singh, S. P. 1997. Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crop Reserch 53: 161-170
41. Sprent, J., and Sprent, P. 1990. Nitrogen Fixation Organisms Chapman and Hall New York. P. 323.
42. Tilak, K. V. B. R., Ranganayaki, N., Pal, K. K. D. E. R., Saxena, A. K., Shekhar Nautiyal, C., Mittal, S., Tripathi, A. K., and Johri, B. N. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria, Current Science 89: 136-150.
43. Thurling, N., and Dass, D. V. 1977. Variation in parenthesis development of spring rape. Australian Journal of Ares 28: 567-607.
44. Wahyudi, A., Indri Astuti, R., Giyanto. 2011. Screening of Pseudomonas sp. Isolated from Rhizosphere of Soybean Plant as Plant Growth Promoter and Bio-control Agent. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 6 (1): 134-141.
45. Winarso, S., Sulistyanto, D., and Handayanto, E. 2011. Effects of humic compounds and phosphate solubilizing bacteria on phosphorus availability in an acid soil. Journal of Ecology and the Natural Environment 3 (7): 232-240.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 216-230

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۳۰-۲۱۶

Effect of Planting Date and Biological and Chemical Fertilizers on Phenology and Physiological Indices of Peanuts

A. Sepehri[1]*- H. Shahbazi[2]

Received: 17-11-2015
Accepted: 02-03-2016

Introduction

Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is an annual herbaceous plant in Fabaceae which grown in tropical to temperate regions worldwide for extracting its seed oil and nut consumption. Select the optimum planting date is one of the most important agricultural techniques that comply with the seed yield is maximized . For instance, delay planting date can reduce the number of fertile nodes and the number of pods per plant. The delay in planting date reduces total dry matter (TDM), leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR) and yield in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Daneshian *et al.,* (2008) reported that the delay in planting date reduced sunflower (*Helianthus annuus*) yield due to high temperatures in early growth which shortened flowering time and reduced solar radiation. On the other hand, due to increase importance of environmental issues has been attending biofertilizers to replace chemical fertilizers. Biofertilizers has formed by beneficial bacteria and fungi that each of them are produced for a specific purpose, such as nitrogen fixation, release of phosphate, potassium and iron ions of insoluble compound. The use of nitrogen fertilizer with slow-releasing ability stimulated shoot growth in soybean (*Glycine max*) and be created more LAI in the reproductive process, particularly during grain filling stage and finally increased seed yield . Therefore, this study was conducted in order to evaluate the interaction of biological and chemical fertilizers in the purpose of achieving sustainable agriculture with emphasis of the effects of various planting dates on physiological parameters and growth of peanut in Hamadan.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of planting date on important physiological indices of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under the influence of biological and chemical fertilizers. A field experiment was conducted in the research farm of Bu-Ali Sina University, Hamedan during 2013 growing season. This study was done as a split plot experimental design based on randomized complete block with three replications. Peanut cultivar was Fleury Spanish which was prepared by the Research Center of Guilan. Three planting date included 22 May, 31 May and 10 June were used as main plot and four levels of fertilizers included 50% nitrogen chemical fertilize + nitrogen biofertilizer + complete phosphorus chemical fertilizer, 50%phosphorus chemical fertilizer + phosphorus biofertilizer + complete nitrogen chemical fertilizer, 50% nitrogen chemical fertilizer and 50% phosphorus chemical fertilizer + nitrogen-phosphorus biofertilizers, and 100 %chemical fertilizer were tested as sub plot. In order to evaluate the effect of planting date and various fertilizer application on changes trend of LAI, CGR and TDM, different models (1, 2, 3) were fitted to the data.

$$LAI = Exp\ (a' + b'\ t + c'\ t^2) \quad (1)$$

$$CGR = NAR \times LAI \quad (2)$$

$$TDM = Exp\ (a + b\ t + c\ t^2) \quad (3)$$

Statistical analysis was performed using the SAS; ver. 9.1 software and mean comparison was done through Duncan test at $p<0.05$ level.

Results and Discussion

The result of analysis of variance indicated that, the main effects of planting date and biofertilizer for traits such as days to flowering, days to podding, days to maturity were significant at the 1% level. However, their interaction was not significant. For mentioned traits, the 22 May planting date was better than the other planting

1- Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2- M.Sc. Student in Agronomy, Department of Agronomy and plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: sepehri110@yahoo.com)

dates. It seems that in the third planting date, plant flowering was occurred earlier than the first date. High temperature with delayed planting shortened the peanut growing season and it accelerated flowering period. Moreover, complete chemical fertilizers (100%) was highest for mentioned traits and combine using of chemical fertilizer and nitrogen + phosphorus biofertilizers had the least difference compared to complete chemical fertilizer. Nitrogen-fixing bacteria help the plant to absorb more nutrients which causes increasing plant growth and the number of lateral branches in plant. Plants inoculated with *Pseudomonas* illustrated an increase in the amount of leaf chlorophyll content compare to plants without inoculation after 45 days which it can be attributed to the increased availability of iron in the siderophore production by *Pseudomonas*. Results indicated that the interaction between planting date and bio-fertilizers in maximum leaf area index, maximum crop growth rate and maximum total dry weight was significant at the %1 level. Changes in leaf area and crop growth rate and total dry matter in all planting dates had a similar trend.The highest growth index was obtained from the first planting date (22 May) with application of 100% chemical fertilizer and also combine using of chemical fertilizer and nitrogen+ phosphorus biofertilizers. Increasing CGR during the growing season can be attributed to the increasing of leaf area or less reduction of leaf net photosynthesis. The delay in planting date reduces the length of growing season and simultaneous occurrence of reproductive stages and late season heat stress caused the reduction in dry matter accumulation. *Azospirillum* with the ability to nitrogen fixing, improved root growth and increase the rate of absorption of water and nutrients and thus it causes the increase of leaf area and crop growth rate . The ccombined use of humic acid and *Pseudomonas putida* increased soil pH that with phosphorus availability it will make further increase soybean yield. The delay planting date has been reduced the maximum leaf area index and leaf area. Although biological nitrogen fertilizer alone could not increase the leaf area duration as much 100% chemical fertilizer, biological nitrogen fertilizer in combination with phosphorus biofertilizer increased leaf area for the 22 May and 31 May planting date. Plant yield had a direct correlation with growth duration. Whatever growth duration is longer; the amount of radiation absorption by plant increased and causes the increase crop yield. Accumulation of organic matter by bacteria in the soil increased the nutrient availability, which caused more significant increase in the number of seeds per pod and seed weight and grain yield.

Conclusions

The results revealed that the 22 May planting date had the highest growth and yield compare with the other planting dates. In addition, using a combination of biological and chemical fertilizers decreased application of 50% chemical fertilizers. Therefore, in order to achieve sustainable agriculture and reducing environmental pollution, combination of biological and chemical fertilizers can be a viable alternative to reduce the application of nitrogen and phosphorus chemical fertilizers for peanut production in Hamedan condition.

Keywords: Biological fertilizer, Chemical fertilizers, Growth index, Peanut

Contents

Effect of Salinity and Drought Stresses on Germination Stage and Growth of Black Cumin (*Bunium Persicum Boiss*) 7
H. R. Saeedi Goraghani- A. Ranjbar Fordoee- M. Solaimani sardo- M. Mahdavi

The Effect of Foliar Application of Ferrous sulfate on Production of Multi-capsule per Leaf node in Sesame Plant (*Sesamum indicum* L.) under Field Condition 17
S. F. Fazeli Kakhki-A. Taiiebi

Evaluation of Foramsulfuron and Nicosulfuron Combination with Ammonium Sulfate on Lamb's-quarters (*Chenopodium album* L.) Control 29
H. Assadollahi- M. Rastgoo- E. Izadi Darbandi- A. Ghanbari

The Effect of Planting Pattern and Density on Yield and Yield Components of Sesame (*Sesamum indicum* L.) 44
A. Koocheki- M. Nassiri Mahallati- F. Nourbakhsh- A. Nehbandani

Correlation Coefficient, Path Analysis and Drought Tolerance Indices for Different Wheat Cultivars under Deficit Irrigation Conditions of Isfahan Region 59
H. R. Salemi- A. R. Tavakoli- D. Afiuni

Effects N Management on Maize Grain Yield and its Component under Deficit Irrigation 72
S. A. Mohammadi- H. R. Khazaei- A. Nezami

Symbiotic Effect of Trichoderma atroviride on Growth Characteristics and Yield of two Cultivars of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in a Contaminated Soil Treated with Copper Nitrate 85
E. TashakoriFard- F. Taghavi Ghasemkheyli- H. Pirdashti - M. A. Tajick Ghanbary- M. A. Bahmanyar

Study of Ecotype and Sowing Date Interaction in Cumin (*Cuminum cyminum* L.) using Different Univariate Stability Parameters 101
J. Ghanbari1- Gh. R. Khajoei-nejad- Gh. Mohammadi-nejad

Study of Morphological Characteristics and Forage Quality of *Amaranthus hypochondriacus* L. under some Seed Priming 111
S. Maleki khezerlu- M. Tajbakhsh

Effect of Sowing Date and Plant Density on Yield and Yield Components of Common Purslane (*Protulaca Oleracea* L.) 122
H. Javadi- P. Rezvani Moghaddam- M. J. Seghatoleslami- Gh. R. Mosavi

Improving Wheat Growth and Yield Using Chlormequat Chloride, Salicylic Acid and Jasmonic Acid under Water Stress 134
N. Vahabi- Y. Emam- H. Pirasteh-Anosheh

Radiation Absorption and Use Efficiency of Common Mallow (*Malva sylvestris* L.) Affected by Different Sources of Organic, Biological and Chemical Fertilizers and Intercropping with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) 148
S. A. R. Razavi- M. Jahan- M. Nassiri Mahallati- K. Hajmohammad nia Ghalibaf

Effect of Two Species Mycorrhizal Fungi on Quantitative and Qualitative Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Landraces in Different Levels of Drought Stress 166
E. Gholinezhad

Effects of Nano Chelated Zinc and Mycorrhizal Fungi Inoculation on Some Agronomic and Physiological Characteristics of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Drought Stress Conditions 183
E. Rezaei Chiyaneh- S. Khorramdel- A. Movludi- A. Rahimi

The Effect of Type and Application Method of Fertilizer Treatments on Growth and Yield of Medicinal Garlic 202
Z. Amin- S. Fallah- A. Abbasi Surki

Foliar Application of Potassium Fertilizer to Reduce the Effects of Salinity in Potato 214
H. Molahoseini- A. H. Jalali

Effect of Planting Date and Biological and Chemical Fertilizers on Phenology and Physiological Indices of Peanuts 229
A. Sepehri- H. Shahbazi